



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

## **FACULTAD DE CIENCIAS**

### **CARRERA DE INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL**

## **EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE AIRE MEDIANTE LA APLICACIÓN DE BIOMONITORES EN EL TERMINAL INTERCANTONAL DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA**

**Trabajo de titulación:**

**Tipo: Proyecto de investigación**

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL**

**AUTOR: FRANKLIN DAVID FONSECA PAZMIÑO**

**TUTORA: ING. RAFAELA VITERI UZCÁTEGUI MSc.**

Riobamba – Ecuador

2021

**©2021, Franklin David Fonseca Pazmiño**

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.

Yo, Franklin David Fonseca Pazmiño, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 21 de marzo de 2021

A handwritten signature in blue ink, reading "Franklin David Fonseca Pazmiño". The signature is stylized with a large initial 'F' and 'D'.

Franklin David Fonseca Pazmiño

180479226-3

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**CARRERA DE INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL**

El Tribunal del trabajo de titulación certifica que: El trabajo de titulación: Tipo proyecto de investigación, **EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE AIRE MEDIANTE LA APLICACIÓN DE BIOMONITORES EN EL TERMINAL INTERCANTONAL DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA**, realizado por el señor: **FRANKLIN DAVID FONSECA PAZMIÑO**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

FIRMA

FECHA

Ing. Juan Carlos González García.  
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

(2021-06-22)

Ing. María Rafaela Viteri Uzcategui.  
**DIRECTORA DEL TRABAJO  
DE TITULACION**

(2021-06-22)

Dr. Fausto Manolo Yaulema Garcés.  
**MIEMBRO DE TRIBUNAL**

(2021-06-22)

## **DEDICATORIA**

Este trabajo está dedicado con gran admiración y respeto hacia mis padres Franklin Fonseca y Myriam Pazmiño, que han sido los dos pilares fundamentales a lo largo de mi existencia. Que llenos de cariño, amor y obediencia supieron educarme, guiarme y apoyarme para conseguir mis metas demostrándome que en la vida con dedicación, esfuerzo y confianza se llega a conseguir grandes cosas. Del mismo modo una parte de este trabajo está dedicada a mi ángel allá en el cielo, mi querido abuelo, todo aquello que soñamos lo cumpliremos ya que siempre permanecerás presente en mi vida. Y a todos aquellos en los pude encontrar una mano amiga a lo largo de mi vida.

David Fonseca

## AGRADECIMIENTO

De la forma más efusiva extiendo mi agradecimiento a Dios por ser la fuerza espiritual que me ayudado a lo largo de la vida universitaria y durante cada momento de mi vida. A mis padres por su amor, fuerza y confianza que me han brindado a lo largo de toda mi vida, sin ellos no pudiera seguir cumpliendo las metas propuestas que también son tuyas, porque deposité en ellos mis anhelos, sueños y propósitos venideros.

A mí querida ESPOCH y a cada uno de sus integrantes en lo que se refiere a docentes y técnicos de laboratorio que han estado dispuestos en ayudarme a obtener principios y valores que darán fruto en un futuro tanto en lo académico como en lo personal. De manera especial a la Ingeniera Rafaela Viteri que con el transcurso del tiempo de ser una excelente docente se ha convertido en una gran amiga. Del mismo modo a la Ingeniera Verónica Moreno por haber compartido sus conocimientos durante casi toda mi vida universitaria.

El desarrollo de este trabajo de titulación no fue fácil pero en el transcurso de su elaboración estuvieron personas magnificas que supieron ayudarme a cumplir con el objetivo propuesto por ende agradezco a cada persona que se sumó a este sueño, a mi familia foránea, a los amigos que me brindó la vida en este tiempo y a cada uno de las personas que han estado apoyándome antes durante y posteriormente de la elaboración del trabajo. Finalmente a cada integrante de mi familia por su apoyo y cariño.

David Fonseca.

## TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xiv
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xv
RESUMEN .....	xvi
SUMARY .....	xvii
INTRODUCCIÓN .....	1

## CAPÍTULO I

1	<b>MARCO TEÓRICO REFERENCIAL</b> .....	4
1.1	<b>Antecedentes</b> .....	4
1.2	<b>Atmósfera</b> .....	4
1.3	<b>Componentes de la Atmósfera</b> .....	5
1.4	<b>Funciones de la Atmósfera</b> .....	6
1.4.1	<i>Regulación de la temperatura</i> .....	6
1.4.2	<i>Filtración de radiaciones solares</i> .....	6
1.4.3	<i>Protección de cuerpos espaciales</i> .....	6
1.4.4	<i>Producción de los ciclos biogeoquímicos</i> .....	7
1.5	<b>Capas de la Atmósfera</b> .....	7
1.5.1	<i>Tropósfera</i> .....	7
1.5.2	<i>Estratósfera</i> .....	7
1.5.3	<i>Mesósfera</i> .....	8
1.5.4	<i>Termósfera o Ionósfera</i> .....	8
1.5.5	<i>Exósfera</i> .....	8
1.6	<b>Contaminación atmosférica</b> .....	8
1.6.1	<b>Contaminantes atmosféricos</b> .....	9
1.6.1.1	<i>Según su origen se clasifican en:</i> .....	9
1.6.1.2	<i>Según la evolución en la atmósfera se clasifican en:</i> .....	9
1.6.1.3	<i>Según su estructura se clasifican en:</i> .....	11

1.6.2	<b>Fuentes de emisiones atmosféricas</b> .....	11
1.6.2.1	<i>Fuentes fijas</i> .....	11
1.6.2.2	<i>Fuentes fugitivas</i> .....	12
1.6.2.3	<i>Fuentes móviles</i> .....	12
1.6.3	<b>Óxidos de Nitrógeno (NO<sub>x</sub>)</b> .....	12
1.6.3.1	<i>Dióxido de Nitrógeno (NO<sub>2</sub>)</i> .....	13
1.6.3.2	<i>Efectos del NO<sub>2</sub> sobre la salud</i> .....	13
1.6.3.3	<i>Efectos del NO<sub>2</sub> en sobre el ambiente</i> .....	13
1.6.4	<b>Óxidos de azufre (SO<sub>x</sub>)</b> .....	14
1.6.4.1	<i>Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>)</i> .....	15
1.6.4.2	<i>Efectos del SO<sub>2</sub> sobre la salud</i> .....	15
1.6.4.3	<i>Efectos del SO<sub>2</sub> sobre el ambiente</i> .....	15
1.6.5	<b>Normativa Ambiental para NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub></b> .....	16
1.7	<b>Muestreo atmosférico</b> .....	16
1.7.1	<b>Tipos de Muestras atmosféricas</b> .....	16
1.7.1.1	<i>Muestreo a caudal constante</i> .....	16
1.7.1.2	<i>Muestreo Proporcional</i> .....	17
1.7.1.3	<i>Muestreo Puntual</i> .....	17
1.7.1.4	<i>Muestreo de Partículas</i> .....	17
1.7.2	<b>Tipos de muestreadores</b> .....	17
1.7.2.1	<i>Muestreadores pasivos</i> .....	17
1.7.2.2	<i>Muestreadores Activos</i> .....	18
1.7.2.3	<i>Analizadores o Monitores Automáticos</i> .....	19
1.7.2.4	<i>Sensores Remotos</i> .....	20
1.7.2.5	<i>Bioindicadores</i> .....	20
1.8	<b>Tipos de bioindicadores</b> .....	21
1.8.1	<b>Biomonitoreo</b> .....	22
1.8.1.1	<i>Tipos de Biomonitoreo</i> .....	23
1.8.1.2	<i>Biomonitoreo por briofitas</i> .....	23
1.8.1.3	<i>Metzgeriaceae</i> .....	24

## CAPÍTULO II

2	<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	25
---	---------------------------------	----



2.1	<b>Tipo de investigación</b> .....	25
2.2	<b>Diseño de la investigación</b> .....	25
2.2.1	<i>Tipo de diseño</i> .....	25
2.3	<b>Localización del estudio</b> .....	25
2.3.1	<i>Lugar de estudio</i> .....	26
2.3.2	<i>Método de muestreo</i> .....	26
2.3.3	<i>Tamaño de la muestra</i> .....	27
2.4	<b>Técnica de recolección de datos</b> .....	28
2.5	<b>Biomonitores de briofitas</b> .....	28
2.5.1	<i>Preparación de biomonitores</i> .....	28
2.5.1.1	<i>Selección del lugar de recolección de briofitas</i> .....	29
2.5.1.2	<i>Identificación de especies de briofitas</i> .....	30
2.5.1.3	<i>Identificación de especies aptas para que actúen como biomonitor</i> .....	30
2.5.1.4	<i>Metodología de inyección directa de contaminantes a las briofitas</i> .....	31
2.6	<b>Análisis de concentración de contaminantes por espectrofotometría UV-Visible de briofitas</b> .....	32
2.6.1	<i>Metodología para analizar muestras de briofitas</i> .....	32
2.6.2	<i>Preparación de biomonitores para el estudio de NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> en el aire</i> .....	33
2.6.2.1	<i>Elaboración exposición y recolección de biomonitores</i> .....	33
2.6.2.2	<i>Preparación de la solución para analizar los Biomonitores</i> .....	34
2.6.3	<i>Análisis de biomonitores de dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>)</i> .....	34
2.6.3.1	<i>Método de obtención de la concentración de NO<sub>2</sub> (ug/m<sup>3</sup>) en los biomonitores</i> .....	34
2.6.4	<i>Análisis de biomonitores de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>)</i> .....	36
2.6.4.1	<i>Método de obtención de la concentración de SO<sub>2</sub> (ug/m<sup>3</sup>) en los biomonitores</i> .....	36
2.7	<b>Elaboración de captadores pasivos</b> .....	39
2.7.1	<i>Preparación de captadores pasivos para el estudio de NO<sub>2</sub> en el aire</i> .....	39
2.7.1.1	<i>Preparación del tubo de muestreo de NO<sub>2</sub></i> .....	40
2.7.1.1.1	<i>Solución Captadora de NO<sub>2</sub></i> .....	40
2.7.2	<i>Preparación de captadores pasivos para el estudio de SO<sub>2</sub> en el aire</i> .....	41
2.7.2.1	<i>Preparación del tubo de muestreo de SO<sub>2</sub></i> .....	42
2.7.2.1.1	<i>Solución Captadora de SO<sub>2</sub></i> .....	42
2.7.3	<i>Exposición y recolección de tubos pasivos</i> .....	43
2.8	<b>Análisis de concentración de contaminantes por espectrofotometría UV-Visible de captadores pasivos</b> .....	43
2.8.1	<i>Análisis de captadores pasivos de Dióxido de Nitrógeno (NO<sub>2</sub>)</i> .....	43

2.8.1.1	<i>Pruebas Colorimétricas</i> .....	43
2.8.1.2	<i>Método de obtención de la concentración de NO<sub>2</sub> (ug/m<sup>3</sup>) en los captadores pasivos</i> .....	44
2.8.2	<i>Análisis de captadores pasivos de Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>)</i> .....	46
2.8.2.1	<i>Preparación de la solución para analizar los captadores de SO<sub>2</sub></i> .....	47
2.8.2.2	<i>Método de obtención de la concentración de SO<sub>2</sub> (ug/m<sup>3</sup>) en los captadores pasivos</i> .....	47
2.9	<b>Corrección de resultados</b> .....	49
2.9.1	<i>Datos para corregir las concentraciones de contaminación de NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> a condiciones locales</i> .....	50
2.10	<b>Elaboración de mapas temáticos</b> .....	51
2.11	<b>Análisis estadístico</b> .....	51

### CAPÍTULO III

3	<b>MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS</b> .....	52
3.1	<b>Identificación de especies</b> .....	52
3.2	<b>Tipos de briofitas recogidas</b> .....	52
3.3	<b>Cálculo para la concentración de generación de SO<sub>2</sub> y NO<sub>2</sub></b> .....	53
3.4	<b>Concentración promedio ambiental de NO<sub>2</sub> con biomonitores</b> .....	54
3.4.1	<i>Variación de la concentración ambiente del mes de Enero corregida de NO<sub>2</sub> con biomonitores</i> .....	55
3.4.2	<i>Variación de la concentración ambiente del mes de Febrero corregida de NO<sub>2</sub> con biomonitores</i> .....	56
3.4.3	<i>Variación de la concentración promedio ambiente final corregida de NO<sub>2</sub> con biomonitores</i> .....	57
3.4.4	<i>Puntos mínimos, promedios y máximos de concentración de NO<sub>2</sub> con biomonitores</i> .....	58
3.5	<b>Concentración promedio ambiental de SO<sub>2</sub> con biomonitores</b> .....	59
3.5.1	<i>Variación de la concentración ambiente del mes de Enero corregida de SO<sub>2</sub> con biomonitores</i> .....	60
3.5.2	<i>Variación de la concentración ambiente del mes de Febrero corregida de SO<sub>2</sub> con biomonitores</i> .....	61
3.5.3	<i>Variación de la concentración promedio ambiente final corregida de SO<sub>2</sub> con biomonitores</i> .....	62

3.5.4	<i>Puntos mínimos, promedios y máximos de concentración de SO<sub>2</sub> con biomonitores</i>	63
3.6	<b>Concentración promedio ambiente corregida de NO<sub>2</sub> con captadores pasivos</b>	65
3.6.1	<i>Variación de la concentración promedio ambiente del mes de Enero corregida de NO<sub>2</sub> con captadores pasivos</i>	66
3.6.2	<i>Variación de la concentración promedio ambiente del mes de Febrero corregida de NO<sub>2</sub> con captadores pasivos</i>	67
3.6.3	<i>Variación de la concentración promedio ambiente final corregida de NO<sub>2</sub> con captadores pasivos</i>	68
3.6.4	<i>Puntos mínimos, promedios y máximos de concentración de NO<sub>2</sub> con captadores pasivos</i>	69
3.7	<b>Concentración promedio ambiente corregida de SO<sub>2</sub> con captadores pasivos</b>	70
3.7.1	<i>Variación de la concentración promedio ambiente del mes de Enero corregida de SO<sub>2</sub> con captadores pasivos</i>	71
3.7.2	<i>Variación de la concentración promedio ambiente del mes de Febrero corregida de SO<sub>2</sub> con captadores pasivos</i>	72
3.7.3	<i>Variación de la concentración promedio ambiente final corregida de SO<sub>2</sub> con captadores pasivos</i>	73
3.7.4	<i>Puntos mínimos, promedios y máximos promedio de concentración de SO<sub>2</sub> con captadores pasivos</i>	74
3.8	<b>Análisis de las concentraciones de NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> empleando el software ArcGis</b>	76
3.8.1	<i>Concentración promedio final de NO<sub>2</sub> con biomonitores</i>	76
3.8.2	<i>Concentración promedio final de SO<sub>2</sub> con biomonitores</i>	77
3.8.3	<i>Concentración promedio final de NO<sub>2</sub> con captadores pasivos</i>	78
3.8.4	<i>Concentración promedio final de SO<sub>2</sub> con captadores pasivos</i>	79
3.9	<b>Análisis estadístico</b>	80
3.10	<b>Normativa de la calidad del aire</b>	81
3.11	<b>Efectividad de los métodos aplicados</b>	82
	<b>CONCLUSIONES</b>	86
	<b>RECOMENDACIONES</b>	88
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
	<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-1:</b>	Composición de la atmósfera .....	5
<b>Tabla 2-1:</b>	Contaminantes primarios .....	10
<b>Tabla 3-1:</b>	Contaminantes secundarios .....	10
<b>Tabla 4-1:</b>	Taxonomía de la especie <i>Metzgeriaceae</i> .....	24
<b>Tabla 1-2:</b>	Puntos de Monitoreo de NO <sub>2</sub> y SO <sub>2</sub> .....	27
<b>Tabla 2-2:</b>	Datos para realizar la curva de calibración de NO <sub>2</sub> en biomonitores.....	34
<b>Tabla 3-2:</b>	Datos para realizar la curva de calibración de SO <sub>2</sub> en biomonitores .....	37
<b>Tabla 4-2:</b>	Datos para realizar la curva de calibración de NO <sub>2</sub> en captadores pasivos.....	44
<b>Tabla 5-2:</b>	Datos para realizar la curva de calibración de SO <sub>2</sub> en captadores pasivos .....	47
<b>Tabla 6-2:</b>	Datos para corregir las concentraciones de contaminación de NO <sub>2</sub> y SO <sub>2</sub> .....	50
<b>Tabla 1-3:</b>	Tipos de briofitas .....	52
<b>Tabla 2-3:</b>	Cantidades de azufre para generar dióxido de azufre .....	53
<b>Tabla 3-3:</b>	Cantidades de cobre y ácido nítrico para la generación de dióxido de nitrógeno .....	53
<b>Tabla 4-3:</b>	Concentraciones de dióxido de nitrógeno analizadas con biomonitores .....	54
<b>Tabla 5-3:</b>	Concentraciones de dióxido de azufre analizadas con biomonitores .....	59
<b>Tabla 6-3:</b>	Concentraciones de dióxido de nitrógeno analizadas con captadores pasivos...65	
<b>Tabla 7-3:</b>	Concentraciones de dióxido de azufre analizadas con captadores pasivos .....	70
<b>Tabla 8-3:</b>	Datos estadísticos.....	80
<b>Tabla 9-3:</b>	Concentraciones de NO <sub>2</sub> y SO <sub>2</sub> transformadas para comparación con los límites permisibles.....	81
<b>Tabla 10-3:</b>	Concentraciones de NO <sub>2</sub> y SO <sub>2</sub> para comprobar la efectividad de los métodos aplicados .....	83
<b>Tabla 11-3:</b>	Diferencias y porcentajes de absorción de NO <sub>2</sub> y SO <sub>2</sub> de los biomonitores con relación a los captadores pasivos. ....	84

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-2:</b>	Terminal Intercantonal de la ciudad de Riobamba .....	26
<b>Figura 2-2:</b>	Puntos de monitoreo de NO <sub>2</sub> y SO <sub>2</sub> .....	27
<b>Figura 3-2:</b>	Lugar de recolección de briofitas .....	29
<b>Figura 1-3:</b>	Concentraciones promedio finales de NO <sub>2</sub> analizadas con biomonitores .....	76
<b>Figura 2-3:</b>	Concentraciones promedio finales de SO <sub>2</sub> analizadas con biomonitores .....	77
<b>Figura 3-3:</b>	Concentraciones promedio finales de NO <sub>2</sub> analizadas con captadores pasivos ...	78
<b>Figura 4-3:</b>	Concentraciones promedio finales de SO <sub>2</sub> analizadas con captadores pasivos ....	79

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-2:</b>	Curva de calibración utilizada para NO <sub>2</sub> en biomonitores.....	35
<b>Gráfico 2-2:</b>	Curva de calibración utilizada para SO <sub>2</sub> en biomonitores .....	37
<b>Gráfico 3-2:</b>	Curva de calibración utilizada para NO <sub>2</sub> en captadores pasivos.....	45
<b>Gráfico 4-2:</b>	Curva de calibración utilizada para SO <sub>2</sub> en captadores pasivos .....	48
<b>Gráfico 1-3:</b>	Concentración del mes de Enero de NO <sub>2</sub> con biomonitores.....	55
<b>Gráfico 2-3:</b>	Concentración del mes de Febrero de NO <sub>2</sub> con biomonitores .....	56
<b>Gráfico 3-3:</b>	Concentración promedio final de NO <sub>2</sub> con biomonitores.....	57
<b>Gráfico 4-3:</b>	Puntos mínimos, promedios y máximos de NO <sub>2</sub> con biomonitores.....	58
<b>Gráfico 5-3:</b>	Concentración del mes de Enero de SO <sub>2</sub> con biomonitores .....	60
<b>Gráfico 6-3:</b>	Concentración del mes de Febrero de SO <sub>2</sub> con biomonitores.....	61
<b>Gráfico 7-3:</b>	Concentración promedio final de SO <sub>2</sub> con biomonitores .....	62
<b>Gráfico 8-3:</b>	Puntos, mínimos, promedios y máximos de SO <sub>2</sub> con biomonitores .....	63
<b>Gráfico 9-3:</b>	Concentración del mes de Enero de NO <sub>2</sub> con captadores pasivos .....	66
<b>Gráfico 10-3:</b>	Concentración del mes de Febrero de NO <sub>2</sub> con captadores pasivos .....	67
<b>Gráfico 11-3:</b>	Concentración promedio final de NO <sub>2</sub> con captadores pasivos.....	68
<b>Gráfico 12-3:</b>	Puntos, mínimos, promedios y máximos de NO <sub>2</sub> con captadores pasivos.....	69
<b>Gráfico 13-3:</b>	Concentración del mes de Enero de SO <sub>2</sub> con captadores pasivos.....	71
<b>Gráfico 14-3:</b>	Concentración del mes de Febrero de SO <sub>2</sub> con captadores pasivos.....	72
<b>Gráfico 15-3:</b>	Concentración promedio final de SO <sub>2</sub> con captadores pasivos.....	74
<b>Gráfico 16-3:</b>	Puntos mínimos, promedios y máximos de SO <sub>2</sub> con captadores pasivos .....	75

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

**ANEXO A:** PREPARACIÓN DE BIOMONITOR

**ANEXO B:** PREPARACIÓN DE CAPTADORES PASIVOS

**ANEXO C:** MUESTREO

**ANEXO D:** ANÁLISIS Y RESULTADOS

## RESUMEN

El objetivo principal de la presente investigación fue analizar la calidad de aire en el Terminal Intercantonal de la ciudad de Riobamba mediante la aplicación de biomonitores, el sector constituyó un punto específico de alto flujo vehicular por ser una zona de acopio directo de autobuses, los mismos que son fuente directa de emisión de dióxido de nitrógeno y dióxido de azufre al ambiente. En primer lugar, se propuso determinar qué tipo de briofita es la adecuada para su uso como biomonitor, dicho proceso se llevó a cabo mediante inyección directa de los contaminantes en cinco tipos diferentes de briofitas que posteriormente fueron analizadas empleando un espectrofotómetro. Para verificar la eficacia de este método de evaluación de la calidad de aire fue conveniente compararlo con el método tradicional que utiliza captadores pasivos. Tanto los biomonitores como los captadores pasivos fueron expuestos alrededor del terminal en 25 puntos específicos que permitieron obtener datos cuantitativos de concentraciones de los contaminantes en unidades de  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Los análisis realizados en espectroscopia UV-Visible arrojaron que la especie *Metzgeriaceae* que pertenece a una clase de musgo hepático es la que mejor actúa como biomonitor debido a su capacidad de bioabsorción y bioacumulación. Los resultados finales constataron que el nivel de concentración de contaminantes no excede el límite permisible establecido por la ley ecuatoriana y la OMS, teniendo así un máximo de  $0.5602 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de  $\text{NO}_2$  en medida de una hora y un máximo de  $10.2406 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de  $\text{SO}_2$  en medida de 24 horas. Por tanto, se puede concluir que la aplicación de biomonitores para evaluar la calidad del aire es beneficiosa y factible. Se recomienda considerar el uso de biomonitores en estudios futuros para comprender la calidad de aire en un lugar determinado, porque esta técnica brinda valores aceptables y confiables.

**Palabras clave:** <INGENIERÍA AMBIENTAL>, <CALIDAD DEL AIRE>, <BIOMONITORES>, <DIÓXIDO DE NITRÓGENO ( $\text{NO}_2$ )>, <DIÓXIDO DE AZUFRE ( $\text{SO}_2$ )>, <RIOBAMBA (CANTÓN)>.



## SUMMARY

The aim of the current research was to analyze the air quality at the Intercountry Bus Terminal of Riobamba with the use of biomonitors, this is considered a high-flow traffic area since it has a direct bus gathering, these vehicles are considered a direct source for the emission of nitrogen dioxide and sulfur dioxide to the environment. First of all, it was proposed to determine what type of bryophyte is suitable to be used as biomonitor. This process was based on the direct injection of pollutants into five different types of bryophytes that were subsequently analyzed with a spectrophotometer. To verify the effectiveness of this air-quality valuation method, it was necessary to compare it with the traditional method that uses passive collectors. Both, the biomonitors and the passive sensors were set around the terminal in 25 specific points, this allowed obtaining quantitative data on pollutant concentrations in units of  $\mu\text{g} / \text{m}^3$ . The analyzes carried out through UV-Visible spectroscopy evidenced that *Metzgeriaceae* species belonging to a class of liver moss is the one that best acts as a biomonitor due to its biosorption and bioaccumulation capacity. The final results confirmed that the level of pollutant concentration does not exceed the permissible limit established by the Ecuadorian law and the WHO (World Health Organization); thus, a maximum of  $0.5602 \mu\text{g} / \text{m}^3$  of  $\text{NO}_2$  in one hour and a maximum of  $10.2406 \mu\text{g} / \text{m}^3$  of  $\text{SO}_2$  in 24 hours were measured. It is concluded that the application of biomonitors to evaluate the air quality is beneficial and feasible; therefore, it is recommended to consider the use of biomonitors in future studies in order to understand the air quality in specific areas since this technique provides acceptable and reliable values.

**Keywords:** <ENVIRONMENTAL ENGINEERING>, <AIR QUALITY>, <BIOMONITORS>, <NITROGEN DIOXIDE ( $\text{NO}_2$ )>, <SULFUR DIOXIDE ( $\text{SO}_2$ )>, <RIOBAMBA (COUNTY)>.

## **INTRODUCCIÓN**

### **Identificación del problema**

El aire y su contaminación ratifica uno de los problemas más considerados en la actualidad debido a su grado de severidad en el ambiente a nivel global porque se encuentra presente en todas las sociedades sin tomar en cuenta el nivel económico-social y es estimado como un gran problema que infringe en el ambiente y en la bienestar de los organismos vivientes. (Romero et al., 2006)

Referente en cuanto respecta a la contaminación del aire que es catalogada como la modificación de los niveles de pureza y calidad del aire atmosférico producto de emisiones de iniciación natural o de sustancias químicas y biológicas, que ocasionan los procesos mineros, en las construcciones, la emanación de compuestos químicos oriundos de fábricas, las incalculables cantidades de emanación de gases procedentes de automóviles, polen y por supuesto el polvo, entre otros. Según la OMS se sobrepasan los límites aceptables para tener la calidad de aire adecuada y establecida según la normativa. (Academia Nacional de Medicina, 2015)

Los medios de transporte simbolizan una fuente sustancial de contaminación del aire. El servicio automotor es uno de los campos de gran significancia en la contaminación, debido a la ardua variedad de vehículos relacionados con la quema de hidrocarburos, es decir, relacionados con combustibles fósiles. Las importantes concentraciones emitidas directamente a la capa atmosférica por medio de los escapes de los vehículos corresponden a cantidades de gran magnitud en valores cuantitativos. Las zonas céntricas de las ciudades son las que soportan mayor contaminación. A través de trabajos de referencia, los resultados obtenidos muestran que el nivel de contaminación en las zonas urbanas es superior al de las zonas rurales. (OPS, 2016)

Riobamba al ser una urbe de gran afluencia en el sector automovilístico específicamente en el terminal Intercantonal se crea una cadena de producción de contaminantes provenientes de las emisiones de los automóviles que trabajan con motores de combustión interna y aún más por los autobuses que usan diésel como fuente de combustible. El acaparamiento de contaminantes en el área coloca en peligro la calidad apropiada de vida engendrando inconvenientes de salud y dificultades medioambientales. (MEDLINE, 2020)

## **Formulación del problema**

¿Cómo afecta el sector automovilístico del terminal Intercantonal de la ciudad de Riobamba a la calidad de aire ambiente?

## **Justificación**

Mediante este proyecto de investigación se considera obtener valores cuantitativos que permitan conocer la calidad del aire presente en el terminal Intercantonal perteneciente a la ciudad de Riobamba. Para constatar si los valores adquiridos están dentro de los límites permisibles dictaminados por leyes ecuatorianas y por la OMS.

El estudio presentado adquiere sus fundamentos mediante el manejo del método biológico utilizando biomonitores para conocer la calidad del aire del lugar y a su vez las concentraciones de los contaminantes en estudio como son: NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>. El método biológico se debe comparar con el método habitualmente utilizado que hace referencia a los captadores pasivos, mediante los cuales se logre establecer si es posible la aplicación de biomonitores para evaluar la calidad del aire y a su vez constatar los efectos que producen los contaminantes sobre los agentes biológicos aplicados.

Se utiliza como biomonitor a las briofitas que son especies características con gran poder de bioacumulación y de absorción que se verifica su uso en estudios realizados en el continente europeo y asiático, sus resultados proporcionan relaciones entre las concentraciones de contaminación y su origen. Siendo así este método una propuesta ecológica y económica en comparación a los métodos habituales que se utilizan para muestrear el ambiente. (Pérez, 2018, p.16)

Debido al aumento de la población en la actualidad se observa un incremento del uso de transporte ya sea público o privado lo que afecta directamente a la calidad del aire porque existe la generación de mayor concentraciones de contaminantes expulsados al ambiente por los automotores de combustión interna y los puntos específicos que actuarían como fuente de generación de dicha contaminación serían los terminales, por lo cual es propicio realizar un estudio de los terminales que arrojen resultados que ayuden a verificar y constatar cómo está representada la calidad de aire en dicha zona mediante la obtención de valores medibles que certifiquen la utilidad del método biológico con concordancia al método de captadores pasivos. (Ruano, 2016)

## **Objetivos de la investigación**

### **Objetivo general**

- Analizar la calidad de aire en el terminal Intercantonal de la ciudad de Riobamba mediante la aplicación de biomonitores.

### **Objetivos específicos**

- Identificar los agentes biológicos que puedan determinar adecuadamente la calidad de aire en la zona de estudio.
- Determinar la efectividad del uso de agentes biológicos para la medición de contaminación de aire mediante comparaciones entre métodos establecidos y aplicados en la zona de estudio.
- Evaluar la calidad de aire de la zona de estudio mediante la aplicación de agentes biológicos y captadores pasivos.

# CAPÍTULO I

## 1 MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

### 1.1 Antecedentes

Se entiende que la contaminación del aire tiene su origen desde el descubrimiento del fuego a cargo del hombre desde ese momento se produjo emanación de contaminación hacia la atmosfera. Pero en la época de la revolución industrial es cuando los niveles de contaminación se incrementan potencialmente debido a que se producía excesivas cantidades de sustancias gaseosas y partículas vinculadas directamente con la producción y uso de combustibles, que sirven como fuente principal en el proceso de obtención energía y transporte. (Romero et al., 2006)

Al inicio de la humanidad se tenía la necesidad de trasladar objetos y productos de un lugar a otro, es ahí donde aparece la iniciativa de crear un medio de transporte, para lo cual se crearon transportes que no tengan parte en la contaminación del ambiente. En el año de 1886 aparece el primer automóvil con motor de combustión interna desde ahí la contaminación del aire se ve drásticamente afectada hasta la actualidad, esto ocurre porque los automóviles que constan de este tipo de motor, debido a su proceso de combustión desprenden gases contaminantes directamente a la atmosfera, los gases emitidos a través del conducto de escape dependen mayormente de las particularidades del tipo de transporte, de la tecnología presente en el vehículo y sobre todo de su sistema de control de emisiones. Lo que ha incitado a la disminución de la calidad de aire en gran porcentaje en los sectores donde existe gran influencia de transportes móviles. (Barchilón, 2019)

### 1.2 Atmósfera

La atmósfera tiende hacer determinada como el conjunto de gases que forman una capa fina gaseosa la cual cubre toda la superficie del planeta Tierra y cuya función principal es la de protegerla del ambiente incompatible del espacio, su concentración y espesor no se conoce

específicamente debido a que dependen de la altitud y latitud. La atmósfera tiene la capacidad de actuar dependientemente de los gases que la conforman ya sean gases de origen natural o antropogénico. En la atmósfera los gases que suelen estar presentes son: el nitrógeno, el oxígeno, el aire atmosférico que contiene concentraciones mínimas de helio, metano, hidrógeno, ozono, partículas de distintos tamaños entre otros. (Pabón, 2019, p.36)

### 1.3 Componentes de la Atmósfera

Con el pasar de los años la atmósfera ha evolucionado, por lo cual no consta con los mismos componentes desde el punto de inicio de la creación de la Tierra. La concentración de los gases varía teniendo en cuenta la presión en distintas altitudes. La distribución de una mezcla de los gases presentes en la atmósfera obtienen el nombre de aire dichos gases como nitrógeno, oxígeno y argón son los que se encuentran en mayor cantidad. (Camilloni, 2019, p.3)

**Tabla 1-1:** Composición de la atmósfera

Componente	Símbolo químico	Concentración aproximada
Nitrógeno	N	78,03%
Oxígeno	O	20,99%
Argón	Ar	0,94%
Dióxido de Carbono	CO <sub>2</sub>	0,03%
Neón	Ne	0,00123%
Helio	He	0,0004%
Criptón	Kr	0,00005%
Xenón	Xe	0,000006%
Hidrógeno	H	0,01%
Metano	CH <sub>4</sub>	0,00002%
Óxido Nitroso	N <sub>2</sub> O	0,00005%
Vapor de Agua	H <sub>2</sub> O	Variable
Ozono	O <sub>3</sub>	Variable
Partículas		Variable

Fuente: Camilloni, 2019

Realizado por: Franklin D., Fonseca P. 2021

## **1.4 Funciones de la Atmósfera**

(Gallego, 2012) , afirma que las funciones atmosféricas son aquellas que permiten que el planeta obtenga las condiciones necesarias y convenientes para el desarrollo de la vida.

### **1.4.1 Regulación de la temperatura**

La superficie terrestre tiene una temperatura media que oscila entre los 15°C no constante dicha temperatura es la adecuada para que exista agua en estado líquido mediante lo cual se logra que se lleve a cabo el desarrollo de los seres vivos con normalidad. La atmosfera también se encargada de la regulación de la temperatura, por lo tanto es quien retiene y distribuye la radiación solar que se integra al planeta. El proceso de absorción de la radiación infrarroja desde la superficie terrestre adopta la designación de efecto invernadero natural que ayuda que el calor se retenga en la atmósfera y no regrese al espacio. (Gallego, 2012,p.20)

### **1.4.2 Filtración de radiaciones solares**

Debido a que el sol emite radiación a la tierra, este es el caso de la luz visible, que es esencial para el proceso de fotosíntesis. En cuanto a la emisión de rayos X, rayos ultravioleta, incluidos los organismos que son nocivos para la vida, porque provocan daños a los organismos. El papel principal de la atmósfera es filtrar este tipo de radiación y evitar que ingrese a la tierra para proteger la vida en la tierra. (Máxima, 2020)

### **1.4.3 Protección de cuerpos espaciales**

En el espacio existe mucho movimiento de cuerpos espaciales a velocidades muy altas. La atmósfera cumple con la función escudo protector evitando así el ingreso de dichos cuerpos espaciales ya que por fricción del cuerpo espacial en contacto con el aire se convierten en calor, lo que al ojo humano es representado como meteoro, meteorito o estrella fugaz. (Máxima, 2020)

#### **1.4.4 Producción de los ciclos biogeoquímicos**

La atmósfera es uno de los espacios donde ocurren la mayoría de los ciclos biogeoquímicos, pero además, también aporta elementos como nitrógeno y oxígeno, por lo que se logra llevar a cabo los ciclos. (Gallego, 2012, p.23)

### **1.5 Capas de la Atmósfera**

Según (Leal, 2010, p.13) las capas atmosféricas se clasifican de acuerdo a la variación de la temperatura y en cierto grado en función de la altura teniendo su fundamento principal sobre la relación directa entre temperatura-densidad.

#### **1.5.1 Tropósfera**

Es la capa que se vincula directamente con la superficie terrestre por lo cual es la única capa que permite que los seres vivos desarrollen su ciclo vital, debido que al aumentar la altitud existe baja de temperatura pues puede llegar hasta temperaturas de  $-56^{\circ}\text{C}$  por lo cual la cantidad de oxígeno tendrá valores muy bajos. Consta entre 10 y 16 km de altitud pero varía según la latitud, se conoce que en el Ecuador es la máxima y en los polos es la mínima. En dicha capa es donde se forman los fenómenos meteorológicos que generan el clima. (Leal, 2010, p.14)

#### **1.5.2 Estratósfera**

Es llamada así debido al movimiento del aire que va de forma horizontal o estratos donde el intercambio de gases entre capas es muy escaso. Tiene un espesor 30 a 50 km y su temperatura máxima oscila hasta los  $-2^{\circ}\text{C}$ . La composición de esta capa es básicamente en un 80% de ozono  $\text{O}_3$ . Creando así la capa de ozono la cual se encarga de evitar el ingreso de radiaciones dañinas para el ser humano lo que ayuda que se lleve sin percances el desarrollo de la vida en condiciones adecuadas. (Leal, 2010, p.15)



### **1.5.3 Mesósfera**

Se distribuye a lo largo de un rango comprendido entre 50 a 85 km y su temperatura puede disminuir hasta los  $-92^{\circ}\text{C}$ . En la mesósfera se genera la descomposición de cuerpos espaciales y también es donde se absorben los rayos con mayor energía que provienen del sol. (Leal, 2010, p-15-16)

### **1.5.4 Termósfera o Ionósfera**

Se encuentra desde los 85 a 500 km de sobre el nivel del mar, la temperatura aumenta hasta los  $1200^{\circ}\text{C}$ . Debido a la presencia de iones, se llama ionosfera que son productos de la relaciones entre la radiación solar y los elementos químicos presentes en dicha capa. Es la zona adecuada para colocar los transbordadores espaciales gracias a que Producen reflejos de ondas de radio emitidas desde la superficie de la tierra. Es una zona donde se da gran producción de las auroras boreales. (Leal, 2010, p.16)

### **1.5.5 Exósfera**

Definida como la capa final de la atmósfera y el borde entre la tierra y el espacio la cual se encuentra entre los 500 a 800 km de altitud. Su densidad es muy baja. Es la capa donde se origina el intercambio de masa con el espacio debido a que existe la captación de partículas del espacio por la gravedad presente en la tierra. (Leal, 2010, p.16)

## **1.6 Contaminación atmosférica**

La Norma De La Calidad De Aire Ambiente detalla a la contaminación atmosférica o del aire como la presencia inadecuada de sustancias en la atmósfera, que proceden de actividades antropogénicas o de actividades naturales, que están en porcentajes elevados y fuera del rango considerado como límite permisible, en un tiempo suficiente y en circunstancias que interfieran en el buen vivir, la comodidad y la salud de los seres humanos o del ambiente. (Ministerio del Ambiente, 2015)

### **1.6.1**      *Contaminantes atmosféricos*

Dichos .contaminantes suelen ser clasificados de acuerdo a su origen, a su evolución en la atmósfera y a su estructura.

#### **1.6.1.1**      *Según su origen se clasifican en:*

- **Natural:** Es aquella contaminación que se produce por incendios forestales, erupciones volcánicas, erosión, procedimientos biológicos y tormentas que suelen ser de un grado leve en comparación a las de origen antropogénico. (Albert, 2016, p.39)
- **Antropogénica:** Son aquellas emisiones atmosféricas de gran impacto mayormente originadas por actividades que ejecuta el ser humano en la industria, en la generación de energía, en la explotación, transformación y aprovechamiento de recursos naturales no renovables e incluso en el transporte. (Albert, 2016, p.40)

#### **1.6.1.2**      *Según la evolución en la atmósfera se clasifican en:*

- **Contaminantes primarios:** Contaminantes que tienden hacer emitidos directamente desde el origen o desde su fuente directa. (Manahan, 2007, p.401)

**Tabla 2-1:** Contaminantes primarios

<b>Contaminante Primarios</b>	<b>Fórmula</b>
Dióxido de azufre	SO <sub>2</sub>
Ácido sulfhídrico	H <sub>2</sub> S
Monóxido de nitrógeno	NO
Óxidos de nitrógeno	NO <sub>x</sub>
Monóxido de carbono	CO
Dióxido de carbono	CO <sub>2</sub>
Fluoruro de hidrogeno	HF
Cloruro de hidrogeno	HCl
Hidrocarburos	HC
Compuestos orgánicos de carbono	Compuestos C1-C7

Fuente: Manahan, 2007

Realizado por: Franklin D., Fonseca P. 2021

- **Contaminantes secundarios:** Contaminantes que se generan por procesos químicos, entre los oxidantes atmosféricos y los contaminantes primarios e incluso con especies no contaminantes atmosféricas. (Manahan, 2007, p.402)

**Tabla 3-1:** Contaminantes secundarios

<b>Contaminante secundario</b>	<b>Fórmula</b>
Trióxido de azufre	SO <sub>3</sub>
Ácido sulfúrico	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
Dióxido de nitrógeno	NO <sub>2</sub>
Nitratos	MNO <sub>3</sub>
Sulfatos	MSO <sub>4</sub>
Ozono	O <sub>3</sub>
Ácido nítrico	HNO <sub>3</sub>
Peróxido de hidrogeno	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>
Mayoría de sales	NO <sub>3</sub> , SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>
Nitratos peroxiacilo	NPA

Fuente: Manahan, 2007

Realizado por: Franklin D., Fonseca P. 2021

### *1.6.1.3 Según su estructura se clasifican en:*

- Material particulado o partículas
  - Polvos
  - Neblina
  - Vapores
  - Aerosoles
  - PM10
  - PM2,5
- Compuestos que contienen nitrógeno
- Compuestos que contienen azufre
- Compuestos que contiene carbono
- Compuestos orgánicos
- Compuestos halogenados
- Compuestos radiactivos (Arzate, 2014, pp-4-6)

### *1.6.2 Fuentes de emisiones atmosféricas*

Las distintas fuentes de emisiones atmosféricas suelen ser clasificadas tomando en cuenta sus características principales. Su clasificación se cataloga en tres tipos que se catalogan como fuentes fijas, fugitivas y móviles.

#### *1.6.2.1 Fuentes fijas*

Aquellas emisiones producto de la quema de combustibles en actividades industriales y residenciales que producen energía, calor o vapor. Se especifican en fuentes puntuales, fuentes de área y fuentes naturales. Sus principales contaminantes de emisión son PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, SO<sub>x</sub> y NO<sub>x</sub>. (INECC, 2017)

### 1.6.2.2 Fuentes fugitivas

Aquellas emisiones que no constan con sistemas de canalización de chimeneas o ductos y son expulsadas al ambiente. Es decir las emisiones directas que salen de las calles, la construcción, demolición y algunas de origen natural debido a la erosión a causa del viento en las rocas y la suspensión de tierra. Sus principales contaminantes son  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$ . (Ministerio Del Ambiente, 2018)

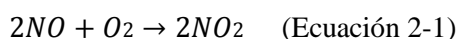
### 1.6.2.3 Fuentes móviles

Aquellas fuentes que proceden de medios de transporte que funcionen con motor de combustión o sus derivados similares como son: camiones de carga, ferrocarriles, autobuses, automóviles, motocicletas, aviones. Estos medios de transporte son consideradas como fuentes emisoras de  $CO$ ,  $SO_2$ ,  $NO_x$  y  $COV$ 's. (Franco, 2015, p.20)

## 1.6.3 Óxidos de Nitrógeno ( $NO_x$ )

Se define a los óxidos de nitrógeno como los gases formados por elementos químicos como el nitrógeno y el oxígeno, con métodos de combustión liberan óxido nítrico el cual reacciona y se origina dióxido de nitrógeno. La quema de los combustibles fósiles produce  $NO_x$  que depende directamente de la temperatura y la presencia de nitrógeno y oxígeno tanto en el aire ambiente como en el combustible. Es estimado que se genera entre el 90-95% de  $NO$  y el sobrante de  $NO_2$  por cada proceso de combustión. Se considera que alrededor de 22 Tg N/año de  $NO_x$  son emitidas al ambiente. (García, 2018, p.50)

Formación de  $NO_2$ , se origina al reaccionar  $NO$  con oxígeno ambiental



### *1.6.3.1 Dióxido de Nitrógeno (NO<sub>2</sub>)*

Se producen por la combinación química entre el oxígeno y el nitrógeno existentes en el aire expuestos a altas temperaturas que generalmente son producidas en las tormentas eléctricas en altitudes elevadas o a su vez en procesos que impliquen combustión de combustibles fósiles. Es un gas muy corrosivo y oxidante fuerte de color rojo o marrón, su fuerte olor es penetrante y altamente irritante. Tiene una densidad mayor a la que presenta el aire. Reacciona con materiales reductores, combustibles y agua. (INSST, 2018)

La obtención de dióxido de nitrógeno a nivel mundial se rige fuentes industriales, fuentes móviles, agricultura, quema de combustibles fósiles y biomasa. En alto grado también se relaciona a la generación de basura, desechos de animales y a los tratamientos de aguas residuales entre otros. (García, 2018, p.50)

### *1.6.3.2 Efectos del NO<sub>2</sub> sobre la salud*

Según la OMS el NO<sub>2</sub> es un compuesto corrosivo tanto para los ojos, la piel y de igual manera para el tracto respiratorio. Cuando se tiene exposición a altas concentraciones afecta al tracto respiratorio provocando asfixia, inflamación de la garganta y edema pulmonar. Incluso podría provocar la muerte al tener una exposición de concentraciones muy elevadas. En contacto directo con la epidermis genera quemaduras inmediatas con sensaciones de quemazón y enrojecimiento. (INSST, 2018)

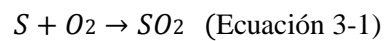
### *1.6.3.3 Efectos del NO<sub>2</sub> en sobre el ambiente*

Actúa como creador del smog fotoquímico que focaliza la obtención de ozono en la superficie de la tierra. El NO<sub>2</sub> es uno de los compuestos presentes en la formación de la lluvia ácida que cuando tiene contacto con la humedad ambiental produce ácido nítrico el cual precipita originando pérdidas de ecosistemas, daños en los bosques y provoca acidez en aguas superficiales. (García, 2018, p.52)

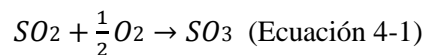
#### 1.6.4 Óxidos de azufre (SO<sub>x</sub>)

Estos contaminantes se generan en cantidades elevadas en procesos que abarquen procesos de combustión ya sea de carbón o de los originarios del petróleo por ende son catalogados como generadores inmediatos a partir de actividades industriales y transporte. Se considera que alrededor de 63 Tg N/año de SO<sub>x</sub> son emitidas al ambiente. Se resalta que los SO<sub>x</sub> se localizan en la atmósfera en forma de SO<sub>2</sub>, y SO<sub>3</sub>. (García, 2018, p.47)

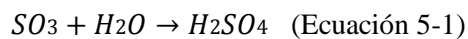
Formación de dióxido de azufre SO<sub>2</sub>, se origina cuando entra en contacto el monóxido de azufre con el oxígeno a altas temperaturas.



Formación de Trióxido de azufre SO<sub>3</sub>, se origina por la oxidación del SO<sub>2</sub> al estar expuesto con luz solar.



El ácido sulfúrico se origina al condensar rápidamente el SO<sub>2</sub>, o SO<sub>3</sub> cuando interactúan con la humedad del aire.



#### 1.6.4.1 *Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>)*

Es una molécula que consta de un átomo de azufre y dos átomos de oxígeno que dan como resultado una fórmula molecular conocida SO<sub>2</sub>. Considerado como un gas incoloro y de olor irritante, no es explosivo ni inflamable por ende es estable, es muy soluble en agua lo que permite que forme disoluciones ácidas. Tiene una densidad que dobla en valor a la densidad del aire ambiente. El dióxido de azufre y su emisión tiene una dependencia directa con la cantidad de azufre que se encuentra en el combustible y por lo tanto en un proceso que implique combustión no es posible su control. (García, 2018, p.53)

#### 1.6.4.2 *Efectos del SO<sub>2</sub> sobre la salud*

Al ser un gas irritante y tóxico su afección va directamente hacia las áreas tracto respiratorias llegando hasta los pulmones ocasionando problemas de tos al realizar su inhalación. Al estar en constante interacción con el gas en excesivas concentraciones y en lapsos de tiempo mínimos se adquiere el riesgo que se irrite el tracto respiratorio, lo que puede terminar en la generación de asma, bronquitis y congestión de las vías bronquiales teniendo así falta de aire en el sistema respiratorio, teniendo en cuenta que si no existe buena circulación de aire podría ser una causa de muerte. (García, 2018, p.54)

#### 1.6.4.3 *Efectos del SO<sub>2</sub> sobre el ambiente*

Las partículas del dióxido de azufre, al entrar en contacto con la humedad del aire se obtiene como producto al ácido sulfúrico que es un generador de la lluvia ácida que es causante de la degradación gradual de bosques, diversificación de ecosistemas, depreciación de la vida silvestre, en las plantas se origina cambio de coloración en sus hojas, también se ve afectada la acidez de las aguas superficiales como su composición. (García, 2018, p.54)



### **1.6.5 Normativa Ambiental para NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>**

- El Ministerio del Ambiente en concordancia al REGISTRO OFICIAL EDICIÓN ESPECIAL N° 387 puntúa los límites máximos permisibles referenciados para emisiones de NO<sub>2</sub> que establece valores de 40 µg/m<sup>3</sup> al año, 200 µg/m<sup>3</sup> en una hora. En tanto a los límites permisibles para SO<sub>2</sub> en valores de 60 µg/m<sup>3</sup> al año, 125 µg/m<sup>3</sup> en 24 horas y 500 µg/m<sup>3</sup> en 10 minutos. (Ministerio del Ambiente, 2015, p.55)
- Según las directrices planteadas referentes a los límites máximos permisibles de NO<sub>2</sub> decididos por la Organización Mundial de la Salud implanta valores de 40 µg/m<sup>3</sup> al año y de 200 µg/m<sup>3</sup> emanados en una hora. Los límites máximos permisibles de emisión del gas contaminante SO<sub>2</sub> concierne a valores entre 20 µg/m<sup>3</sup> en 24 horas y de 500 µg/m<sup>3</sup> en 10 minutos. (Organización Mundial de la Salud, 2018)

## **1.7 Muestreo atmosférico**

Se considera muestreo atmosférico al proceso de toma de muestras en puntos específicos en la atmosfera, con la finalidad de aplicar técnicas y metodologías que ayuden a conocer la calidad del aire en dichos puntos durante un tiempo determinado.

### **1.7.1 Tipos de Muestreos atmosféricos**

Se clasifican básicamente dependiendo de cómo sea el proceso de extracción de la muestra.

#### **1.7.1.1 Muestreo a caudal constante**

En este tipo de muestreo es importante optar por una sola muestra que se la mantendrá durante el periodo de tiempo que dure el muestreo en donde el caudal se escoge en relación al contaminante que se quiere estudiar, se toma en cuenta parámetros como el tipo de emisión, la concentración del contaminante y el periodo de muestreo. Principalmente se utiliza para muestrear gases en emisiones constantes. (Crespo, 2018, p.7)

### *1.7.1.2 Muestreo Proporcional*

En este tipo se debe tener muestras que se ajusten para tener caudales proporcionales al caudal emitido de contaminación. Al igual que los parámetros del muestreo de caudal constante y saber el caudal de emisión. El muestreo proporcional es de gran utilidad para evaluar las emisiones no constantes en el muestreo de gases. (Crespo, 2018, p.7)

### *1.7.1.3 Muestreo Puntual*

En este tipo de muestreo es primordial tener una muestra individual definida en un lapso de tiempo establecido. Para obtener información representativa es importante tener muestras en gran porcentaje y su tiempo de muestreo debe ser frecuente. Es un muestreo que arroja productos del contaminante en los lugares específicos de muestreo. (Crespo, 2018, p.7)

### *1.7.1.4 Muestreo de Partículas*

Para obtener una muestra representativa de partículas líquidas o sólidas, la muestra debe recolectarse en condiciones isocinéticas. (Crespo, 2018, p.7)

## **1.7.2 Tipos de muestreadores**

### *1.7.2.1 Muestreadores pasivos*

Son generalmente dispositivos en forma de disco o en forma de tubo que su función es recolectar un contaminante específico mediante su absorción y adsorción con sustratos químicos seleccionados. Los dispositivos o mayormente utilizados tubos de muestreo que interaccionan directamente con el ambiente durante el tiempo que dura el muestreo ya sea horas o hasta un mes son regresados al laboratorio para su tratamiento previo antes de ser analizado cuantitativamente. Son utilizados mayormente para análisis de NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, COV's y O<sub>3</sub>. (Martínez, 2012, p-40-41)

## Ventajas

- Tienen un costo muy bajo.
- No requiere energía eléctrica.
- Simplicidad de operación sencilla, por ende se suele colocar varios muestreadores para tener información sobre la distribución del contaminante.

## Desventajas

- El tiempo de análisis es limitado en tiempos semanales y mensuales.
- No es confiable para todos los contaminantes.
- No existe exactitud.
- Necesitan de análisis de laboratorio.

### 1.7.2.2 *Muestreadores Activos*

Es primordial el uso de energía eléctrica para inyectar el aire que se desea muestrear por medio de un colector físico o químico. Lo cual produce un incremento de sensibilidad y proporciona datos en mediciones diarias promedio. Los burbujeadores acidimétricos son los más utilizados en la identificación y medida de dióxido de azufre. Para valorar el dióxido de nitrógeno es de gran utilidad el método de Saltzam entre otros. Los muestreadores activos fueron utilizados en la creación de la base de datos mundial por mucho tiempo. (Martínez, 2012, p.42)

## Ventajas

- Arrojan valores diarios.
- Reconocen tendencias a largo plazo.
- Varios métodos dependiendo del contaminante que se requiera analizar.

## Desventajas

- Uso de energía eléctrica.
- Costo elevado y mayormente complejo que los muestreadores pasivos.
- Solo realizan mediciones de valores promedios.
- Es necesario un análisis de laboratorio.

### 1.7.2.3 *Analizadores o Monitores Automáticos*

Dichos monitores automáticos proporcionan análisis en pequeños lapsos de tiempo lo que se representa en una respuesta rápida en horas o hasta en minutos. Útiles para poder implementar protocolos de contingencia con los valores que arrojan debido a que otorgan valores de forma automática, continúa y en tiempo real para analizar contaminantes tanto gases como partículas. Están fundamentados en propiedades químicas o físicas del gas que será detectado de manera consecutiva aplicando métodos optoelectrónicos. (Martínez, 2012, p-42-43)

## Ventajas

- Valores en tiempo real y en lapsos cortos de tiempo.
- Válidos para generar medidas de contingencia.
- Genera valores mínimos y máximos.
- Alta gama de resolución.

## Desventajas

- Precios de inversión y operación excesivamente altos.
- Operación muy compleja.
- Requieren personal técnico calificado.
- Capacitación para su ajuste y manejo.
- Calibración y mantenimiento en tiempos adecuados.
- Riesgo de problemas técnicos.

#### 1.7.2.4 *Sensores Remotos*

Son aquellos que dotan de mediciones integradas de contaminantes en una trayectoria generalmente mayor a cien metros trazadas en la atmósfera en tiempo real. Lo que da como resultado mapas tridimensionales de las concentraciones en un espacio definido en un lapso de tiempo determinado. Todo esto se realiza con técnicas de espectroscopia que mediante un haz de luz que es transmitido a la atmósfera determina la longitud de onda que permite medir la energía absorbida. (Martínez, 2012, p-43-44)

##### Ventajas

- Permite adquirir concentraciones durante tiempo real.
- Propicia para medir varios contaminantes.
- Mapas tridimensionales de alta resolución.

##### Desventajas

- Se necesitan conocimientos adecuados sobre su uso, calibración y validación ya que suelen ser difíciles de manipular.
- No suelen brindar información útil para comparar con métodos tradicionales.
- Por su función son complejos y altamente costosos.

#### 1.7.2.5 *Bioindicadores*

Corresponde al uso de agentes biológicos para monitorear áreas establecidas, de hecho el uso de plantas para monitorear el aire. En este tipo de muestreadores existen diferentes métodos, en función del grado de complejidad y evolución. Utilizando la superficie de las plantas como receptora del contaminante, utilizar la capacidad de acumulación de los tejidos vegetales, estimación de efectos en el metabolismo o en la genética de la planta por efecto del ozono. Evaluar los efectos de la exposición de las plantas al dióxido de azufre y analizar las plantas como indicador de la calidad del aire. (Martínez, 2012, p-44-46)

## Ventajas

- Altamente utilizados para identificación de la presencia de contaminantes definidos como el NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> y gran parte de metales pesados.
- Económicos.
- Colaboran en la visualización de la velocidad y dirección de los cambios ambientales.
- Localizan áreas contaminadas en los ecosistemas.
- Pueden conocer el impacto de los contaminantes en los organismos.

## Desventajas

- Requieren análisis de laboratorio.
- Técnicas muy sofisticadas y desarrolladas.
- Dificultades en estandarización de metodologías de origen conocido.

## 1.8 Tipos de bioindicadores

Existen varios tipos de bioindicadores que se detallan a continuación

- **Grado de sensibilidad:** Básicamente son aquellos que dependen de su sensibilidad frente a provocaciones ambientales que permiten encontrar especies que sean resistentes, otras con gran capacidad de resistencia, existen las muy sensibles y las poco sensibles. (Sarmiento, 2013, p.24)
- **Forma de respuesta:**
  - Detectores: Son aquellos que se encuentran en su propia área es decir son nativos de ese lugar y muestran cambios en su estructura interna y externa incluso en su capacidad reproductora al estar frente a cambios ambientales en su área.
  - Explotadores: Aquellos que se apropian de un lugar en gran cantidad debido a que no existen otras especies alrededor ya que esas especies han sido eliminadas por distintas perturbaciones ambientales.

- Centinelas: Aquellos que son incrustados en un espacio diferente al de su origen con la finalidad de constatar si existe cambios en el sector o a su vez detectan contaminantes. Son sensibles o muy sensibles gracias a esto actúan como alarmas que se verá reflejado en sus características físicas.
- Acumuladores. Generalmente, son especies con alta capacidad de absorción, es decir, acumulan sustancias fuera de la estructura molecular, que pueden convertirse en valores cuantitativos mediante análisis posteriores.
- Bioensayo: Comúnmente utilizados en los laboratorios aplicándolos como reactivos para verificar la presencia de contaminantes con el propósito de determinar el rango de contaminantes en función de su toxicidad. (Sarmiento, 2013, p.24)

- **Posibilidad de medida**

- **Bioindicadores en sentido estricto:** Especies que generan valores cualitativos cuando están expuestas a contaminación en un lugar determinado. Lo que refleja en sus resultados según su presencia, ausencia o cantidad presente de la especie.
- **Biomonitores:** Especies útiles en el análisis de la calidad del ambiente debido a que son acumuladores de sustancias contaminantes en su interior y presentan valores tanto cualitativos como cuantitativos. (Sarmiento, 2013, p.25)

### ***1.8.1 Biomonitoreo***

Se basa en un conjunto de técnicas utilizadas en especies biológicas para medir la calidad ambiental en un punto específico dentro del período de tiempo indicado. Mediante el biomonitoreo se puede conocer los efectos de un contaminante o sustancia que perturbe a las especies vivas que proporciona la realidad de cómo se encuentra la calidad ambiental en dicho lugar. (Anze et al., 2007: p.55)

### 1.8.1.1 *Tipos de Biomonitorio*

- **Directa:** Se estipula que la medición de la cantidad de contaminación se lleva a cabo directamente sobre las especies biológicas y no sobre el medio ambiente. Se realiza cuando no se tiene indicios del origen y punto de localización del contaminante. (Sarmiento, 2013, p.27)
- **Indirecta:** Se mide la presencia del contaminante a través de los cambios físicos visibles y medibles de las especies vivas expuestas a monitoreo. Dependiendo así del grado de absorción, acumulación y resistencia de cada especie. (Sarmiento, 2013, p.27)

### 1.8.1.2 *Biomonitorio por briofitas*

Actualmente, se está considerando el uso de la biología para analizar la contaminación ambiental. Ecuador es el primero en utilizar briofitas para la medición de la contaminación ambiental, por ello se cataloga como el país colonizador en la utilidad de esta nueva tecnología a nivel Sudamericano. (Samaniego, 2020)

Esta técnica se fundamenta en medir la toxicidad de un contaminante o sustancia con la utilización de agentes biológicos del reino vegetal como son las briofitas, que brindan resultados cuantitativos y cualitativos referentes a la cantidad del contaminante en el propio organismo o en el medio de estudio. Son técnicas que su precio oscila alrededor del 50% menos que otras técnicas de monitoreo ambiental.

Las briofitas son organismos que se reproducen y desarrollan a través de esporas y no tienen vasos conductores lo cual les permite absorber nutrientes directamente de la naturaleza y a su vez absorben gran cantidad de contaminantes atmosféricos como el NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, metales pesados entre otros. (Noriega, 2008, p-9-10)



### 1.8.1.3 *Metzgeriaceae*

La familia *Metzgeriaceae* es un género de plantas pertenecientes al musgo hepático, con una estructura bi-ramificada o pinnada, con varias capas en el medio de la línea, y alas de una sola ramificación al final, compuestas por pelos en la superficie del talo. Sus órganos sexuales se disponen en ramas cortas sobre la superficie ventral de los talos. Son de estructura delgada dotadas de coloración verde hasta verde amarillenta. Principalmente su crecimiento se constituye en bosques húmedos. Tienden a crecer en varios lugares como las cortezas de árboles, madera muerta o rocas del bosque y humus. (Nieva, 2012, p-4-6)

**Tabla 4-1:** Taxonomía de la especie *Metzgeriaceae*

<b>Dominio:</b>	<i>Eukaryota</i>
<b>Reino:</b>	<i>Plantae</i>
<b>Filum:</b>	<i>Marchantiophyta</i>
<b>Clase:</b>	<i>Jungermanniopsida</i>
<b>Orden:</b>	<i>Metzgeriales</i>
<b>Familia:</b>	<i>Metzgeriaceae</i>
<b>Género:</b>	<i>Metzgeria</i>

**Fuente:** Early Land Plants Today, 2021

**Realizado por:** Franklin D., Fonseca P. 2021

## CAPÍTULO II

### 2 MARCO METODOLÓGICO

#### 2.1 Tipo de investigación

El tipo de investigación proyectada se focalizó en un proceso cuantitativo de alcance correlacional debido a que se realizó mediciones semanales y mensuales para constatar la presencia de contaminantes atmosféricos que circundan al terminal Intercantonal de la ciudad de Riobamba. El estudio se propuso con datos observables y medibles desarrollados con fundamentos literarios y metodológicos, usando instrumentos predeterminados como los biomonitores y captadores pasivos colocados directamente en el lugar de estudio. El análisis se determinó mediante la comparación entre las metodologías aplicadas que tuvieron la finalidad de comprobar la fiabilidad y factibilidad de la utilización de biomonitores en la evaluación de la calidad del aire.

#### 2.2 Diseño de la investigación

##### 2.2.1 Tipo de diseño

Corresponde a un diseño no experimental de tipo correlacional, ya que permitió realizar una descripción de variables y comparar los resultados entre los dos métodos aplicados que tuvieron la prioridad de comprobar si en el muestreo de aire es factible el uso de biomonitores.

#### 2.3 Localización del estudio

El estudio se efectuó en el terminal Intercantonal, situado en el interior de la fracción urbana de la ciudad de Riobamba.

### 2.3.1 *Lugar de estudio*

El terminal Intercantonal se encuentra en la provincia de Chimborazo al norte del cantón Riobamba, en la avenida Canónigo Ramos en las coordenadas 758501.75 m E y 9817408.13 m S. El terminal está hecho de una estructura cerrada independiente de 5024.5m<sup>2</sup> dicho terminal brinda servicios de transporte hacia Guamote, Colta y otros puntos específicos. Cuenta con alrededor de doce cooperativas de transporte. Este terminal solo tiene espacio para los transportes de salida debido a que no se realizó una correcta planificación donde se tenga en cuenta a los transportes que ingresan, por lo cual los transportistas han preferido por parquearse alrededor del terminal. (Gavilanes y Gavilanes, 2018: p.46)



**Figura 1-2:** Terminal Intercantonal de la ciudad de Riobamba

**Realizado por:** Franklin D., Fonseca P. 2021

### 2.3.2 *Método de muestreo*

El método de muestreo aplicado en el estudio se estableció en un muestreo aleatorio estratificado.

### 2.3.3 *Tamaño de la muestra*

Se analizaron 25 puntos establecidos alrededor del lugar de estudio para cada uno de ellos se debió colocar 4 captadores pasivos y 1 biomonitor al mes. El monitoreo se realizó en el periodo de dos meses teniendo en cuenta que los captadores pasivos se analizaron semanalmente y los biomonitores mensualmente por ende se obtuvo un total de 200 muestras de captadores pasivos y 50 muestras de biomonitores en el transcurso de los dos meses.



**Figura 2-2:** Puntos de monitoreo de NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>

Realizado por: Franklin D., Fonseca P. 2021

**Tabla 1-2:** Puntos de Monitoreo de NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>

Puntos	Coordenada	
	Este m	Norte m
1	758564	9817289
2	758546	9817328
3	758618.09	9817348.44
4	758606.6	9817440.04
5	758534.46	9817387.16

6	758519.03	9817438.82
7	758586.23	9817505.52
8	758640.92	9817531.63
9	758556.4	9817587.8
10	758492.93	9817535.56
11	758454.8	9817625.83
12	758379.66	9817578.62
13	758330.03	9817627.46
14	758259.72	9817579.22
15	758314.89	9817536.64
16	758395.09	9817439.75
17	758434.05	9817403.04
18	758462.17	9817398.62
19	758508.74	9817364.26
20	758476.47	9817366.34
21	758521.11	9817330.16
22	758275.1	9817408.37
23	758380.84	9817365.22
24	758341.56	9817350.02
25	758495.15	9817250.06

**Realizado por:** Franklin D., Fonseca P. 2021

## **2.4 Técnica de recolección de datos**

La metodología de recolección de datos para biomonitores y para los captadores pasivos: consistió en tres fases principales. Primero, se preparó los biomonitores y tubos de muestreo de NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>. Segundo, se expuso y se recolectó los biomonitores y tubos de muestreo. Tercero, se analizó los biomonitores y tubos de muestreo por espectrofotometría UV-visible en el laboratorio de Investigación de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH. (Pardo, 2019, p.29)

## **2.5 Biomonitores de briofitas**

### **2.5.1 Preparación de biomonitores**

### 2.5.1.1 Selección del lugar de recolección de briofitas

Conociendo las características de las briofitas que crecen mayormente en zonas húmedas se estableció la búsqueda de distintos tipos de briofitas en la provincia de Tungurahua en el cantón Baños en una de sus cuatro parroquias rurales como es Río Negro exactamente en un bosque ubicado en las coordenadas 808594.00 m E y 9839835.00 m S en latitud  $-1.448293^{\circ}$  y longitud  $-78.226369^{\circ}$ . La zona fue seleccionada debido a sus características determinadas como son; su condición climática, alta presencia de especies vegetales, pero primordialmente se basó en las condiciones de hábitat y desarrollo de las especies en estudio. Teniendo así que el lugar antes mencionado es el adecuado por poseer alta gama de especies vegetales, constar con un clima lluvioso tropical y a su vez estar localizado donde no existe alto grado de contaminación antropogénica



**Figura 3-2:** Lugar de recolección de briofitas

**Realizado por:** Franklin D., Fonseca P. 2021

### 2.5.1.2 *Identificación de especies de briofitas*

La identificación de especies se basó directamente en la búsqueda de los tipos de briofitas en un bosque lluvioso tropical de características húmedas y con alta presencia de especies vegetales. En el lugar se realizó una exploración del sector para constatar la presencia de briofitas que permitieron llevar a cabo este estudio.

Se necesitó un recipiente de plástico de gran capacidad donde se almacenó las especies recogidas, la recolección de las especies se realizó mediante un desprendimiento que posteriormente permitió la separación entre la superficie y las briofitas, para enfatizar se separó a cada especie de la corteza de árboles y troncos presentes en el bosque teniendo en cuenta la contaminación que se podría producir al tener manipulación directa se decidió utilizar guantes para disminuir la contaminación y que las especies lleguen al laboratorio con sus características intactas sin alteración. Los tipos de especies localizadas fueron analizadas detalladamente según sus características morfológicas según estructura, forma, tamaño y color de cada especie. Mediante visualización y comparación en fuentes bibliográficas se logró identificar a que especie correspondía cada tipo de briofita encontrada. Según (Cires, 2018, p.2) se debe recolectar las briofitas con su respectivo esporófito debido que mediante este se puede realizar la identificación de cada especie.

### 2.5.1.3 *Identificación de especies aptas para que actúen como biomonitor*

La identificación de la briofita apta para utilizarla en la evaluación de aire mediante la utilización de biomonitores se realizó mediante el uso de un biorreactor en el cual se colocó los tipos de briofitas recogidas.

## **Materiales**

- Biorreactor de plástico con sello hermético
- Manguera de 30 cm de longitud
- Kitasato de 500 mL con corcho
- Reverbero

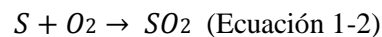
## Reactivos

- Azufre
- Cobre
- Ácido nítrico

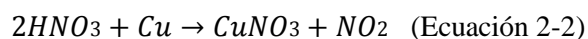
### 2.5.1.4 Metodología de inyección directa de contaminantes a las briofitas

- Se adecuó el biorreactor realizando un agujero en la parte lateral para que ingrese la manguera.
- Se colocó los tipos de briofitas en el biorreactor con distintas separaciones y se selló.
- Se unió el kitasato con la manguera y se añadió el azufre.
- Se calentó el kitasato en alta temperatura y empezó a salir un humo de color naranja que fue transportado por la manguera hacia el biorreactor, se dejó que se evapore toda la reacción hasta que no existió presencia de humo. El azufre al ser expuesto a grandes temperaturas se oxida generando  $SO_2$ . (Instituto Nacional De Seguridad E Higiene En El Trabajo, 2014, p.2)
- A continuación se procedió a realizar el mismo proceso con el cobre y se añadió de a poco el ácido nítrico. La interacción del cobre con el ácido nítrico ocasiona la generación de  $NO_2$ . (García, 2010, p.143)
- Este proceso de inyección de contaminante se realizó a lo largo de cinco días añadiendo distintas concentraciones de azufre, cobre y ácido nítrico. Se añadió estos compuestos ya que con el azufre se generó  $NO_2$  y con el cobre y ácido nítrico se generó  $SO_2$  que son los contaminantes en estudio.

Ecuación de generación de  $SO_2$



Ecuación de generación de  $NO_2$





## **2.6 Análisis de concentración de contaminantes por espectrofotometría UV-Visible de briofitas**

Con el propósito de constatar la capacidad de absorción de contaminantes empleando tejidos biológicos, se realizó la siguiente técnica para los cinco tipos de briofitas.

Materiales de laboratorio para analizar briofitas

- Materiales
  - Erlenmeyer de 125 mL
  - Pipeta de 10 mL
  - Pipeteador
  - Pinza
  - Balón aforado de 50 mL
  - Reverbero
  - Mandil, guantes y mascarilla de gases
  
- Reactivos
  - Agua destilada
  - Ácido clorhídrico
  - Ácido nítrico
  - Peróxido de hidrogeno al 30%
  
- Equipo
  - Estufa
  - Espectrofotómetro UV-Visible

### **2.6.1 Metodología para analizar muestras de briofitas**

- Se secó durante cinco horas en la estufa a 80°C una cantidad aproximada de 500 mg de muestra. Se recopiló en bolsas plástico con sistema hermético libres de contaminación y se mantuvo en refrigeración hasta el momento de tratar la muestra.

- Se colocó la muestra en un erlenmeyer de 125 mL, se añadió 10 mL de ácido nítrico y se calentó a altas temperatura.
- Se aumentó la temperatura hasta que la solución tornó de color marrón.
- Se retiró el erlenmeyer, se esperó que la solución se enfrié a continuación se agregó 5 mL de ácido nítrico.
- Se colocó a altas temperaturas hasta que la solución obtuvo un color marrón.
- Se retiró el erlenmeyer, se esperó que la solución se enfrié y se añadió al 2 mL de ácido nítrico.
- Se calentó a altas temperaturas hasta que el volumen se redujo entre 5-10 mL.
- Se enfrió la solución restante y se añadió 2 mL de peróxido de hidrogeno al 30% donde se produjo una aclaración de la solución al someterla a altas temperaturas este paso se repitió varias veces hasta que la solución se volvió clara.
- Se enfrió, posteriormente se añadió 2 mL de ácido clorhídrico y se colocó a altas temperaturas dejando que la solución se evapore hasta obtener 5 mL.
- Se colocó el contenido de la solución restante en el balón y con agua destilada se aforó a 50 mL.
- Finalmente se traspasó la solución a tubos de 10 ml, después las muestras fueron llevadas al espectrofotómetro donde fueron medidas dependiendo de las longitudes de onda para cada contaminante que se analizó. En este caso 540 nm para NO<sub>2</sub> y 571 nm para SO<sub>2</sub> lo que dependió de las curvas de calibración de cada contaminante. (González, 2018, p.51)

## 2.6.2 *Preparación de biomonitores para el estudio de NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> en el aire*

### 2.6.2.1 *Elaboración exposición y recolección de biomonitores*

Los biomonitores utilizados en este estudio fueron bolsas de briofita *Metzgeriaceae*, se utilizó este tipo de briofita debido a que mediante el análisis espectrofotométrico se constata que fue la especie que absorbió mayor cantidad de concentraciones de los gases contaminantes.

Primero se desinfectó la briofita según la técnica de (Uribe y Cifuentes, 2004), lavándola con agua destilada en periodos de 2, 5, 15 y 20 minutos respectivamente. Se realizó una bolsa de la malla de tela de 8 cm de largo y 6 cm de ancho, se pesó alrededor de 2000 mg de briofita previamente desinfectada y se colocó dentro de la bolsa de tela, se transportó los biomonitores en fundas libres

de contaminación hacia el lugar de monitoreo. Se colocó cada biomonitor en cada punto específico de muestreo en altura de dos metros en referencia al nivel del suelo. Terminado el tiempo de exposición que fue de un mes se retiró el biomonitor, se lo etiquetó y se lo guardó en una bolsa libre de contaminación hasta su preparación en el laboratorio Bromatología como primera instancia para preparar cada tubo antes de su análisis espectrofotométrico en el laboratorio de Investigación ambos pertenecientes a la Facultad de Ciencias de la ESPOCH,

#### 2.6.2.2 *Preparación de la solución para analizar los Biomonitores*

La metodología que se aplicó en este proceso es la misma descrita con anterioridad en el apartado 2.6.1 metodología para analizar muestras de briofitas.

#### 2.6.3 *Análisis de biomonitores de dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>)*

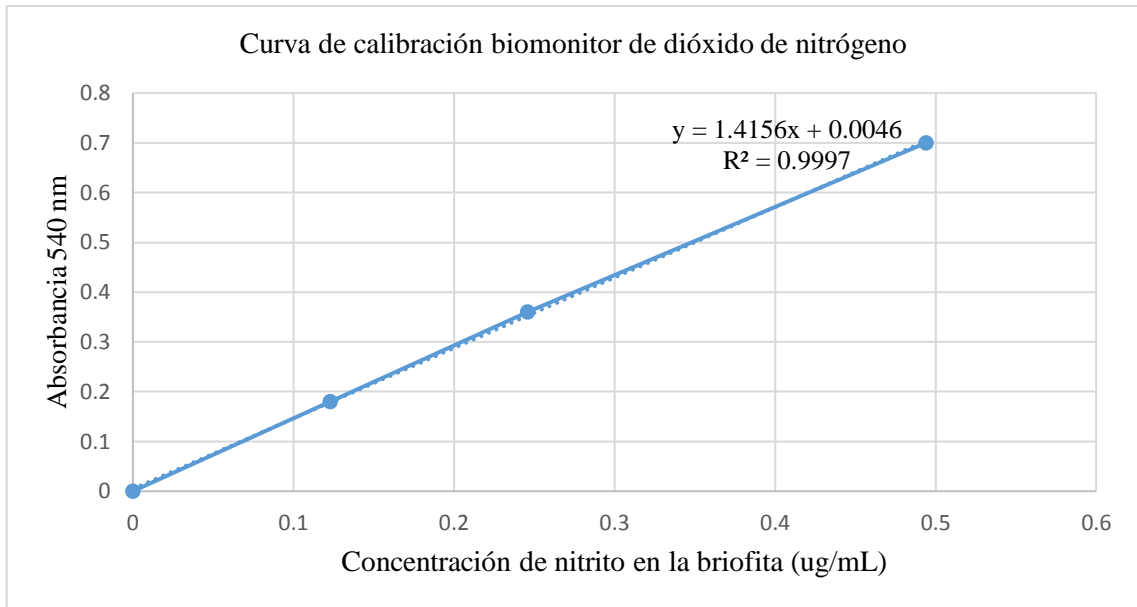
##### 2.6.3.1 *Método de obtención de la concentración de NO<sub>2</sub> (ug/m<sup>3</sup>) en los biomonitores*

Se utilizó la curva de calibración para relacionar las absorbancias con la concentración de nitrito en la briofita. Los valores para generar la curva de calibración fueron los siguientes:

**Tabla 2-2:** Datos para realizar la curva de calibración de NO<sub>2</sub> en biomonitores

<b>Volumen</b>	<b>Concentración de nitrito en la briofita (ug/mL)</b>	<b>Absorbancia a 540 nm</b>
40	0.494	0.7
20	0.246	0.36
10	0.123	0.18
0	0	0

Realizado por: Franklin D., Fonseca P. 2021



**Gráfico 1-2: Curva de calibración utilizada para NO<sub>2</sub> en biomonitores**

Realizado por: Franklin D., Fonseca P. 2021

Para obtener la concentración de nitrato en la briofita se realizó una regla de tres que relacionó a la curva de calibración con la absorbancia de la muestra. (Bermeo y Vega, 2018: p.37)

$$C2 \text{ (ug/ml)} = \frac{C1 * Abs2}{Abs1} \quad \text{(Ecuación 3-2)}$$

Donde:

- C1 (ug/mL) =Concentración de la absorbancia de la curva de calibración para NO<sub>2</sub>.
- C2 (ug/mL) =Concentración de nitrato en la briofita.
- Abs1=Absorbancia en la curva de calibración de NO<sub>2</sub>.
- Abs2=Absorbancia de la muestra a 540 nm.

Se procedió a calcular la masa de nitratos en la briofita empleando la siguiente ecuación 4-2: (Bermeo y Vega, 2018: p.38)

$$m \text{ NO}_x \text{ (ug)} = C2 * V \quad \text{(Ecuación 4-2)}$$

Donde:

- $m \text{ NO}_x$  (ug)=Masa de nitritos en la briofita.
- $C_2$  (ug/mL)= Concentración de nitrito en la briofita.
- $V$  (mL)= Volumen de reactivos de color añadido.

Para terminar se realizó el cálculo de la concentración de  $\text{NO}_2$  en el Ambiente (Bermeo y Vega, 2018: p.38)

$$C \text{ NO}_2 = \frac{m \text{ NO}_x * L}{D_{12} * A * t} \text{ (Ecuación 5-2)}$$

Donde:

- $C \text{ NO}_2$  (ug/m<sup>3</sup>)=Concentración de  $\text{NO}_2$  en el ambiente.
- $m \text{ NO}_x$  (ug)=Masa de nitritos en la briofita.
- $L$  (m)= Longitud.
- $D_{12}$  (m<sup>2</sup>/s)= Coeficiente de difusión entre  $\text{NO}_2$ -Aire.
- $A$  (m<sup>2</sup>)= Área.
- $T$ (s)=Periodo de muestreo.

## **2.6.4 Análisis de biomonitores de dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ )**

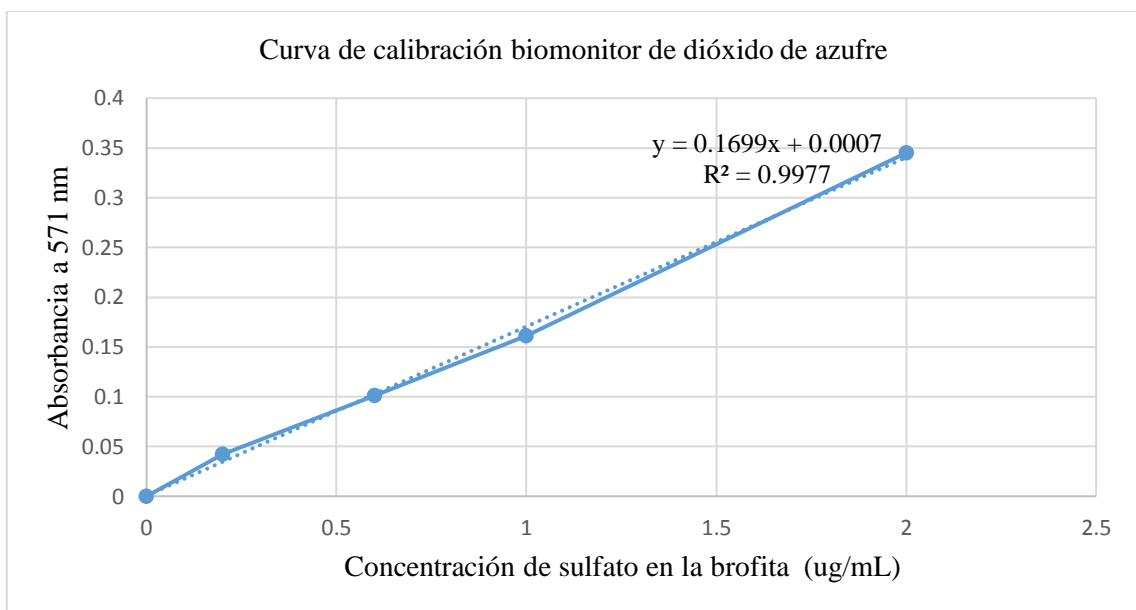
### **2.6.4.1 Método de obtención de la concentración de $\text{SO}_2$ (ug/m<sup>3</sup>) en los biomonitores**

Mediante la comparación de absorbancias obtenidas con la curva de calibración se pudo determinar la concentración de  $\text{SO}_2$  en la briofita. Los valores para generar la curva de calibración fueron los siguientes:

**Tabla 3-2:** Datos para realizar la curva de calibración de SO<sub>2</sub> en biomonitores

Volumen	Concentración de sulfato en la briofita (ug/mL)	Absorbancia a 571 nm
60	2	0.345
40	1	0.161
20	0.6	0.101
10	0.2	0.042
0	0	0

Realizado por: Franklin D., Fonseca P. 2021



**Gráfico 2-2:** Curva de calibración utilizada para SO<sub>2</sub> en biomonitores

Realizado por: Franklin D., Fonseca P. 2021

Utilizando los valores de la curva de calibración de dióxido de azufre se calculó la presencia de sulfatos en la briofita teniendo en cuenta la siguiente ecuación 6-2: (Bermeo y Vega, 2018: p.40)

$$C2 \left( \frac{ug}{ml} \right) = \frac{C1 * Abs2}{Abs1} \quad (\text{Ecuación 6-2})$$

Donde:

- C1 (ug/mL) =Concentración de la absorbancia de la curva de calibración para SO<sub>2</sub>.
- C2 (ug/mL) =Concentración de sulfatos en la briofita.
- Abs1=Absorbancia en la curva de calibración de SO<sub>2</sub>.
- Abs2=Absorbancia de la muestra a 571 nm.

Se procedió a calcular la masa de sulfatos en la briofita empleando la siguiente ecuación 7-2:  
(Bermeo y Vega, 2018: p.41)

$$mSOx (ug) = C2 * V \text{ (Ecuación 7-2)}$$

Donde:

- mSOx (ug)=Masa de sulfatos en la briofita.
- C2 (ug/mL)= Concentración de sulfatos en la briofita.
- V (mL)= Volumen de reactivos de color añadido.

Para terminar, se calculó la concentración de SO<sub>2</sub> con la siguiente ecuación 8-2: (Cifuentes, 2014, p.38)

$$C SO_2 = \frac{mSOx}{QK * t} * 10^6 \text{ (Ecuación 8-2)}$$

Donde:

- C SO<sub>2</sub> (ug/m<sup>3</sup>)= Concentración de SO<sub>2</sub> en el ambiente.
- mSOx (ug) = Masa de sulfatos en la briofita.
- Q<sub>k</sub> (m<sup>3</sup>/min)=Valor de frecuencia de muestreo que corresponde a 119 m<sup>3</sup>/min.
- t (min)=Tiempo de exposición.

## 2.7 Elaboración de captadores pasivos

La metodología utilizada consistió en la preparación del tubo, exposición, recolección y análisis espectrofotométrico UV-Visible. (Pardo, 2019, p.29). Los tubos muestreadores se realizaron en el laboratorio de Bromatología en la Facultad de Ciencias de la ESPOCH. Los tubos fueron adecuadamente analizados semanalmente y almacenados en refrigeración hasta ser trasladados al lugar de monitoreo. Los análisis de laboratorio se realizaron en el espectrofotómetro del laboratorio de Investigación de la Facultad de Ciencias.

### 2.7.1 Preparación de captadores pasivos para el estudio de $\text{NO}_2$ en el aire

Materiales de campo para captadores pasivos de  $\text{NO}_2$

- Materiales
  - Tubos pasivos de  $\text{NO}_2$
  - Gradilla
  - Cooler
  - Cinta taípe
  - Tijeras
  - Flexómetro
  - Escalera

- Sustancias y reactivos

- Hielo

Materiales de laboratorio para captadores pasivos de  $\text{NO}_2$

- Materiales
  - Tubo de 10 mL
  - Balón aforado de 1000 mL
  - Pipeta de 10 mL



- Pipeteador
- Cinta taípe
- Tijeras
- Botella Ambar de 1000 mL
- Mandil, guantes y mascarilla
  
- Sustancias y reactivos
  - Trietanolamina
  - N-butanol
  - N-1 naftilendiamina (NEDA)
  - Agua destilada
  - Ácido acético
  - Ácido sulfanílico
  
- Equipos
  - Balanza Analítica
  - Espectrofotómetro UV-Visible

#### 2.7.1.1 *Preparación del tubo de muestreo de NO<sub>2</sub>*

##### 2.7.1.1.1 *Solución Captadora de NO<sub>2</sub>*

Para la elaboración de la solución captadora se diluyó 15 g de trietanolamina con 500 mL de agua destilada, se añadió 3 g de N-butanol, y se realizó una mezcla homogénea, continuamente se aforó con agua destilada hasta que se obtuvo un volumen de 1000 mL. Se colocó la solución en una botella ambar y en refrigeración para su conservación con una duración de dos meses. Para concluir se añadió 3.5 mL de solución captadora en cada uno de los tubos que se ubicaron en los puntos de muestreo. (Manrique y Ossa, 2010: p.25)

### 2.7.2 *Preparación de captadores pasivos para el estudio de SO<sub>2</sub> en el aire*

Materiales de campo para muestreadores pasivos de SO<sub>2</sub>

- Materiales
  - Tubos pasivos de SO<sub>2</sub>
  - Gradilla
  - Cooler
  - Cinta taípe
  - Tijeras
  - Flexómetro
  - Escalera

- Sustancias y reactivos
  - Hielo

Materiales de laboratorio para muestreadores pasivos de SO<sub>2</sub>

- Materiales
  - Tubo de 10 mL
  - Balón de afora de 1000 mL
  - Pipeta de 10 mL
  - Pipeteador
  - Cinta taípe
  - Tijeras
  - Botella Ambar de 1000 mL
  - Mandil, guantes y mascarilla

- Sustancias y reactivos
  - Trietanolamina
  - N-butanol
  - Agua destilada
  - Ácido acético
  - Ácido Clorhídrico
  - Cloruro de Bario
  
- Equipos
  - Balanza Analítica
  - Espectrofotómetro UV-Visible

#### 2.7.2.1 *Preparación del tubo de muestreo de SO<sub>2</sub>*

##### 2.7.2.1.1 *Solución Captadora de SO<sub>2</sub>*

El proceso para la solución captadora para el dióxido de azufre fue el mismo que se realizó para la solución captadora de NO<sub>2</sub>. Cabe recalcar que los dióxidos de azufre fueron absorbidos en forma de sulfatos. Para la preparación de la solución captadora se diluyó 15 g de trietanolamina con 500 mL de agua destilada, se agregó 3 g de N-butanol, posterior se efectuó una mezcla homogénea. Continuamente se aforó con agua destilada hasta que se obtuvo un volumen de 1000 mL Si la solución se encuentra en una botella ambar y en refrigeración logra tener una duración de dos meses. (Manrique y Ossa, 2010: p.25)

Para concluir se colocó 3.5 mL de la solución captadora en cada tubo que se ubicó en los puntos de muestreo. Al final se colocó 7 mL de solución captadora en el tubo ya que para el análisis se dividió la solución presente en el tubo en dos tubos diferentes uno para NO<sub>2</sub> y otro para SO<sub>2</sub> respectivamente.

### **2.7.3 *Exposición y recolección de tubos pasivos***

En los 25 puntos de monitoreo se colocó los captadores pasivos a una altura de dos metros con referencia al nivel del suelo. Los tubos que tenían solución captadora en su interior fueron transportados respectivamente sellados en un cooler en condiciones de refrigeración mediante hielo. Al momento de colocación en cada punto se procedió a retirar las tapas de cada tubo para que interaccionen directamente con el contaminante circundante del área de estudio. Al terminar el tiempo de exposición de cada tubo se retiró y se selló con su respectiva tapa y se colocó en el cooler con hielo hasta su regreso para su análisis de laboratorio. Se etiquetó cada tubo según sus coordenadas para que no exista confusión al momento en que fueron analizarlos. (Pardo, 2019, p.31)

## **2.8 *Análisis de concentración de contaminantes por espectrofotometría UV-Visible de captadores pasivos***

### **2.8.1 *Análisis de captadores pasivos de Dióxido de Nitrógeno (NO<sub>2</sub>)***

Transcurrido el periodo de muestreo de los puntos establecidos en el terminal Intercantonal de la ciudad de Riobamba cada tubo muestreador se trasladó al laboratorio de Bromatología como primera instancia para preparar cada tubo antes de su análisis espectrofotométrico en el laboratorio de Investigación ambos pertenecientes a la Facultad de Ciencias de la ESPOCH, para obtener resultados de NO<sub>2</sub>.

#### **2.8.1.1 *Pruebas Colorimétricas***

Inicialmente se realizó una prueba colorimétrica que indicó si hubo presencia de NO<sub>2</sub> en las muestras, para dicha prueba se utilizaron dos soluciones:

- Solución 1: Se disolvió 0.64 g de ácido sulfanílico con 80 mL de ácido acético.
- Solución 2: Se disolvió 0.4 g de NEDA con 80 mL de ácido acético. (Bermeo y Vega, 2018, p.36)

Se añadió 0.5 mL de las dos solución de color en cada uno de los tubos de muestreo y ocurrió un cambio de coloración a rosado con variación de tono claro hasta un rosado más oscuro, la variación de color tiende a formarse según la dependencia directa de la cantidad de contaminante presente en cada muestra. Después de la prueba colorimétrica se procedió a medir las absorbancias en el espectrofotómetro UV-Visible a una longitud de onda de 540 nm. (Doval, 2009, p.32)

#### 2.8.1.2 Método de obtención de la concentración de NO<sub>2</sub> (ug/m<sup>3</sup>) en los captadores pasivos

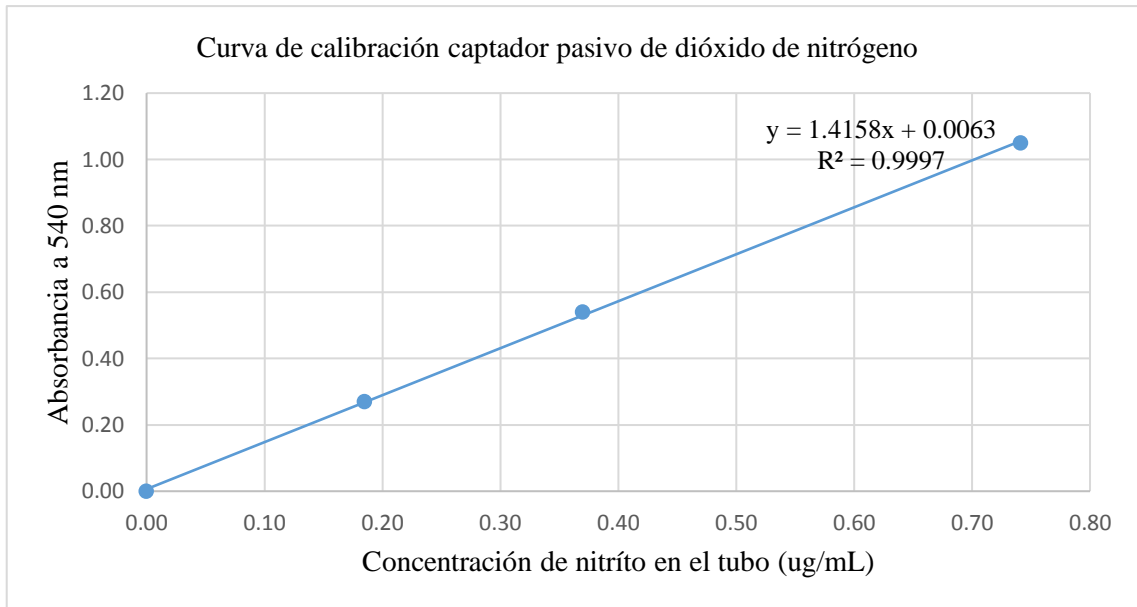
Se determinó la concentración de NO<sub>2</sub> en los tubos muestreadores realizando una comparación entre las absorbancias obtenidas con la curva de calibración. Los valores para generar la curva de calibración fueron los siguientes:

**Tabla 4-2:** Datos para realizar la curva de calibración de NO<sub>2</sub> en captadores pasivos

<b>Disolución estándar</b>	<b>Concentración de calibración estándar (ug/mL)</b>	<b>Concentración de nitrito en el tubo (ug/mL)</b>	<b>Absorbancia a 540 nm</b>
A	60	0.74	1.05
B	30	0.37	0.54
C	15	0.19	0.27
Blanco	0	0.00	0.00

**Fuente:** Borge et al, 2015

**Realizado por:** Franklin D., Fonseca P. 2021



**Gráfico 3-2: Curva de calibración utilizada para NO<sub>2</sub> en captadores pasivos**

**Fuente:** (Bermeo y Vega, 2018)

**Realizado por:** Franklin D., Fonseca P. 2021

Con los valores de la curva de calibración de dióxido de nitrógeno se calculó la presencia de nitritos en los tubos muestreadores empleando la ecuación 9-2: (Bermeo y Vega, 2018: p.37)

$$C2 \text{ (ug/ml)} = \frac{C1 * Abs2}{Abs1} \text{ (Ecuación 9-2)}$$

Donde:

- C1 (ug/mL) =Concentración de la absorbancia de la curva de calibración para NO<sub>2</sub>.
- C2 (ug/mL) =Concentración de nitrito en el tubo.
- Abs1=Absorbancia en la curva de calibración de NO<sub>2</sub>.
- Abs2=Absorbancia de la muestra a 540 nm.

Se procedió a calcular la masa de nitritos en el tubo de muestreo empleando la ecuación 10-2: (Bermeo y Vega, 2018: p.38)

$$m \text{ NOx (ug)} = C2 * V \text{ (Ecuación 10-2)}$$

Donde:

- $m \text{ NO}_x$  (ug)=Masa de nitritos en el tubo.
- $C_2$  (ug/mL)= Concentración de nitrito en el tubo.
- $V$  (mL)= Volumen de reactivos de color añadido.

Finalmente se logró adquirir la concentración de  $\text{NO}_2$  en el Ambiente empleando la ecuación 11-2 (Bermeo y Vega, 2018: p.38)

$$C \text{ NO}_2 = \frac{m \text{ NO}_x * L}{D_{12} * A * t} \text{ (Ecuación 11-2)}$$

Donde:

- $C \text{ NO}_2$  (ug/m<sup>3</sup>)=Concentración de  $\text{NO}_2$  en el ambiente.
- $m \text{ NO}_x$  (ug)=Masa de nitritos en el tubo.
- $L$  (m)= Longitud del tubo.
- $D_{12}$  (m<sup>2</sup>/s)= Coeficiente de difusión entre  $\text{NO}_2$ -Aire.
- $A$  (m<sup>2</sup>)= Área transversal del tubo.
- $T$ (s)=Periodo de muestreo.

### 2.8.2 *Análisis de captadores pasivos de Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>)*

Transcurrido el tiempo de muestreo en los puntos establecidos del terminal Intercantonal de la ciudad de Riobamba cada tubo muestreador se trasladó al laboratorio de Bromatología como primera instancia para preparar cada tubo antes de su análisis espectrofotométrico en el laboratorio de Investigación ambos pertenecientes a la Facultad de Ciencias de la ESPOCH, para obtener resultados de  $\text{SO}_2$ .

### 2.8.2.1 Preparación de la solución para analizar los captadores de SO<sub>2</sub>

Primero se realizó una solución sobresaturada de cloruro de bario se añadió 6 g de cloruro de bario con 25 mL de agua destilada. Hecha la solución se colocó 1 mL en cada tubo de muestreo, posteriormente se añadió 0.5 mL de ácido clorhídrico para eliminar cualquier interferencia en el momento de analizar. Cuando estuvo listo el tubo con dichas soluciones se dejó reposar por cinco minutos con el propósito de que se genere la reacción. Finalmente los tubos con las muestras se analizaron en el espectrofotómetro UV-Visible a una absorbancia de 420 nm. (Cifuentes, 2014, p.37)

### 2.8.2.2 Método de obtención de la concentración de SO<sub>2</sub> (ug/m<sup>3</sup>) en los captadores pasivos

Se determinó la concentración de SO<sub>2</sub> en los tubos muestreadores realizando una comparación entre las absorbancias obtenidas con la curva de calibración. Los valores para generar la curva de calibración se establecen en la Tabla 5-2:

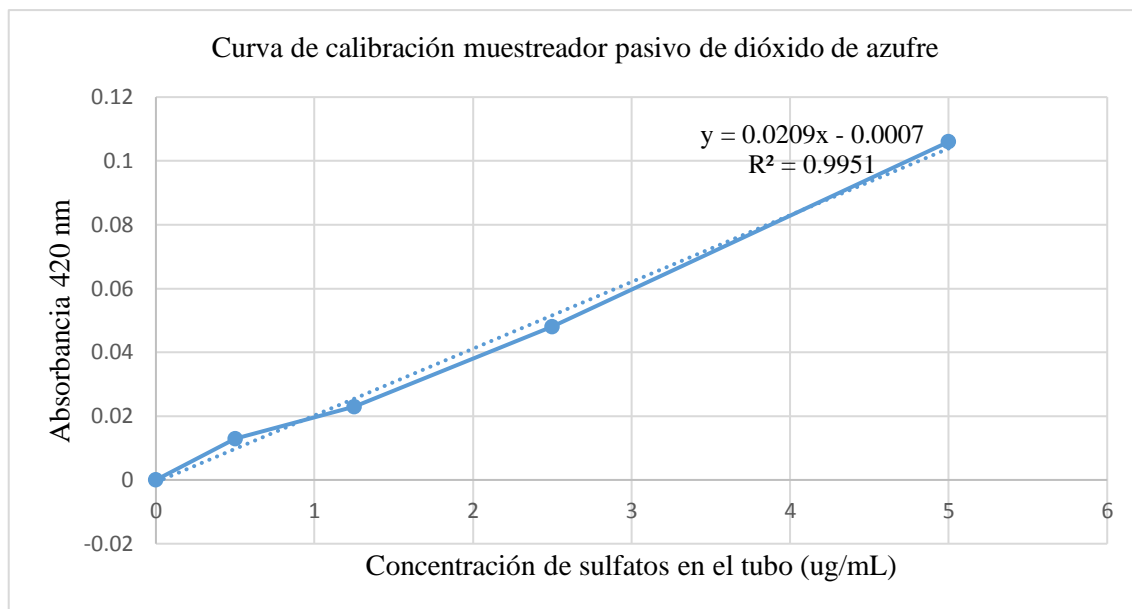
**Tabla 5-2:** Datos para realizar la curva de calibración de SO<sub>2</sub> en captadores pasivos

Concentración teórica de sulfatos (ug/mL)	Promedio de las absorbancias
0	0
0.5	0.013
1.25	0.023
2.5	0.048
5	0.106

Fuente: Cifuentes, 2014

Realizado por: Franklin D., Fonseca P. 2021





**Gráfico 4-2: Curva de calibración utilizada para SO<sub>2</sub> en captadores pasivos**

**Fuente:** Bermeo y Vega, 2018

**Realizado por:** Franklin D., Fonseca P. 2021

Con los valores de la curva de calibración de dióxido de azufre se calculó la presencia de sulfatos en los tubos muestreadores teniendo en cuenta la ecuación 12-2: (Bermeo y Vega, 2018: p.40)

$$C2 (ug/ml) = \frac{C1 * Abs2}{Abs1} \text{ (Ecuación 12-2)}$$

Donde:

- C1 (ug/mL) =Concentración de la absorbancia de la curva de calibración para SO<sub>2</sub>.
- C2 (ug/mL) =Concentración de sulfatos en el tubo.
- Abs1=Absorbancia en la curva de calibración de SO<sub>2</sub>.
- Abs2=Absorbancia de la muestra a 420 nm.

Se procedió a calcular la masa de sulfatos en el tubo de muestreo empleando la siguiente ecuación 13-2: (Bermeo y Vega, 2018: p.41)

$$mSOx (ug) = C2 * V \text{ (Ecuación 13-2)}$$

Donde:

- $mSO_x$  (ug)=Masa de sulfatos en el tubo.
- $C_2$  (ug/mL)= Concentración de sulfatos en el tubo.
- $V$  (mL)= Volumen de reactivos de color añadido.

Finalmente se logró adquirir la concentración de  $SO_2$  con la siguiente ecuación 14-2: (Cifuentes, 2014, p.38)

$$C_{SO_2} = \frac{mSO_x}{Q_k * t} * 10^6 \text{ (Ecuación 14-2)}$$

Donde:

- $C_{SO_2}$  (ug/m<sup>3</sup>)= Concentración de  $SO_2$  en el ambiente.
- $mSO_x$  (ug) = Masa de sulfatos en el tubo.
- $Q_k$  (m<sup>3</sup>/min)=Valor de frecuencia de muestreo que corresponde a 119 m<sup>3</sup>/min.
- $t$  (min)=Tiempo de exposición.

## 2.9 Corrección de resultados

El Ministerio del Ambiente aprueba las reglas generales para la concentración de contaminantes estándar en el aire ambiente en la Sección 4.1.2 del REGISTRO OFICIAL EDICIÓN ESPECIAL NO. 387, que establece:

Las mediciones observadas de concentraciones estándar de contaminantes atmosféricos deben corregirse de acuerdo con las condiciones del lugar donde se realizan dichas mediciones. (Ministerio del Ambiente, 2015)

**2.9.1 Datos para corregir las concentraciones de contaminación de NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> a condiciones locales**

**Tabla 6-2:** Datos para corregir las concentraciones de contaminación de NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>

Semana	Temperatura (°K)	Presión mm Hg
1	286.359375	546.162188
2	287.560417	545.823750
3	286.424405	545.888571
4	287.283854	545.756250
5	287.522024	546.347143
6	287.546429	545.982857
7	286.336979	546.538125
8	286.006510	545.695313

Fuente: Red de Estaciones Meteorológicas Automáticas, 2021

Realizado por: Franklin D., Fonseca P. 2021

La Tabla 6-2 que corresponde a los datos para corregir las concentraciones de contaminación de NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> fueron proporcionados por el GRUPO DE ENERGÍAS ALTERNATIVAS Y AMBIENTE (GEAA) y de la RED DE ESTACIONES METEOROLÓGICAS AUTOMÁTICAS.

La Ecuación 15-2 que se utilizó para la corrección de los datos de contaminantes como NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> tanto para biomonitores como para muestreadores pasivos fue la siguiente: (Ministerio del Ambiente, 2015, p.55)

$$C_c \Rightarrow C_o = \frac{760 \text{ mm Hg}}{P_{bl} \text{ mm Hg}} * \frac{(273.15+t^{\circ}C)^{\circ}K}{298^{\circ}K} \quad (\text{Ecuación 15-2})$$

Donde:

- C<sub>c</sub> (ug/m<sup>3</sup>)= Concentración corregida.
- C<sub>o</sub> (ug/m<sup>3</sup>)= Concentración observada.
- P<sub>bl</sub>= Presión atmosférica local.
- t°C= Temperatura local.

## **2.10 Elaboración de mapas temáticos**

Fue muy útil el uso del software ArcGis para visualizar las concentraciones de contaminación de NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> en los 25 puntos de muestro ubicados alrededor del terminal Intercantonal de Riobamba. Primero, fue necesario efectuar un Excel de datos en donde se encontraron los valores promedio finales de NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> tanto de los biomonitores como el de los captadores pasivos, además de los puntos y las coordenadas de posición de cada punto. Una vez generado la base de datos se integró al software ArcGis, posteriormente se necesitó un mapa georreferenciado que se obtuvo descargándolo de la base de datos topográficos de Openstreet map. Con la herramienta Spatial Analyst Tools en Interpolation y Kriging o IDW se logró generar una interpolación referente a las concentraciones de cada contaminante que generó una variación de colores respecto a los rangos de contaminación en los puntos de estudio. (Nieto, 2019, p.40)

## **2.11 Análisis estadístico**

Aprovechando el software SPSS que es un programa estadístico muy utilizado en análisis de datos por su gran capacidad de trabajar con grandes bases de datos y por tener una interfaz adecuada para conseguir valores concretos y validados. Se realizó un análisis estadístico para relacionar variables de contaminación de aire tanto de NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> muestreados con biomonitores y captadores pasivos con lo que se validó los datos obtenidos durante el estudio.

## CAPÍTULO III

### 3 MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

#### 3.1 Identificación de especies

Mediante el trabajo realizado por (Noriega 2008, p.11) en la ciudad de Quito que trata del estudio de la calidad del aire utilizando especies vegetales específicamente briofitas aplicadas como muestreadores biológicos se logró obtener indicios de donde sería el lugar apto y con condiciones climáticas adecuadas para poder encontrar los tipos de briofitas debido a que focaliza que las briofitas crecen mayormente en bosques húmedos

En el bosque se visualizó gran cantidad de especies vegetales propias del lugar. De manera eficaz y concreta se obtuvo cinco tipos de especies de briofitas de distintas especies, las cuales presentaban características diferentes en tamaño forma y color. (ver tabla 1-3).

#### 3.2 Tipos de briofitas recogidas

**Tabla 1-3:** Tipos de briofitas

<b>Codificación</b>	<b>Nombre de la especie</b>
A1	<i>Breutelia trianae</i>
B1	<i>Bazzania breutelia</i>
C1	<i>Metzgeriaceae</i>
D1	<i>Pleurozium schreberi</i>
E1	<i>Dicranaceae</i>

Realizado por: Franklin D., Fonseca P. 2021

### 3.3 Cálculo para la concentración de generación de SO<sub>2</sub> y NO<sub>2</sub>

Para conocer la cantidad exacta de los reactivos que serían empleados en la generación de dióxido de azufre y dióxido de nitrógeno se realizó un balance de ecuaciones químicas. Según (Marín, 2017, p.1) el balance de ecuaciones corresponde a la ley de conservación de la masa de Lavoisier. En donde se puntúa que la masa de reactivos debe ser igual a la masa de productos. Explica que para poder balancear una ecuación química se debe conocer el tipo de ecuación.

Mediante el concepto de (Regalado et al., 2014: p.30) que conceptualiza que para realizar un balance químico en las ecuaciones, los coeficientes estequiométricos de una reacción es decir los átomos presentes en los reactivos deben estar presentes en los productos.

Con esta información se balanceo las ecuaciones 1-2 y 2-2 que mediante cálculos cuantitativos arrojaron la cantidad de azufre requerida para generar dióxido de azufre, ver la tabla 2-3. Del mismo modo se realizó para conocer la cantidad de cobre y ácido nítrico necesario para generar dióxido de nitrógeno, ver la tabla 3-3.

**Tabla 2-3:** Cantidades de azufre para generar dióxido de azufre

Día	Cantidad de S	Generación de SO <sub>2</sub>
1	0.5 g	380.2281 mL
2	1 g	760.4563 mL
3	1.5 g	1140.6844 mL
4	2 g	1520.1407 mL
5	2.5 g	1901.1407 mL

Realizado por: Franklin D., Fonseca P. 2021

**Tabla 3-3:** Cantidades de cobre y ácido nítrico para la generación de dióxido de nitrógeno

Día	Cantidad de Cu	Cantidad de HNO <sub>3</sub>	Generación de NO <sub>2</sub>
1	0.761 g	1.0629 mL	380,2129 mL
2	1.522 g	2.1250 mL	760.4259 mL
3	2.283 g	3.1887 mL	1140.6388 mL
4	3.044 g	4.2516 mL	1520.8518 mL
5	3.805 g	5.3145 mL	1901.0647 mL

Realizado por: Franklin D., Fonseca P. 2021

### 3.4 Concentración promedio ambiental de NO<sub>2</sub> con biomonitores

**Tabla 4-3:** Concentraciones de dióxido de nitrógeno analizadas con biomonitores

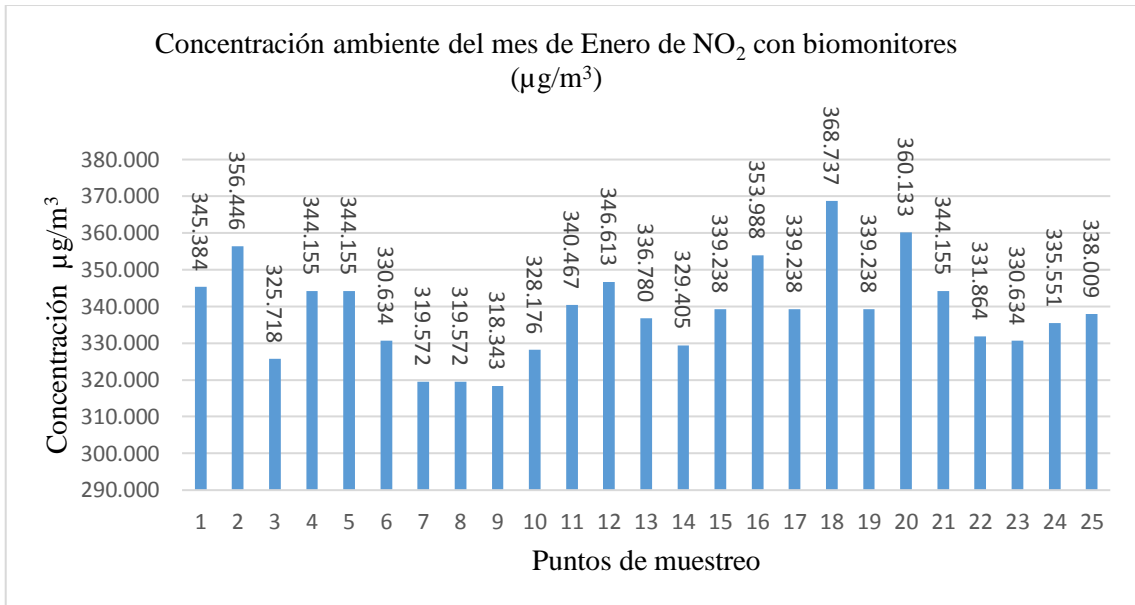
Puntos de muestreo	Concentración ambiente de enero corregida de NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	Concentración ambiente de febrero corregida de NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	Concentración promedio ambiente final corregida de NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )
1	345.384	370.684	358.034
2	356.446	372.323	364.384
3	325.718	360.444	343.081
4	344.155	369.455	356.805
5	344.155	341.193	342.674
6	330.634	370.275	350.455
7	319.572	320.713	320.143
8	319.572	323.581	321.576
9	318.343	337.916	328.130
10	328.176	354.300	341.238
11	340.467	335.459	337.963
12	346.613	375.190	360.901
13	336.780	340.784	338.782
14	329.405	320.713	325.059
15	339.238	344.470	341.854
16	353.988	337.097	345.543
17	339.238	335.868	337.553
18	368.737	384.201	376.469
19	339.238	327.267	333.253
20	360.133	331.363	345.748
21	344.155	348.566	346.360
22	331.864	319.894	325.879
23	330.634	332.182	331.408
24	335.551	337.916	336.734
25	338.009	346.518	342.264

Realizado por: Franklin D., Fonseca P. 2021

La Tabla 4-3 detalla los valores de las concentraciones de dióxido de nitrógeno analizadas en los 25 puntos de muestreo mediante biomonitores en el terminal Intercantonal de la ciudad de Riobamba durante los meses de enero y febrero. Los resultados obtenidos de las concentraciones ambiente de enero corregidas de NO<sub>2</sub> expresan valores en un rango entre 318.343 µg/m<sup>3</sup> a 368.737 µg/m<sup>3</sup>, mientras que las concentraciones ambiente de febrero corregidas están en un rango de

319.894  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  hasta 384.201  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y los valores de concentraciones promedio ambiente final corregida van en un rango de 320.143  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  hasta 376.469  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

### 3.4.1 Variación de la concentración ambiente del mes de enero corregida de $\text{NO}_2$ con biomonitores



**Gráfico 1-3: Concentración del mes de Enero de  $\text{NO}_2$  con biomonitores**

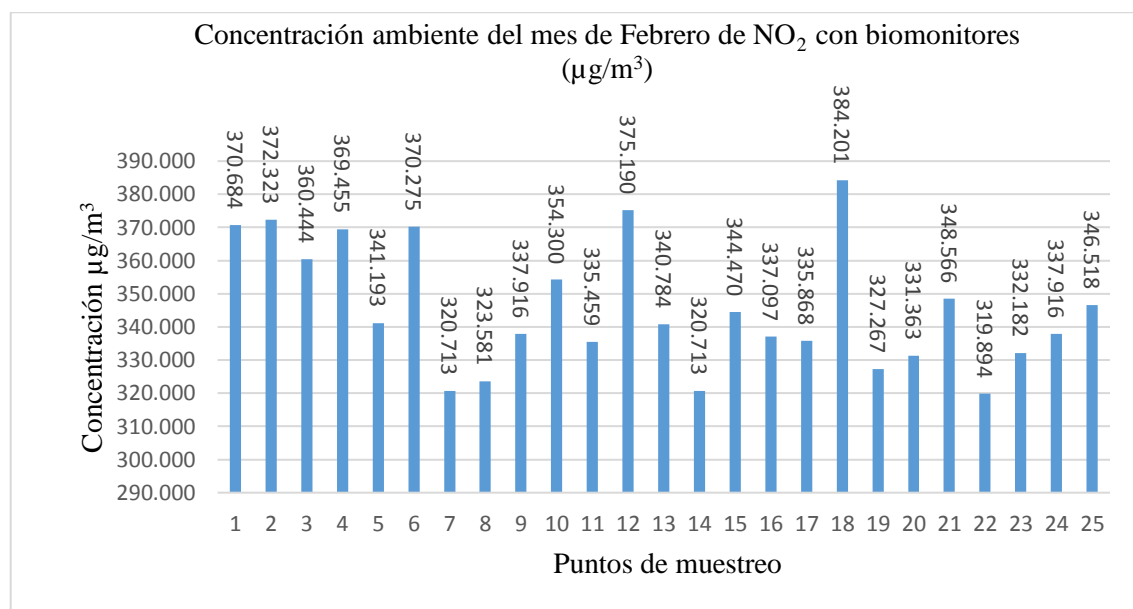
Realizado por: Franklin D., Fonseca P. 2021

El Gráfico 1-3 contiene los valores resultantes de los análisis realizados en el laboratorio de Investigación de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH, referentes a los biomonitores expuestos en el área de estudio en un estimado de un mes de monitoreo correspondiente al mes de enero. Teniendo un rango establecido entre valores que van desde 318.343  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  que corresponde al punto 9 siendo así el punto más bajo. Hasta un valor de 368.737  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  correspondiente al punto 18 que es el más alto en concentración de  $\text{NO}_2$ . Dichos puntos reflejan su ubicación y el grado de concentración de contaminación por dióxido de nitrógeno al que están expuestos, tal es el caso de los puntos más bajos como el 3, 6, 7, 8, 9, 14, 22 y 23 considerados como los de menos concentración del contaminante debido a su punto de ubicación ya que pertenecen a los puntos más alejados a las fuentes directas de emisión de dióxido de carbono. Mientras que los otros puntos tienen valores intermedios y altos porque están ubicados en sectores de gran afluencia vehicular como es la avenida Canónigo Ramos y la calle José Roura en un diámetro que cubre al terminal por lo general donde los transportes se parquean hasta esperar su turno de ingreso al terminal. En el estudio realizado por (Cueva, 2017, p.27) se focaliza que las fuentes que generan



contaminación atmosférica son industrias como manufacturación y construcción al igual que el transporte y el tránsito, con lo que se corrobora en este estudio que la fuente de contaminación que genera dióxido de nitrógeno es el transporte y tránsito de todo tipo de vehículo en el sector de estudio.

### 3.4.2 Variación de la concentración ambiente del mes de febrero corregida de NO<sub>2</sub> con biomonitores



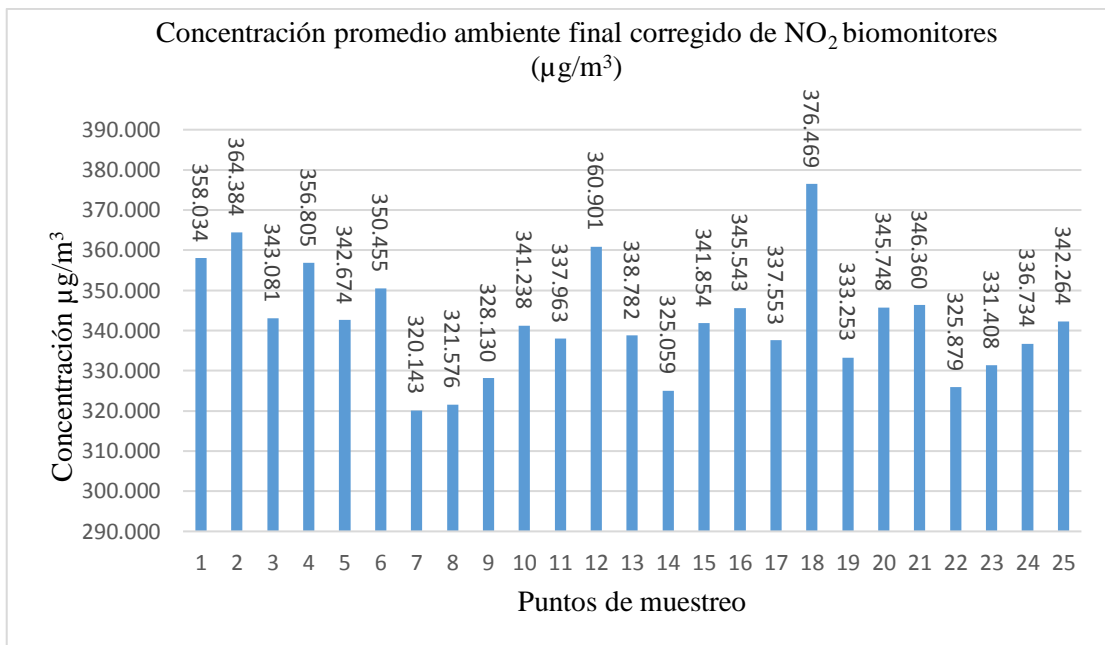
**Gráfico 2-3: Concentración del mes de febrero de NO<sub>2</sub> con biomonitores**

Realizado por: Franklin D., Fonseca P. 2021

En el Gráfico 2-3 que se refiere a los resultados de concentración de NO<sub>2</sub> durante el mes de febrero, da una variación en comparación con los resultados obtenidos en el primer mes de análisis. En este caso el rango va desde 319.894 µg/m<sup>3</sup> hasta 384.201 µg/m<sup>3</sup>. Considerado como el punto mínimo al punto 22 y al máximo como el punto 18. Las variaciones entre el mes de enero y febrero varían de la siguiente manera, con un aumento representativo los puntos 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 13, 15, 18, 21, 23, 24, 25 tienen a aumentar en su concentración. Por otro lado los puntos 5, 11, 14, 16, 17, 19, 20, 22 disminuyen su concentración de dióxido de nitrógeno. Se puede decir que según los valores resultantes en este mes los biomonitores acumularon mayor cantidad de contaminante, según el estudio efectuado por (González, 2018, p.68) donde expresa que las especies vivas que actúan como biomonitores se basan a su capacidad de acumulación por ende estos estudios se compactan debido a que se observa resultados positivos en la capacidad de acumulación y absorción de contaminantes atmosféricos con biomonitores.

### 3.4.3 Variación de la concentración promedio ambiente final corregida de NO<sub>2</sub> con biomonitores

El análisis de los 25 puntos de muestreo establecidos en la tabla 4-3 durante los dos meses de estudio, aplicando biomonitores en el terminal Intercantonal de la ciudad de Riobamba para conocer la calidad del aire atmosférico arrojan los siguientes resultados propuestos en el gráfico 3-3.



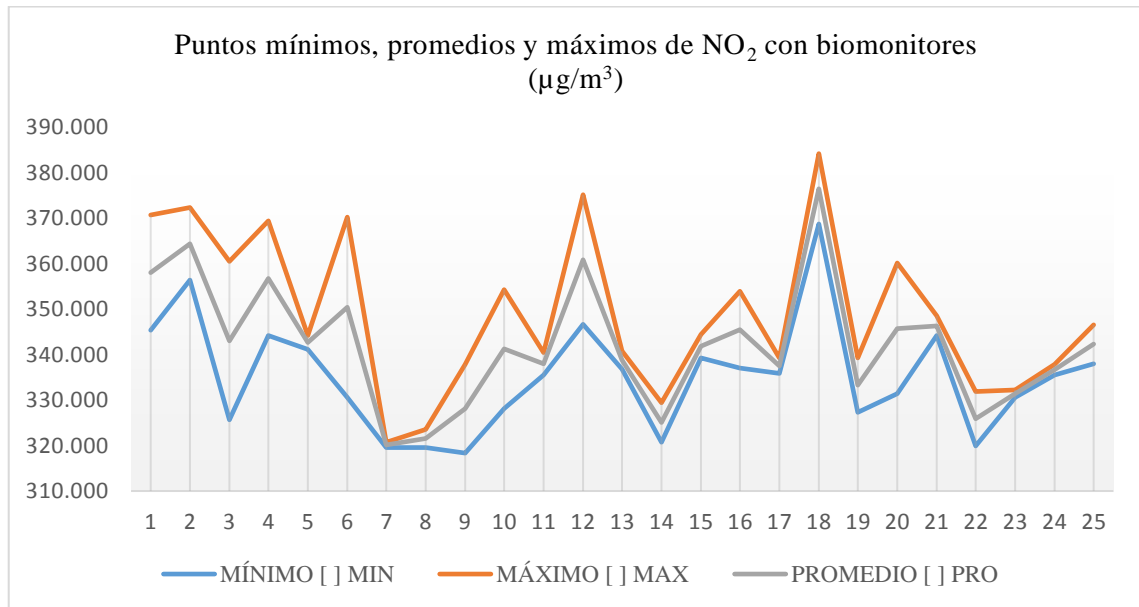
**Gráfico 3-3: Concentración promedio final de NO<sub>2</sub> con biomonitores**

Realizado por: Franklin D., Fonseca P. 2021

El Gráfico 3-3 representa la concentración promedio ambiente final corregida de NO<sub>2</sub> de los biomonitores expuestos en los meses de enero y febrero. Cabe recalcar que en el estudio efectuado por (González, 2018, p.68) se corrobora con este estudio ya que usa a seres vivos con características similares para el análisis de contaminación en puntos y en tiempos específicos. El rango final de concentración va desde 320.143 µg/m<sup>3</sup> hasta 376.469 µg/m<sup>3</sup> representados por el punto 7 como mínimo y el punto 18 como máximo respectivamente. De manera general se observa menos concentración de contaminación en los puntos 7, 8, 9, 14 y 22 esto debido a su punto de ubicación y a la poca influencia de vehículos en los puntos mencionados. Sin embargo el punto 14 es significativo en los más bajos debido a su ubicación en la avenida Canónigo Ramos debería tener una concentración intermedia como la mayoría de los puntos ubicados en dicha avenida, pero se puede decir que el valor de 325.059 µg/m<sup>3</sup> se da por ser el punto más alejado del terminal con

respecto al terminal. En cuanto a los puntos más altos son los puntos 1, 2, 4, 12 y 18 siendo este último el más significativo con el valor de 376.469  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  esto se da porque es el punto de salida de los autobuses y la zona es alta en circulación vehicular.

### 3.4.4 Puntos mínimos, promedios y máximos de concentración de $\text{NO}_2$ con biomonitores



**Gráfico 4-3: Puntos mínimos, promedios y máximos de  $\text{NO}_2$  con biomonitores**

Realizado por: Franklin D., Fonseca P. 2021

El Gráfico 4-3 de puntos mínimos, promedios y máximos varía a lo largo de los 25 puntos de muestreo. Empiezan con una tendencia de crecimiento hasta el punto 2 que posteriormente decrece hasta el punto 3, aumenta hasta el punto 4 y disminuye hasta el punto 5 donde acontece un incremento significativo en el punto 6 a continuación decrece hasta el punto 7 manteniéndose hasta el punto 8. Desde ese punto la concentración varía en los puntos mínimos y máximos debidos que los puntos mínimos tienden a crecer hasta el punto 12 mientras que los puntos máximos solo hasta el punto 10 ya que en el punto 11 disminuyen, posterior aumentan hasta el punto 12. Desde el punto 12 la tendencia entre crecer y decrecer de los puntos mínimos y máximos se mantiene porcentualmente constantes. Desde el punto 12 existe un decrecimiento significativo hasta el punto 14, desde dicho punto crece hasta el punto 16, sin embargo disminuye hasta el punto 17. En el punto 18 se origina la concentración más alta de contaminante en los puntos mínimos, promedio y máximo. En el punto 19 existe una baja concentración de  $\text{NO}_2$  que tiende a crecer en el punto 20, de nuevo baja su concentración hasta el punto 22 y finalmente crece hasta el punto 25 en donde finaliza con concentraciones medias del contaminante en estudio.

El rango de la gráfica analizada va desde valores de concentración de NO<sub>2</sub> de 384.201 µg/m<sup>3</sup> que pertenecen al punto 18 y consecuentemente es el punto máximo donde se constata mayor grado de contaminación. El rango inferior es de 318.343 µg/m<sup>3</sup> de NO<sub>2</sub> ubicado en el punto 9 que sería el punto mínimo con menor rango de contaminación, presentado en el estudio de los 25 puntos de muestreo durante los meses de enero y febrero. Los valores de los puntos considerados como máximos y mínimos se focalizan según su ubicación debido a que el punto 18 está ubicado en la puerta de salida de autobuses en la avenida principal que tiene alto grado de circulación vehicular en horas pico y en horas normales, lo que se ratifica con el estudio realizado por (Cueva, 2017, p.27) que explica que se obtiene mayor generación de NO<sub>2</sub> por medio de fuentes automovilísticas. Mientras que el punto 9 tiene el valor más bajo de concentración por ser el punto más alejado del terminal en su parte posterior donde no existe gran circulación vehicular.

### 3.5 Concentración promedio ambiental de SO<sub>2</sub> con biomonitores

**Tabla 5-3:** Concentraciones de dióxido de azufre analizadas con biomonitores

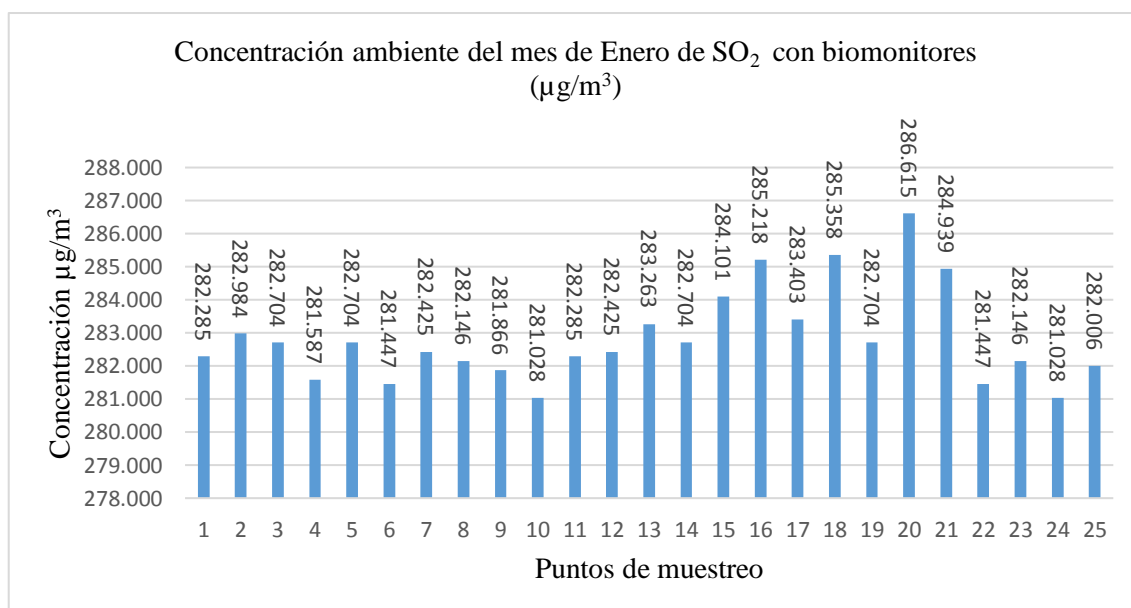
Puntos de muestreo	Concentración ambiente de enero corregida de SO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	Concentración ambiente de febrero corregida de SO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	Concentración promedio ambiente final corregida de SO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )
1	282.285	285.322	283.804
2	282.984	285.462	284.223
3	282.704	285.043	283.874
4	281.587	281.553	281.570
5	282.704	285.462	284.083
6	281.447	283.368	282.408
7	282.425	281.414	281.919
8	282.146	282.670	282.408
9	281.866	282.670	282.268
10	281.028	282.949	281.989
11	282.285	284.624	283.455
12	282.425	282.809	282.617
13	283.263	283.089	283.176
14	282.704	284.066	283.385
15	284.101	285.043	284.572
16	285.218	283.926	284.572

17	283.403	283.647	283.525
18	285.358	288.114	286.736
19	282.704	283.787	283.245
20	286.615	283.647	285.131
21	284.939	284.485	284.712
22	281.447	281.553	281.500
23	282.146	282.251	282.198
24	281.028	282.112	281.570
25	282.006	282.391	282.198

Realizado por: Franklin D., Fonseca P. 2021

La Tabla 5-3 contiene los valores correspondientes a las concentraciones de dióxido de azufre analizadas en los 25 puntos de muestreo mediante biomonitores en el terminal Intercantonal de la ciudad de Riobamba durante los meses de enero y febrero. Los resultados obtenidos de las concentraciones ambiente de enero corregidas de SO<sub>2</sub> expresan valores en un rango entre 281.028 µg/m<sup>3</sup> a 286.615 µg/m<sup>3</sup>, mientras que las concentraciones ambiente de febrero corregidas están en un rango de 281.414 µg/m<sup>3</sup> hasta 288.114 µg/m<sup>3</sup> y los valores de concentraciones promedio ambiente final corregida van en un rango de 281.5 00 µg/m<sup>3</sup> hasta 286.736 µg/m<sup>3</sup>.

### 3.5.1 Variación de la concentración ambiente del mes de enero corregida de SO<sub>2</sub> con biomonitores

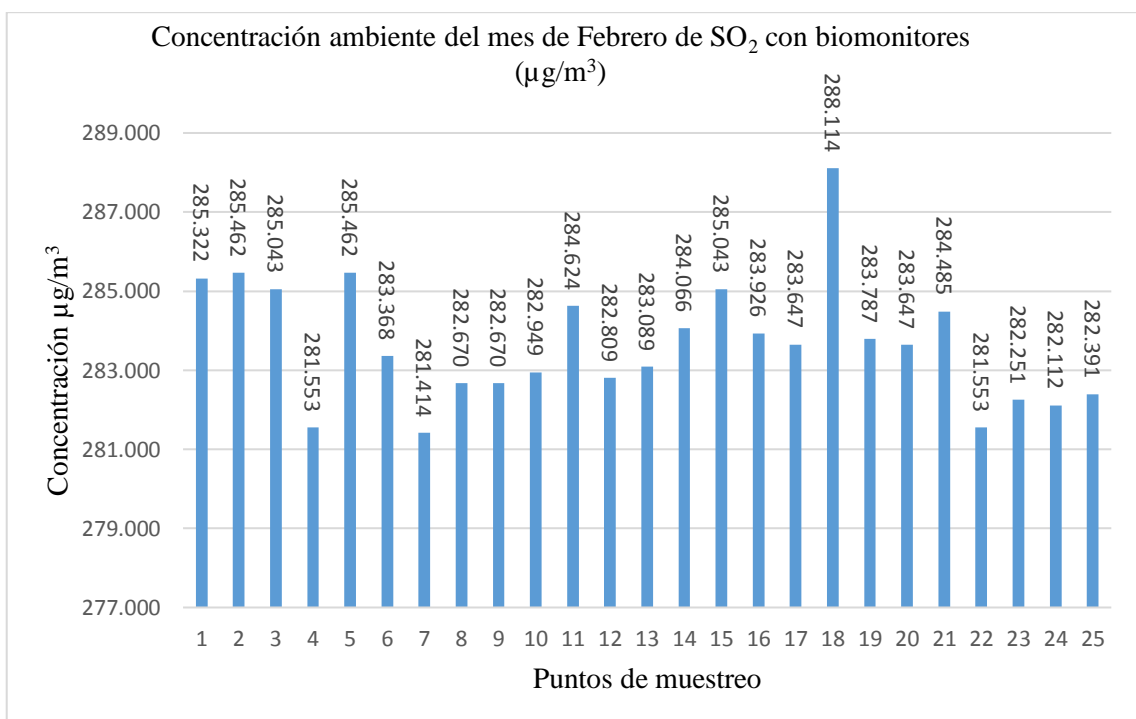


**Gráfico 5-3: Concentración del mes de Enero de SO<sub>2</sub> con biomonitores**

Realizado por: Franklin D., Fonseca P. 2021

En el Gráfico 5-3 que representa los resultados del mes de enero analizado mediante biomonitores para conocer la calidad del aire en el terminal Intercantonal, refleja los valores en cuanto a concentración de dióxido de azufre en cada punto de muestreo. El rango de concentración va desde 286.615  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de  $\text{SO}_2$  como máximo mientras que el valor mínimo es de 281.028  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de  $\text{SO}_2$ . Los puntos más altos se encuentran el 20 y el mínimo en el 10. Existen valores significativamente altos como por ejemplo el 15, 16, 18 y 21 los cuales están ubicados en la calle Canónigo Ramos que es la avenida principal y de alta congestión y circulación vehicular lo que se constata con los valores más altos en los puntos de muestreo, ya que según el estudio realizado por (Bermeo y Vega, 2018: p.54) explican que la emisión de dióxido de azufre al ambiente que se da oxidación de azufre en presencia de oxígeno, proceso que se dan en la combustión de combustibles fósiles asociados directamente a la industria del transporte. Mientras que los puntos que presentan las concentraciones más bajas son el 4, 6, 9, 10, 22 y 24 que sus valores se dan por diferentes razones, ya sea por su ubicación específica debido a que algunos están ubicados en los puntos más distantes del terminal y con bajos niveles de circulación o a su vez por la baja absorción del contaminante.

### 3.5.2 Variación de la concentración ambiente del mes de febrero corregida de $\text{SO}_2$ con biomonitores



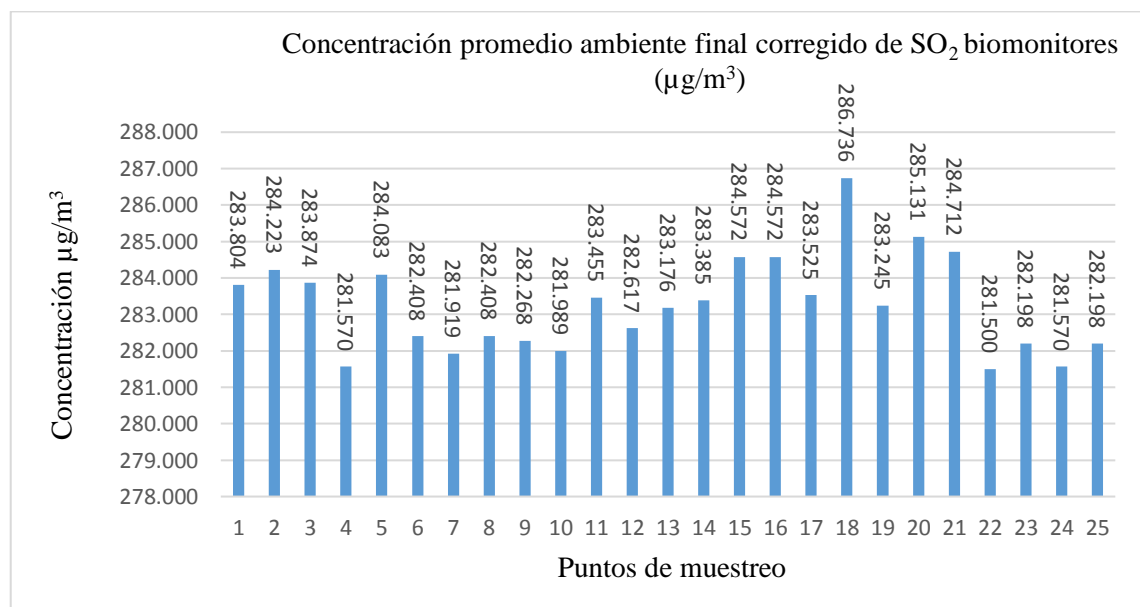
**Gráfico 6-3: Concentración del mes de Febrero de  $\text{SO}_2$  con biomonitores**

Realizado por: Franklin D., Fonseca P. 2021

El Gráfico 6-3 refleja los resultados obtenidos en el mes de febrero de análisis de dióxido de azufre mediante biomonitores. El valor de concentración máximo es de 288.114  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  perteneciente al punto 18 que es el punto considerado de mayor cantidad de concentración de dióxido de azufre. El valor mínimo de concentración es de 281.414  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  que pertenece al punto 7 considerado como el de menos concentración de dióxido de azufre. El estudio realizado por (Noriega 2008, p.10) donde puntualiza que el uso de especies vivas es efectivo para determinar concentraciones de contaminación en las especies y en el ambiente se comprueba con los resultados expresados en este estudio debido a que se efectuó aplicando biomonitores de briofitas para que actúen como absorbentes en este caso de dióxido de azufre. Se puede realizar una comparación entre los resultados del mes de enero con los del mes de febrero y se puede llegar a la conclusión que existe un aumento de concentración de dióxido de azufre en la mayoría de puntos, solo disminuye la concentración en los puntos 1, 7, 13, 16, 20 y 21. Esto refleja que en el segundo mes existió mayor absorción de contaminante por parte de los biomonitores o a su vez se produjo mayor flujo vehicular en el sector, aumentando así los niveles del contaminante en la zona de estudio.

### 3.5.3 Variación de la concentración promedio ambiente final corregida de $\text{SO}_2$ con biomonitores

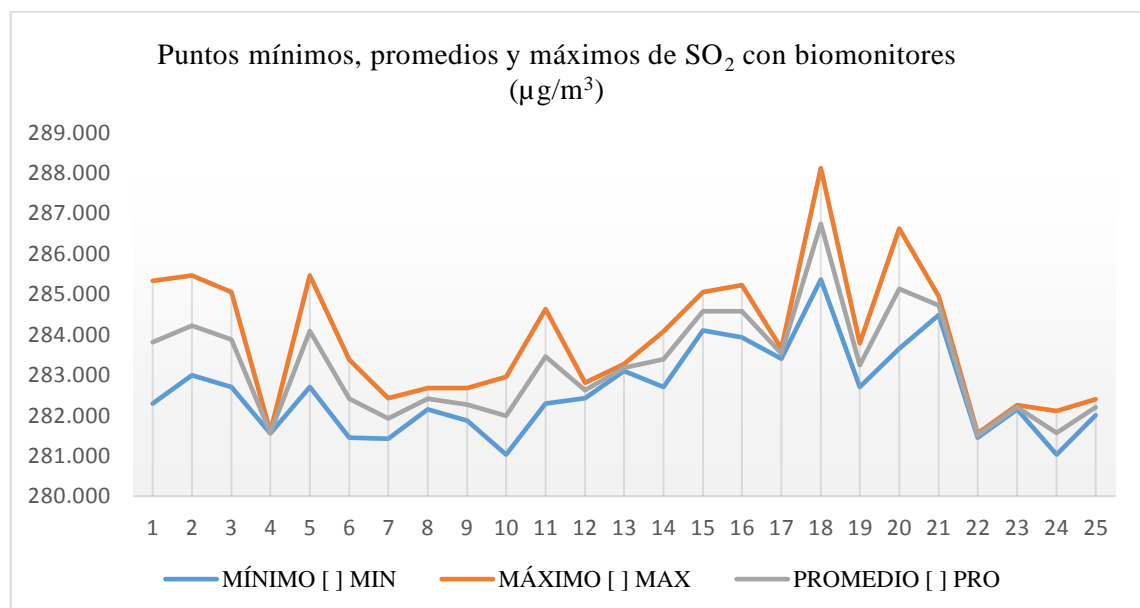
Los resultados reflejados en el Gráfico 7-3 obtenidos en los meses de enero y febrero mediante la aplicación de biomonitores en 25 puntos de muestreo ubicados alrededor del terminal Intercantonal mismo puntos establecidos en la tabla 5-3.



**Gráfico 7-3: Concentración promedio final de  $\text{SO}_2$  con biomonitores**  
 Realizado por: Franklin D., Fonseca P. 2021

En el Gráfico 7-3 que expresa las concentraciones promedio ambiente final de dióxido de azufre aplicando biomonitores. El uso de briofitas aplicadas en este estudio para medir la contaminación atmosférica se fundamenta con el estudio realizado por (González, 2018, p.68) donde utiliza agentes biológicos para evaluar su capacidad de absorción de contaminantes en lugares puntuales. Los rangos máximos y mínimos van desde 286.736 hasta 281.500  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de dióxido de azufre. Los puntos con mayor concentración en el mes de enero y febrero son el 2, 5, 15, 16, 18, 20 y 21 siendo el de mayor concentración el punto 18. Que exista mayor grado de concentración en estos puntos se basa a que están ubicados en punto estratégicos como el 5 y 18 que son las puertas de ingreso y salida de los autobuses respectivamente, mientras que los otros puntos están localizados en la avenida principal con gran afluencia y circulación vehicular que representa una fuente directa de emisión de dióxido de azufre. Por otro lado los puntos con menos concentración de dióxido de azufre son el 4, 7, 8, 9, 10, 22, 23, 24 y 25. Siendo el más significativo el punto 22 que tienen el valor más bajo de concentración, esto se da por ser el punto que se encuentra más alejado del terminal, al igual que en el sitio no existe mucha circulación vehicular por lo tanto no tiene una fuente directa de emisión que afecte dicho punto.

### 3.5.4 Puntos mínimos, promedios y máximos de concentración de $\text{SO}_2$ con biomonitores



**Gráfico 8-3: Puntos, mínimos, promedios y máximos de  $\text{SO}_2$  con biomonitores**

Realizado por: Franklin D., Fonseca P. 2021



El Gráfico 8-3 refleja los puntos mínimos, máximos y promedio de las concentraciones de dióxido de azufre resultantes en los dos meses de estudio en el terminal Intercantonal. Desde el punto 1 hasta el punto 3 presenta puntos altos de concentración pero en el punto 4 presenta un decrecimiento significativo hacia un valor de concentración baja. En el punto 5 existe un crecimiento alto pero desde dicho punto empieza a decrecer hasta el punto 7. Existe una concentración algo equilibrada desde el punto 7 hasta el punto 10 en los puntos máximos mientras que en el los puntos mínimos existe un decrecimiento significativo desde el punto 7 hasta al 10. En el punto 11 existe un crecimiento hasta el punto 12 que disminuye su concentración., desde dicho punto empieza una tendencia de crecimiento hasta el punto 16 mientras que en el punto 17 disminuye porcentualmente la concentración. Llegando al punto 18 que es el pico más alto de concentración de dióxido de azufre, pero en el punto 19 se produce otro decrecimiento significativo. En el punto 20 aumenta hasta tener un pico alto, desde ese pico alto tiende a decrecer hasta el punto 22. Los puntos máximos desde el punto 22 se mantienen proporcionales con un pequeño aumento hasta el punto 25, a diferencia de los puntos mínimos que en el punto 24 presenta una de los picos más bajos del estudio pero tienden a crecer un poco hasta el punto 25.

El rango máximo corresponde al valor de  $288.114 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de concentración de dióxido de azufre corresponde al punto 18, sin embargo también existen otros puntos con valores significativamente altos como son el 1, 2, 3, 5, 11, 15, 16, 20 y 21 estos ocurre debido a su punto de ubicación con respecto al terminal y a la zona en que existe mayor circulación de flujo vehicular. Por otro lado el rango mínimo corresponde al valor de  $281.028 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de concentración de dióxido de azufre, los responsables de esta cantidad son los puntos 10 y 24, pero de la misma manera que en los puntos máximos existe también puntos significativos con concentraciones bajas los cuales son el 4, 6, 7 y 22 esto se da de igual manera a lo contrario de los puntos máximos ya que los valores más bajos se dan en puntos con poco flujo vehicular a excepción de los puntos 6 y 7 ubicados en la parte trasera del terminal pero en este caso se puede decir que no se dio una buena recepción en cuanto a la absorción del contaminante. Los resultados obtenidos en esta investigación tienen concordancia con la información expresada por (Bermeo y Vega, 2018: p.54) donde aclaran que una de las fuentes principales de generación de dióxido de azufre es la combustión generada por los vehículos, en este caso los buses y automóviles presentes y a su vez aquellos que circulan alrededor del terminal en el transcurso del día.

### 3.6 Concentración promedio ambiente corregida de NO<sub>2</sub> con captadores pasivos

**Tabla 6-3:** Concentraciones de dióxido de nitrógeno analizadas con captadores pasivos

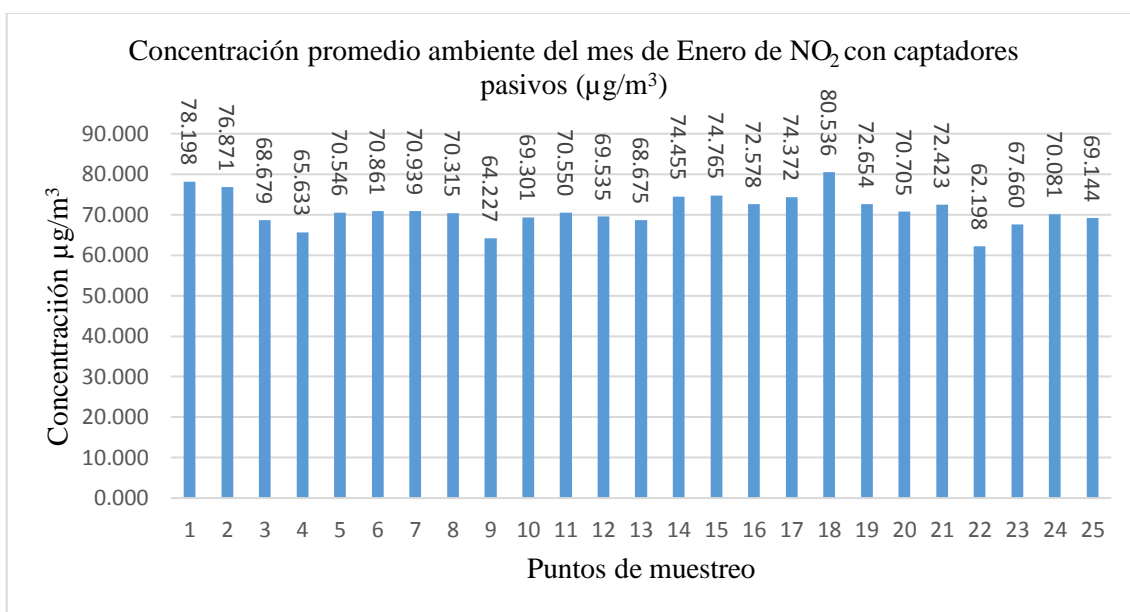
Puntos de muestreo	Concentración promedio ambiente de enero corregida de NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	Concentración promedio ambiente de febrero corregida de NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	Concentración promedio ambiente final corregida de NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )
1	78.198	78.829	78.514
2	76.871	75.007	75.939
3	68.679	68.367	68.523
4	65.633	67.504	66.568
5	70.546	72.194	71.370
6	70.861	72.664	71.763
7	70.939	67.353	69.146
8	70.315	67.743	69.029
9	64.227	63.921	64.074
10	69.301	70.328	69.815
11	70.550	69.776	70.163
12	69.535	68.759	69.147
13	68.675	72.572	70.624
14	74.455	68.447	71.451
15	74.765	67.749	71.257
16	72.578	74.940	73.759
17	74.372	75.319	74.845
18	80.536	82.501	81.518
19	72.654	73.919	73.287
20	70.705	72.746	71.725
21	72.423	70.010	71.216
22	62.198	62.362	62.280
23	67.660	66.890	67.275
24	70.081	68.916	69.499
25	69.144	65.486	67.315

Realizado por: Franklin D., Fonseca P. 2021

La tabla 6-3 propuesta a continuación detalla los valores de las concentraciones de dióxido de nitrógeno analizadas mediante captadores pasivos en el terminal Intercantonal de la ciudad de Riobamba durante los meses de enero y febrero. Los resultados obtenidos de las concentraciones ambiente de enero corregidas de NO<sub>2</sub> expresan valores en un rango entre 62.198 µg/m<sup>3</sup> a 80.536

$\mu\text{g}/\text{m}^3$ , mientras que las concentraciones ambiente de febrero corregidas están en un rango de  $62.362\mu\text{g}/\text{m}^3$  hasta  $82.501 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y los valores de concentraciones promedio ambiente final corregida van en un rango de  $62.280 \mu\text{g}/\text{m}^3$  hasta  $81.518 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

### 3.6.1 Variación de la concentración promedio ambiente del mes de enero corregida de $\text{NO}_2$ con captadores pasivos



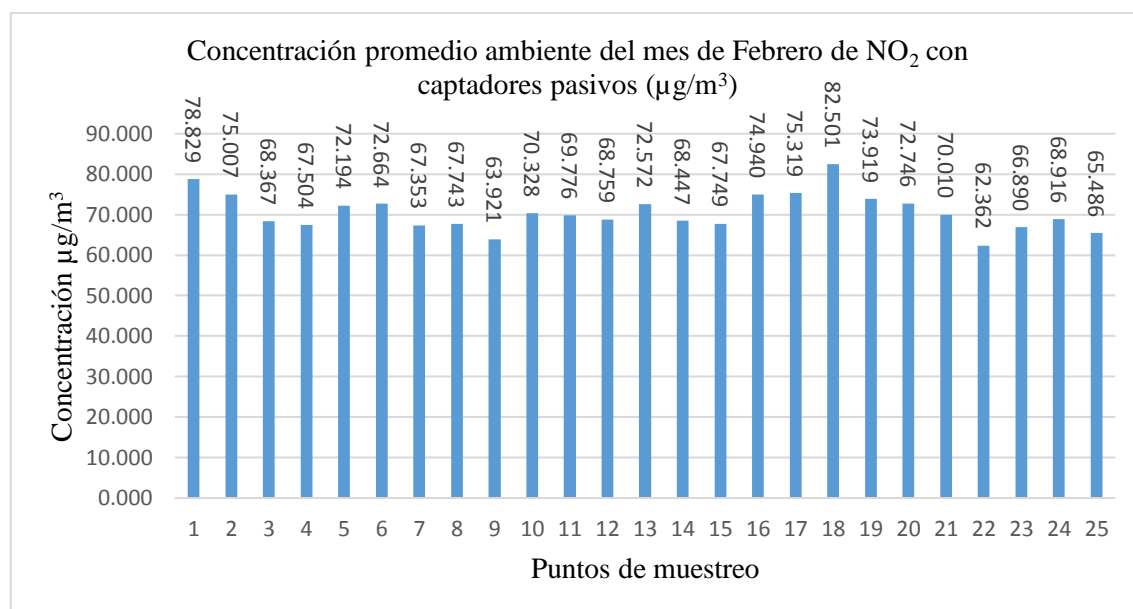
**Gráfico 9-3: Concentración del mes de Enero de  $\text{NO}_2$  con captadores pasivos**

Realizado por: Franklin D., Fonseca P. 2021

En el Gráfico 9-3 correspondiente a las concentraciones promedio ambiente del mes de enero realizado con captadores pasivos semanalmente, refleja el concepto que según (Romero et al., 2006) que se genera mayor grado de contaminación atmosférica en sectores con gran movimiento de transportes móviles. Tal es el caso del terminal intercantonal que al estar en la urbe de la ciudad de Riobamba genera contaminación en el área donde está ubicado. Dichos valores de contaminación referentes a dióxido de nitrógeno están reflejados en el gráfico antes mencionado. En donde se puede constatar mayor concentración del contaminante en el punto número 18 con un valor de  $80.536 \mu\text{g}/\text{m}^3$  mismo que se encuentra en la puerta principal de la salida de autobuses. Mientras que el punto más alejado del terminal y reflejado con el valor de  $62.198 \mu\text{g}/\text{m}^3$  es el correspondiente al número 22. Según (Bermeo y Vega, 2018: p.46) se produce una variación en los resultados dependiendo del lugar en que este ubicado el punto de muestreo. Los puntos con concentraciones relevantes a más del punto 18 son el punto 1 y 2 por estar ubicados en la avenida

principal y en la calle que da acceso a la parte inferior del terminal. Los otros puntos tienen valores intermedios pero con tendencia a mayor concentración de contaminante en aquellos ubicados en la avenida principal por su alto flujo vehicular con comparación a los puntos ubicados en la parte inferior y lateral del terminal.

### 3.6.2 Variación de la concentración promedio ambiente del mes de febrero corregido de $\text{NO}_2$ con captadores pasivos



**Gráfico 10-3: Concentración del mes de Febrero de  $\text{NO}_2$  con captadores pasivos**

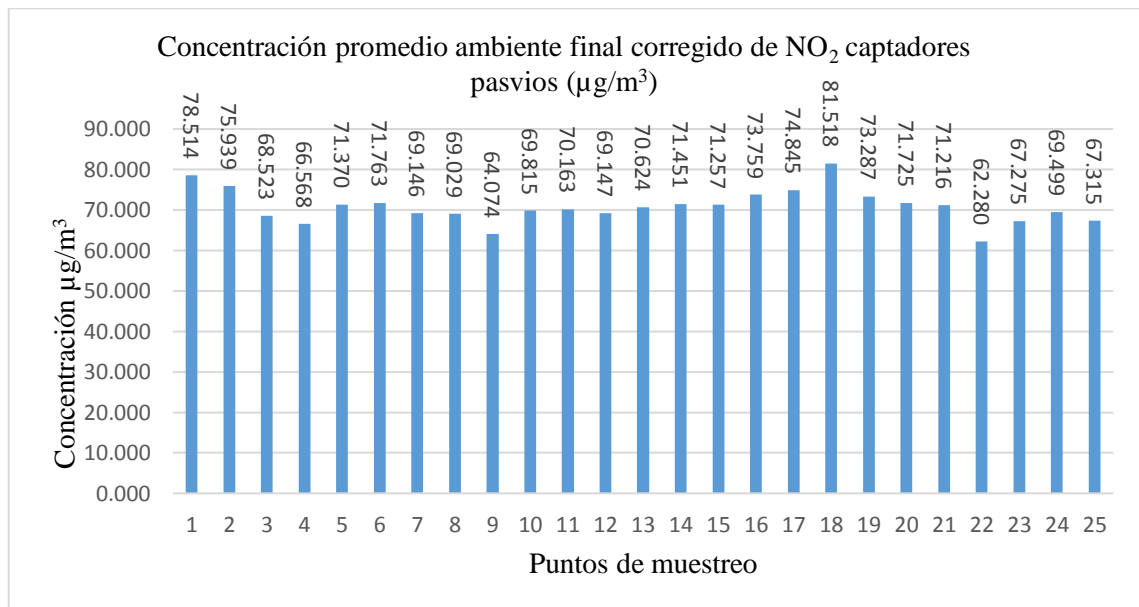
Realizado por: Franklin D., Fonseca P. 2021

En el Gráfico 10-3 donde se observan valores que corresponden a la concentración de dióxido de nitrógeno en cada punto de muestreo con captadores pasivos. Se puede corroborar que las concentraciones de enero y febrero son semejantes y fluctúan en pequeñas cantidades. Estos resultados expresan una secuencia de valores que se mantienen en tendencia. Los puntos con mayor grado de concentración de contaminante son el punto 18 siendo el máximo con un valor de  $82.501 \mu\text{g}/\text{m}^3$  aumentando para el valor que se presentó en el primer mes de análisis. Los otros puntos altos son el 1 y 2, en este mes también aumento la concentración del contaminante en el punto 17 considerándolo como alto. Mientras que con el punto de menos concentración sigue siendo el punto 22 con un valor de  $62.362 \mu\text{g}/\text{m}^3$  que también presenta un aumento en su concentración. Los demás valores también varían uno con otro respectivamente y como se mencionó esto se da por diferentes factores como la distancia que tiene cada punto con el terminal,

su ubicación y por la afluencia vehicular de las calles aledañas al terminal. Según (García, 2018, p.50) una de las fuentes que genera dióxido de nitrógeno en grandes cantidades son los vehículos de combustión interna, se especula que alrededor de 22 Tg N/año de NO<sub>x</sub> son emitidas a la atmósfera de las cuales entre el 10 y 5% del total corresponden a NO<sub>2</sub>.

### 3.6.3 Variación de la concentración promedio ambiente final corregida de NO<sub>2</sub> con captadores pasivos

Analizados los 25 puntos de muestreo referidos en la Tabla 6-3 durante enero y febrero teniendo como resultado valores superiores a los obtenidos por (Bermeo y Vega, 2018: p.62) que en todo el tiempo de monitoreo cuentan con un valor mínimo de 33.46 µg/m<sup>3</sup> y un valor máximo de 41.02 µg/m<sup>3</sup> de concentración promedio ambiente corregido de dióxido de nitrógeno.



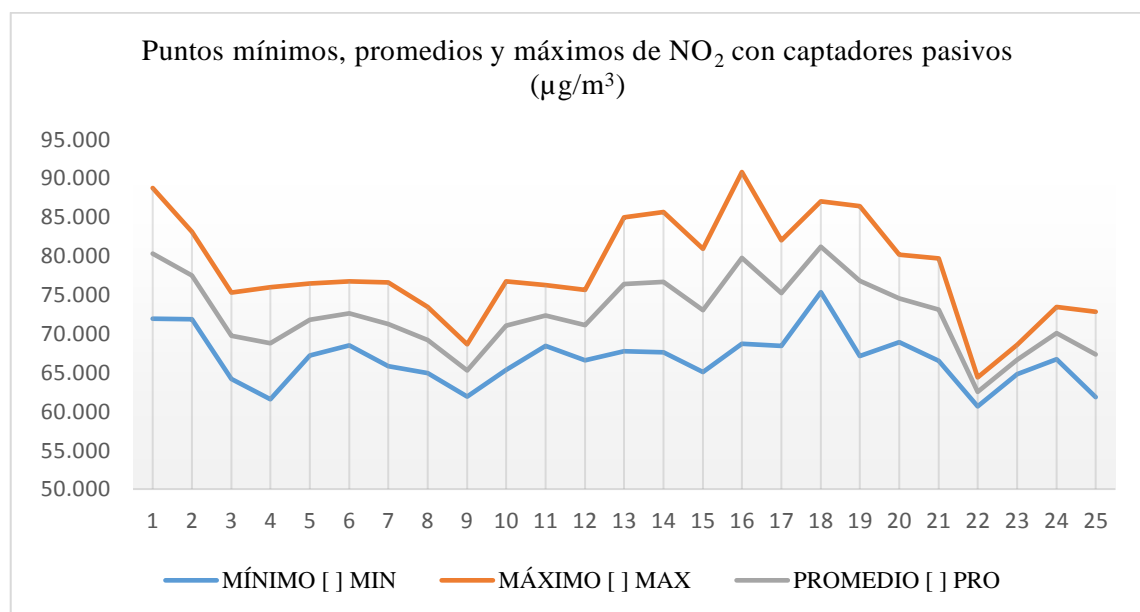
**Gráfico 11-3: Concentración promedio final de NO<sub>2</sub> con captadores pasivos**

Realizado por: Franklin D., Fonseca P. 2021

En el Gráfico 11-3 se puede constatar una secuencia con distintas variaciones, los valores están en un rango comprendido desde 62.280 µg/m<sup>3</sup> como mínimo hasta 81.518 µg/m<sup>3</sup> como máximo. Dichos valores fluctúan debido al punto de muestreo, se puede visualizar que el punto con menor concentración es el número 22 esto se ve reflejado a que es el punto de muestreo más alejado del terminal. Mientras que el punto con mayor concentración de contaminación es el que corresponde al número 18 que está ubicado en la puerta de salida de los autobuses y a su vez tiene su frente

con la avenida principal. Existen valores significativos como las concentraciones en los punto 1 y 2 donde existe un alto grado de flujo vehicular. En tanto a los puntos 14, 15, 16, 17, 19, 20 y 21 tienden a tener concentraciones de contaminación semejante y secuencialmente alta debido a que están ubicados en la avenida Canónigo Ramos que es la arteria principal que conecta a las calles aledañas y por donde existe gran afluencia vehicular. Los puntos con menor concentración de contaminación a más del punto 22 son el 3, 4, 9, 23, y 25 ya que están ubicados a mayor distancia del terminal. Según (Gavilanes y Gavilanes, 2018: p.46) el terminal no fue diseñado para almacenar los vehículos que no están en turno por lo cual se deben parquear alrededor del terminal. Los puntos sobrantes presentan valores intermedios en el rango de contaminación debido a su ubicación que corresponde a los alrededores del terminal.

### 3.6.4 Puntos mínimos, promedios y máximos de concentración de NO<sub>2</sub> con captadores pasivos



**Gráfico 12-3: Puntos, mínimos, promedios y máximos de NO<sub>2</sub> con captadores pasivos**

Realizado por: Franklin D., Fonseca P. 2021

En el Gráfico 12-3 se puede visualizar uniformidad entre los puntos mínimos, promedio y máximos. Es notorio que empieza con alta concentración de dióxido de nitrógeno hasta el punto 3 donde disminuye y continua con una tendencia un poco lineal hasta el punto 9 donde vuelve a disminuir y tiende a crecer desde el punto 10 llegando a su punto más alto en el 16, consecuentemente vuelve a disminuir en concentraciones con un rango de decrecimiento corto, hasta llegar al punto 22 que es el catalogado como el de menos concentración de dióxido de

nitrógeno y finalmente tiende a subir hasta quedar en el punto 25 con un rango intermedio entre el mínimo y el máximo.

El punto 16 es el que presenta mayor concentración de contaminante con un valor de 90.792  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de  $\text{NO}_2$  se caracteriza por ser uno de los puntos con mayor afluencia vehicular debido a que se encuentra ubicado en la avenida Canónigo Ramos que es una vía principal de acceso a la ciudad de Riobamba y es un punto cercano al terminal por ende existirá mayor grado de concentración de dióxido de nitrógeno, esto se relaciona con el estudio realizado por (Pardo, 2019, p.58) que especifica que se genera mayor nivel de concentración en los puntos cercanos al terminal. Por otro lado está el punto mínimo focalizado en el punto 22 con un valor de 60.644  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  con la concentración más baja por su ubicación ya que está alejado del terminal y de las calles principales, teniendo así baja circulación de vehículos por lo cual no existe un gran número de fuentes de emisiones móviles que afecten en gran porcentaje la calidad del aire en dicho punto.

### 3.7 Concentración promedio ambiente corregida de $\text{SO}_2$ con captadores pasivos

**Tabla 7-3:** Concentraciones de dióxido de azufre analizadas con captadores pasivos

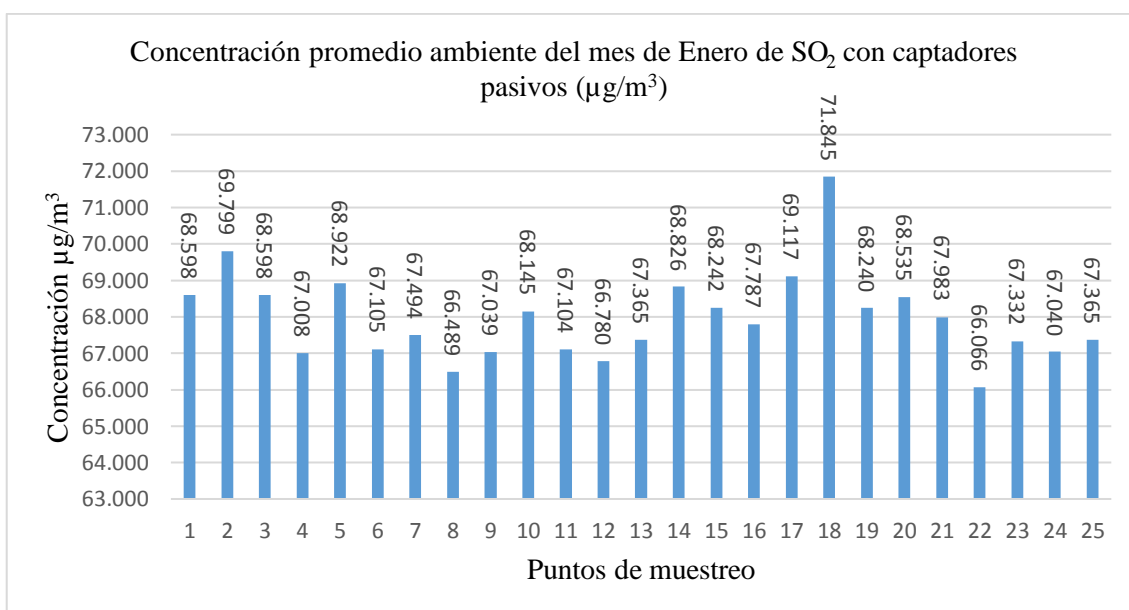
Puntos de muestreo	Concentración promedio ambiente de enero corregida de $\text{SO}_2$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Concentración promedio ambiente de febrero corregida de $\text{SO}_2$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Concentración promedio ambiente final corregida de $\text{SO}_2$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
1	68.598	69.662	69.130
2	69.799	69.951	69.875
3	68.598	67.841	68.219
4	67.008	67.258	67.133
5	68.922	69.337	69.129
6	67.105	66.998	67.052
7	67.494	67.258	67.376
8	66.489	66.739	66.614
9	67.039	67.128	67.083
10	68.145	67.681	67.913
11	67.104	67.096	67.100
12	66.780	67.907	67.344
13	67.365	67.811	67.588
14	68.826	68.200	68.513
15	68.242	69.597	68.919

16	67.787	68.428	68.108
17	69.117	69.337	69.227
18	71.845	72.321	72.083
19	68.240	69.658	68.949
20	68.535	71.056	69.795
21	67.983	69.111	68.547
22	66.066	66.317	66.192
23	67.332	67.226	67.279
24	67.040	67.648	67.344
25	67.365	67.875	67.620

Realizado por: Franklin D., Fonseca P. 2021

La Tabla 7-3 contiene los valores correspondientes a las concentraciones de dióxido de azufre analizadas mediante captadores pasivos semanalmente en el terminal Intercantonal de la ciudad de Riobamba durante los meses de enero y febrero. Los resultados obtenidos de las concentraciones ambiente de enero corregidas de SO<sub>2</sub> expresan valores en un rango entre 66.066 µg/m<sup>3</sup> a 71.845 µg/m<sup>3</sup>, mientras que las concentraciones ambiente de febrero corregidas están en un rango de 66.317 µg/m<sup>3</sup> hasta 72.321 µg/m<sup>3</sup> y los valores de concentraciones promedio ambiente final corregida van en un rango 66.192 µg/m<sup>3</sup> hasta 72.083µg/m<sup>3</sup>.

### 3.7.1 Variación de la concentración promedio ambiente del mes de enero corregida de SO<sub>2</sub> con captadores pasivos



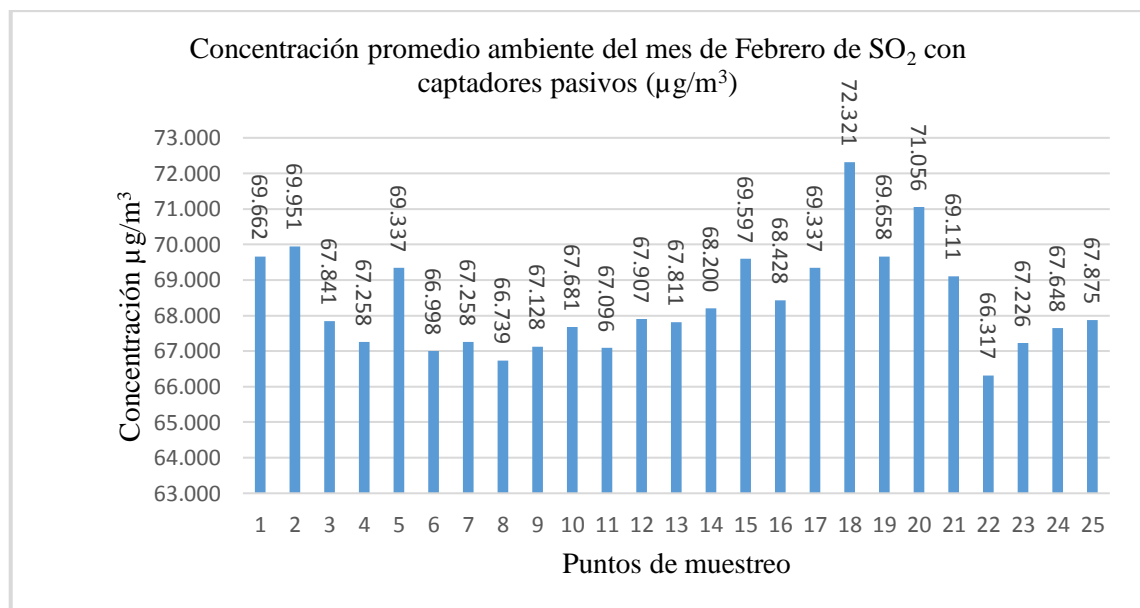
**Gráfico 13-3: Concentración del mes de Enero de SO<sub>2</sub> con captadores pasivos**

Realizado por: Franklin D., Fonseca P. 2021



En el Gráfico 13-3 que representa los valores de concentración del contaminante que es dióxido de azufre en el mes de enero teniendo en cuenta que los análisis se realizaron semanalmente. Según el estudio realizado por (Bermeo y Vega, 2018: p.54) donde afirman que la generación de dióxido de azufre se da por la oxidación de azufre en presencia de oxígeno, siendo así la combustión de combustibles fósiles una fuente directa de emisión de SO<sub>2</sub> y NO<sub>2</sub>. Los resultados adquiridos en el análisis efectuado reflejan valores que están dentro del rango de 66.066 µg/m<sup>3</sup> hasta 71.845 µg/m<sup>3</sup>. El punto más bajo por su valor es el 22 el cual se encuentra distante del terminal en una zona de poca circulación vehicular, al igual que el punto 8 que es el punto más alejado en la parte posterior del terminal y el punto 12 donde no existe gran afluencia vehicular ni de transeúntes. Mientras que los puntos con alta concentración de contaminación por SO<sub>2</sub> son el número 2,5, 17 y 18. El punto 5 y 18 corresponde a los puntos ubicados en la puerta de ingreso y salida de transporte del terminal respectivamente, por lo que en estos puntos existe la presencia significativa de altas concentraciones. Desde el punto 14 hasta el 21 también tienen concentración de SO<sub>2</sub> considerable debido a que están ubicados en la calle Canónigo Ramos que es la vía con mayor circulación vehicular del sector.

### 3.7.2 Variación de la concentración promedio ambiente del mes de febrero corregida de SO<sub>2</sub> con captadores pasivos



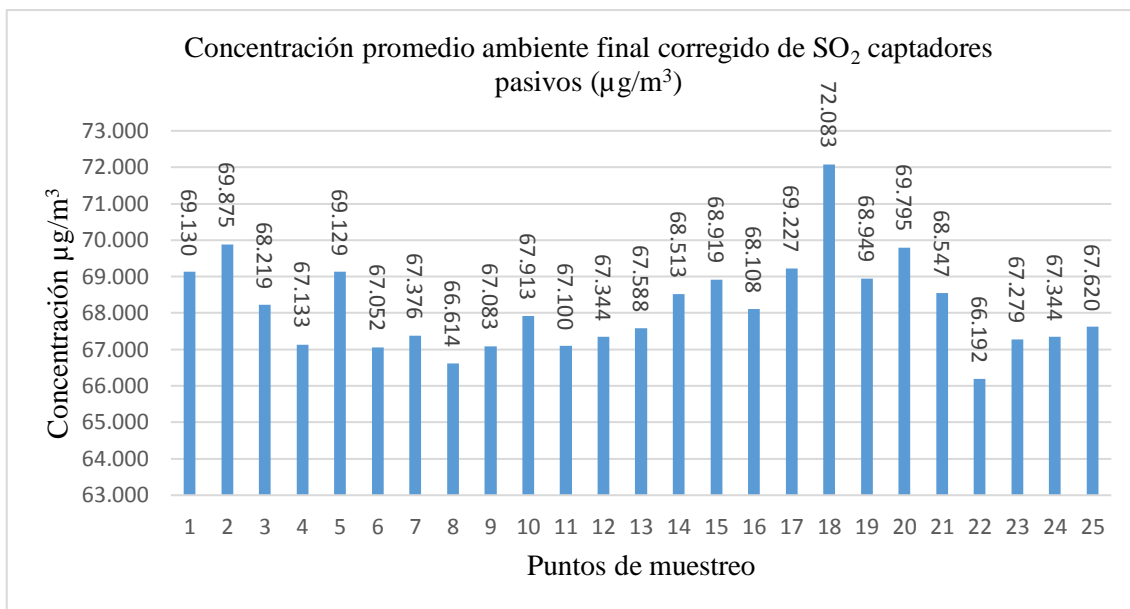
**Gráfico 14-3: Concentración del mes de Febrero de SO<sub>2</sub> con captadores pasivos**

Realizado por: Franklin D., Fonseca P. 2021

En el Gráfico 14-3 se localizan las concentraciones promedio de febrero en los 25 puntos de muestreo del terminal Intercantonal. Se puede hacer una comparación entre los valores presentados en enero y febrero. En los dos meses las concentraciones a simple vista tienen la misma tendencia. Pero si se detalla una por una existe variación de contenido en cada punto. Se recalca que el rango de concentración de SO<sub>2</sub> en este mes va desde 66.317 µg/m<sup>3</sup> hasta 72.321 µg/m<sup>3</sup> representados en el punto 22 como el más bajo y 18 como el más alto respectivamente. En este mes el punto que se puede diferenciar visualmente entre el primer mes y segundo mes es el 20 ya que existe aumento en su contenido de concentración a 71.056 µg/m<sup>3</sup>. Los puntos que reflejan un decrecimiento de concentración entre el primer mes y segundo son el 3, 6, 7, 10, 11, 14 y 23. Por consiguiente los puntos 1, 2, 4, 5, 8, 9, 12, 13, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 24 y 25 tienen una tendencia de subida en su cantidad de concentración de SO<sub>2</sub>. Según lo expresado por (Cueva, 2017, p.52) los resultados obtenidos varían debido a que la generación de dióxido de azufre depende de la afluencia vehicular. Se puede corroborar esta información con los resultados obtenidos debido a que la mayoría de los puntos que presentan aumento de la concentración del contaminante están ubicados en la avenida principal que es donde existe mayor flujo vehicular en el sector del terminal.

### **3.7.3 Variación de la concentración promedio ambiente final corregida de SO<sub>2</sub> con captadores pasivos**

Realizando el análisis durante los dos meses de estudio de los 25 puntos expresados en la Tabla 7-3 que contienen valores de concentración de dióxido de azufre, se puede realizar una comparación con los datos de (Cueva, 2017: p-62-63) teniendo una variación de resultados ya que en su estudio el punto máximo que corresponde a 23.966 µg/m<sup>3</sup> mientras que el punto máximo de este estudio oscila en 72.083 µg/m<sup>3</sup> mientras que su punto mínimo existe una diferencia significativa alta debido a que presenta un valor de 4.970 µg/m<sup>3</sup> mientras que el punto más bajo de este trabajo es de 66.192 µg/m<sup>3</sup> de concentración promedio ambiente corregido de dióxido de nitrógeno.

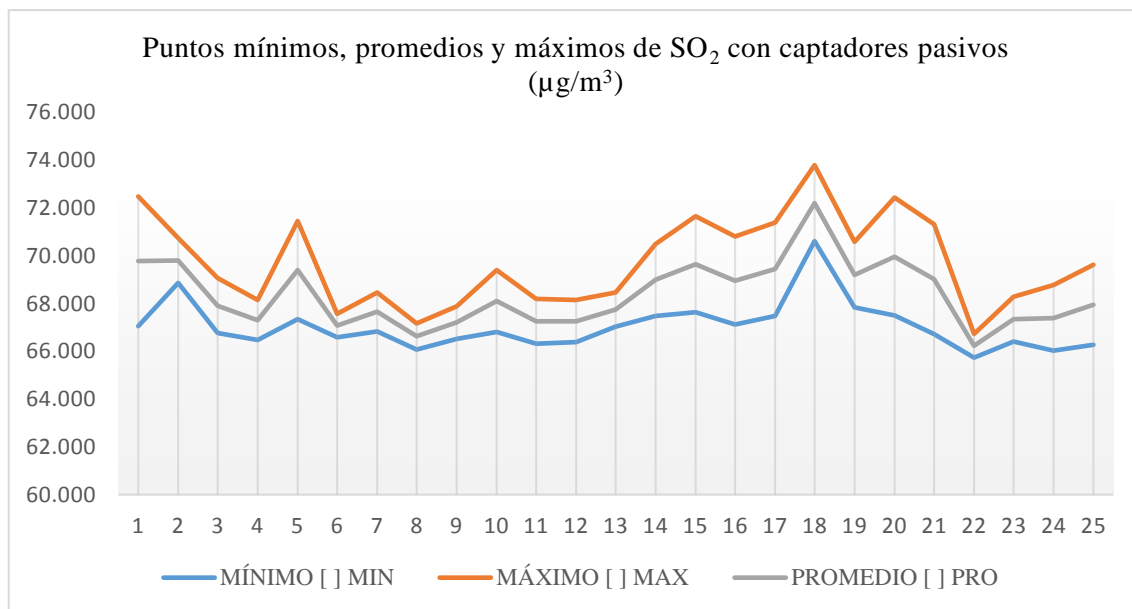


**Gráfico 15-3: Concentración promedio final de SO<sub>2</sub> con captadores pasivos**

Realizado por: Franklin D., Fonseca P. 2021

En el Gráfico 15-3 refleja la cantidad de contaminación expresada en concentración  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de SO<sub>2</sub> a lo largo de las 8 semanas de estudio en el terminal Intercantonal. Se observa que existen puntos bajos y puntos altos. Existen dos valores significativos el punto 22 que es el de menor concentración y el punto 18 que es el de mayor concentración dicho esto los valores se encuentran en un rango que va desde 66.192  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  hasta 72.083  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  respectivamente. Los puntos 1, 2, 5, 17, 18 y 20 presentan valores mayores a 66.000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  por lo que se los considera con valores altos de concentración. Los puntos 8 y 22 tienen valores inferiores a 66.614  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  por lo cual se los cataloga como los puntos con menos concentración de dióxido de azufre. Las concentraciones dependen generalmente de las características expuestas en los apartados anteriores como la distancia de los puntos con respecto al terminal y la ubicación de cada punto. Según (Cueva, 2017, p.52) los resultados obtenidos varían debido a que la generación de dióxido de azufre depende de la afluencia vehicular en el área de estudio, es por ello que se tiene valores de concentraciones diferentes en cada punto de muestreo.

#### 3.7.4 *Puntos mínimos, promedios y máximos promedio de concentración de SO<sub>2</sub> con captadores pasivos*



**Gráfico 16-3: Puntos mínimos, promedios y máximos de SO<sub>2</sub> con captadores pasivos**

Realizado por: Franklin D., Fonseca P. 2021

En el Gráfico 16-3 se observa la distribución de concentración de los 25 puntos de muestreo en referencia a sus puntos mínimos, promedio y máximo. El punto inicial empieza con un valor considerado como alto sigue manteniendo un valor alto hasta el punto 3 donde existe un decrecimiento particular, un valor considerable se produce en el punto 5 donde aumenta la concentración, después disminuye en el punto 6 hasta el punto 9 que no presentan un cambio significativo. Desde el punto 10 consta con un crecimiento exponencial notable hasta el punto 18 que es el más alto de concentración, se genera un decrecimiento en el punto 19, posterior incrementa un poco en el punto 20 pero desde ahí se tiene un decrecimiento importante de concentración hasta el punto 22 que es el más bajo y finalmente los últimos valores tienen a crecer hasta llegar al punto 25 que concluye con una concentración media.

Según el estudio realizado por (Bermeo y Vega, 2018: p.71) donde señalan que las principales fuentes de emisión pertenece a los motores de los medios de transporte, se confirma con los resultados obtenidos en el punto 18 que es el de mayor afluencia vehicular debido a que presenta el valor de 73.784 µg/m<sup>3</sup> de SO<sub>2</sub> considerado como el punto máximo, por otro lado el punto mínimo correspondiente al número 22 que se encuentra alejado del terminal y en una zona de baja concentración vehicular, que se puede corroborar dicha información con su valor de concentración de SO<sub>2</sub> que oscila en 65.730 µg/m<sup>3</sup>.

### 3.8 Análisis de las concentraciones de NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> empleando el software ArcGis

#### 3.8.1 Concentración promedio final de NO<sub>2</sub> con biomonitores

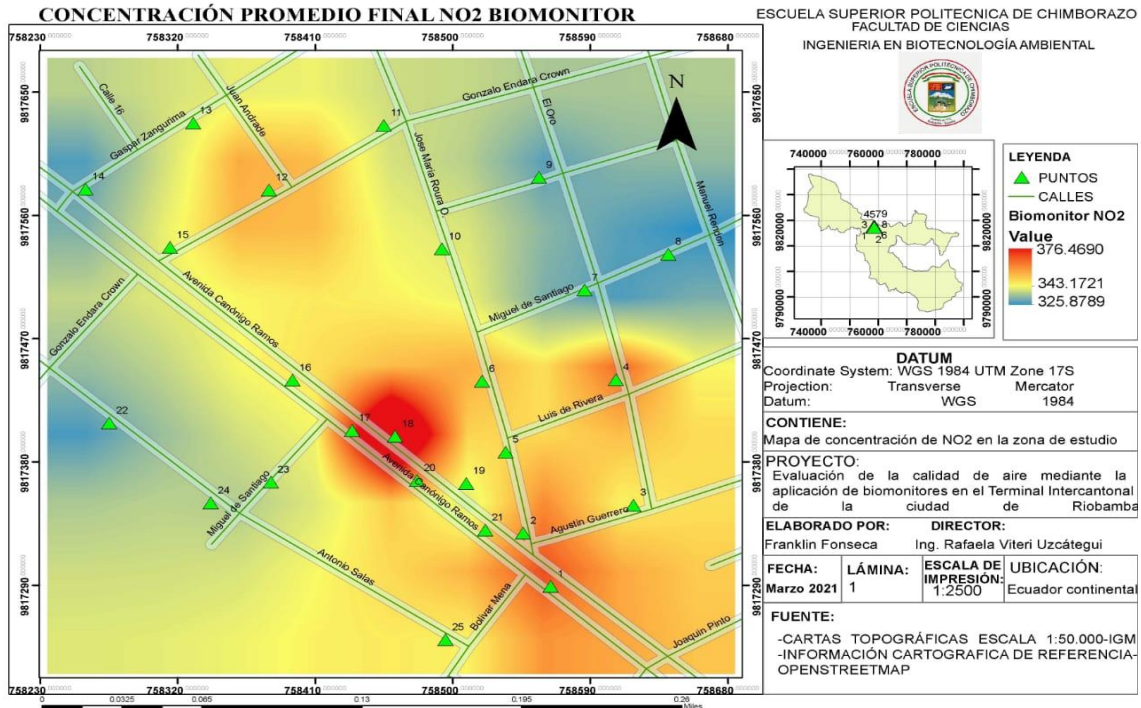
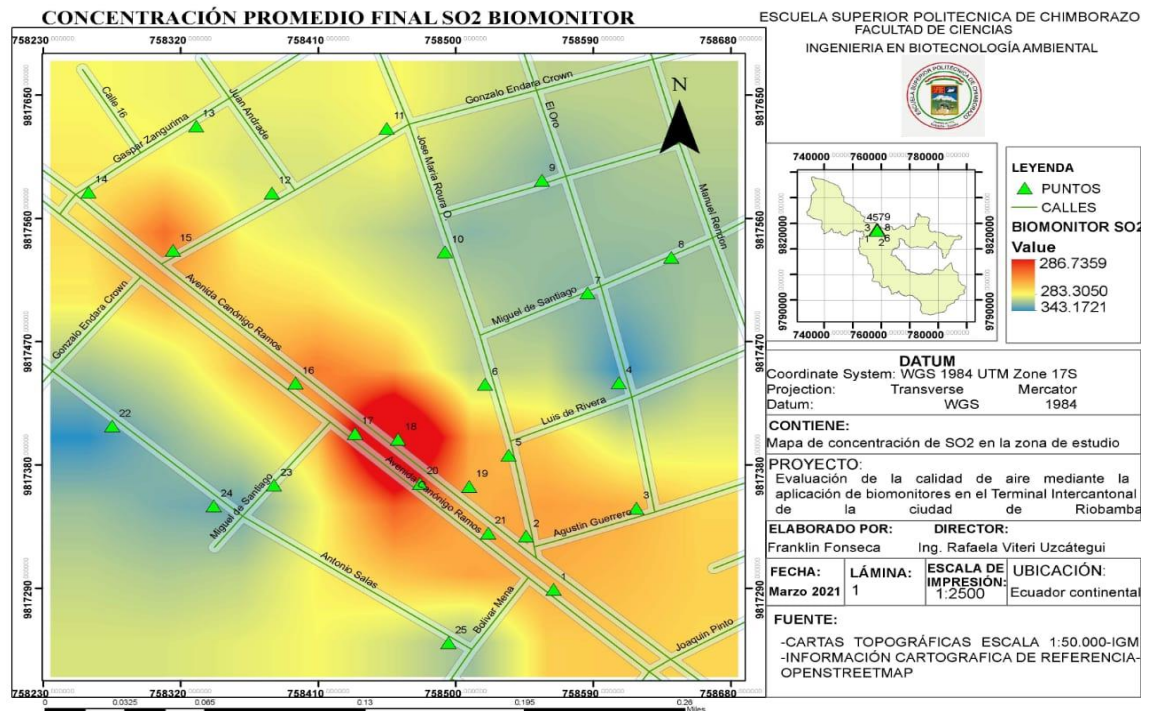


Figura 1-3: Concentraciones promedio finales de NO<sub>2</sub> analizadas con biomonitores

Realizado por: Franklin D., Fonseca P. 2021

En la Figura 1-3 se logra visualizar las concentraciones promedio finales de NO<sub>2</sub> analizadas con biomonitores en los 25 puntos de muestreo a lo largo de los dos meses de estudio. En donde se diferencian según su contenido de concentración con un rango de colores siendo el rojo los puntos con mayor presencia del contaminante, naranja puntos con concentraciones significativas altas, amarillo puntos con concentraciones intermedias y el azul con menor concentración del contaminante. Los puntos que visualmente presentan alta concentración son el 1, 2, 4, 12 y 18 siendo el 18 el más alto con un color rojo intenso debido a que pertenece a la puerta de salida de los autobuses y es una zona de alta circulación vehicular. Mientras que los puntos más bajos visualizados en el mapa con color azul son el 7, 8, 9, 14 y 22, debido a que son los puntos donde se presenta menos circulación vehicular. Según el trabajo realizado por (Pardo, 2019, p.58) donde expresa que las emisiones de contaminantes originan impactos relevantes al ambiente definiendo que una fuente de emisión es el sector vehicular generalmente los buses y transportes pesados, lo que se corrobora en este estudio porque se evidencia gran número de transportes alrededor del terminal mismos vehículos que generan dióxido de nitrógeno.

### 3.8.2 Concentración promedio final de SO<sub>2</sub> con biomonitores

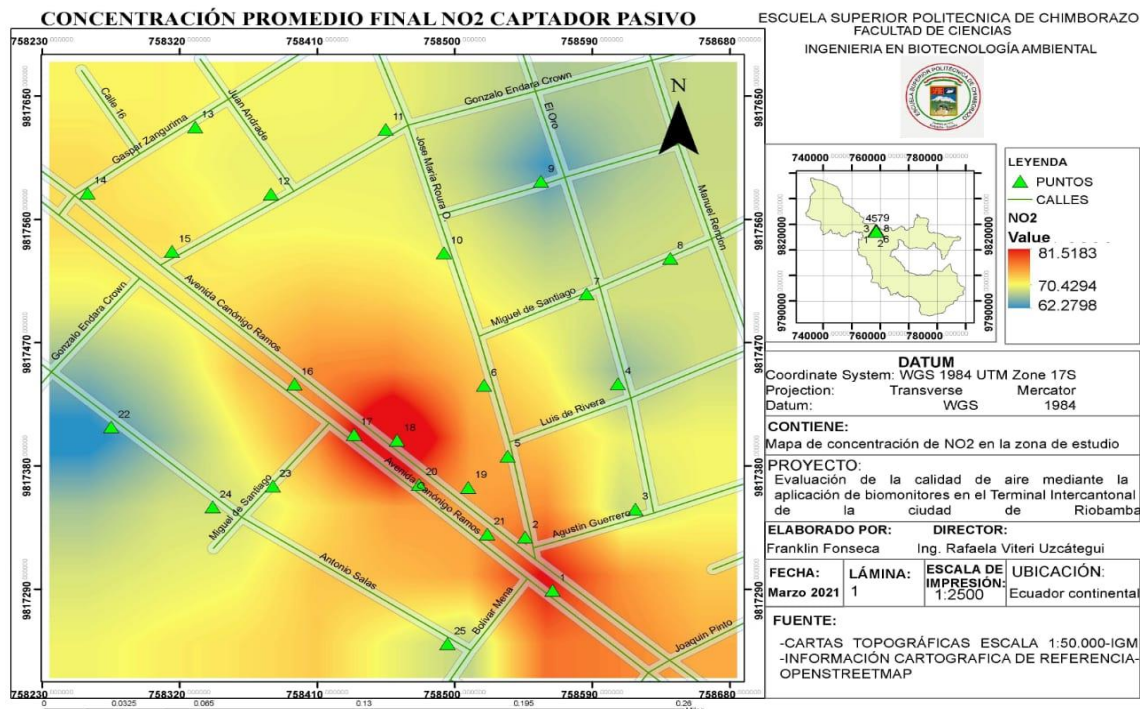


**Figura 2-3:** Concentraciones promedio finales de SO<sub>2</sub> analizadas con biomonitores

**Realizado por:** Franklin D., Fonseca P. 2021

En la Figura 2-3 que representa el mapa de las concentraciones promedio finales de SO<sub>2</sub> a lo largo de los dos meses de muestreo aplicando biomonitores, se puede observar la concentración de cada punto específico valorados en un rango colorimétrico, en donde el color rojo es el de mayor concentración, seguido del color naranja como concentraciones significativas altas, el color amarillo como concentraciones intermedias y el color azul con valores de concentración bajas. En el mapa se puede visualizar que los valores significativos y altos están alrededor del terminal y a lo largo de la avenida principal, debido a que es la zona con mayor flujo vehicular por ende existe mayor generación de dióxido de azufre mismo que es captado por los biomonitores, lo que se ratifica con el trabajo de (Cueva, 2017, p.52) que expresa, que el dióxido de azufre tiene dependencia directa a la circulación vehicular, porque los medios de transporte son los que emiten gran cantidad de contaminación al ambiente. El punto más alto es el 18 representado con un color rojo intenso mientras que a su alrededor los valores altos significativos son el 2, 5, 15, 16, 20 y 21. Los puntos que presentan menor concentración del contaminante son el 4, 7, 8, 9, 10, 22, 23, 24 y 25 correspondientes a los puntos más alejados del terminal y sin mucha circulación vehicular.

### 3.8.3 Concentración promedio final de NO<sub>2</sub> con captadores pasivos

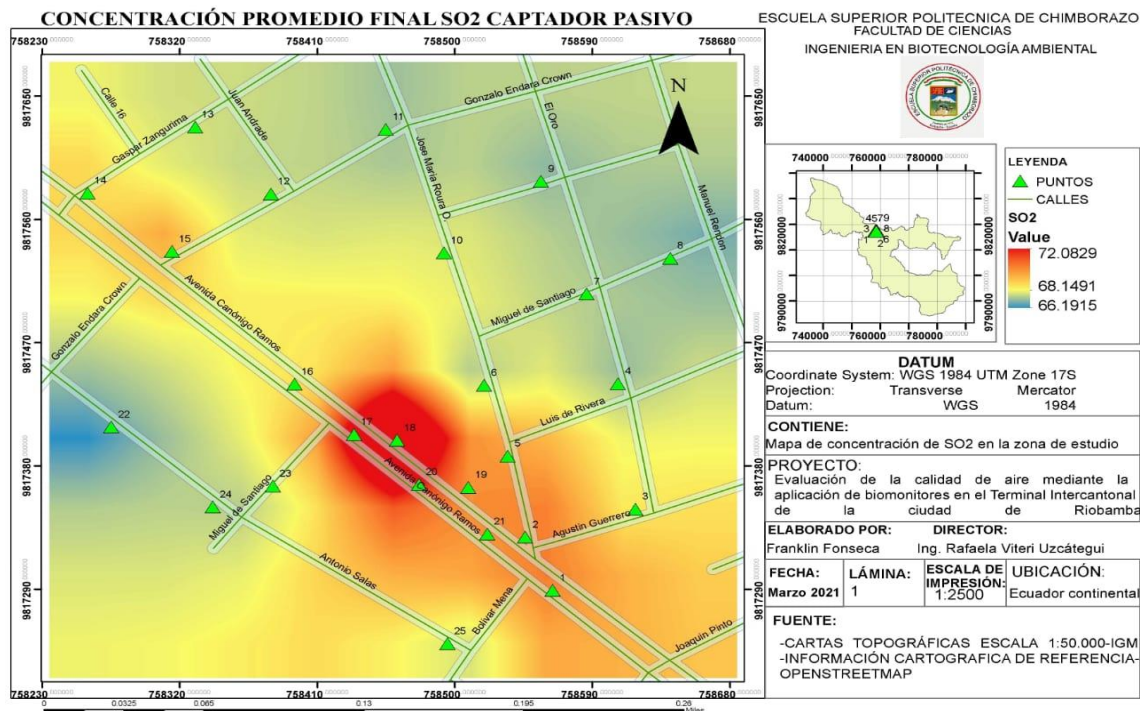


**Figura 3-3:** Concentraciones promedio finales de NO<sub>2</sub> analizadas con captadores pasivos

**Realizado por:** Franklin D., Fonseca P. 2021.

En la Figura 3-3 que contiene la representación colorimétrica de las concentraciones promedio finales de NO<sub>2</sub> evaluadas con captadores pasivos en los 25 puntos de muestreo durante los dos meses de muestreo. El rango está comprendido desde el color rojo siendo el más alto, el naranja como la concentración más alta significativamente, el amarillo como el valor intermedio y el más bajo con el color azul. El mapa refleja concentraciones más altas y significativas a lo largo de la avenida principal y alrededor del terminal, lo que se revalida con el estudio realizado por (Nieto, 2019, p.54) que dice, que la generación de NO<sub>2</sub> ocurre principalmente por combustión procedente de los vehículos. Entre los puntos más altos según su color rojo intenso son el punto 1, 2 y 18. Los valores significativamente altos están focalizados en los puntos 14, 15, 16, 17, 19, 20 y 21. Por estar ubicados en zonas de gran flujo vehicular. Mientras que los puntos 3, 4, 9, 22, 23 y 25 que presentan una coloración azul debido a su punto de ubicación en zonas donde no existe mucha generación de dióxido de nitrógeno por la baja circulación vehicular en dichos puntos.

### 3.8.4 Concentración promedio final de SO<sub>2</sub> con captadores pasivos



**Figura 4-3:** Concentraciones promedio finales de SO<sub>2</sub> analizadas con captadores pasivos

**Realizado por:** Franklin D., Fonseca P. 2021

En la figura 4-3 donde se refleja en un rango de colores los valores de concentración promedio final de SO<sub>2</sub> analizado durante los dos meses de muestreo mediante captadores pasivos. El rango va dependiendo de la concentración, el color rojo refleja los puntos con concentraciones altas, el color naranja presenta las concentraciones significativas altas, el color amarillo las concentraciones intermedias y el color azul representa las concentraciones bajas. El punto 18 es el más alto de concentración que en el mapa se refleja con un color rojo intenso. Los puntos más altos significativos representados con el color naranja corresponden a los puntos 1, 2, 5, 15, 17 y 20. Tanto el punto alto como los puntos significativos altos están focalizados alrededor del terminal y a lo largo de la vía principal que son las fuentes directas de generación de dióxido de azufre, aquello se aprueba con el estudio efectuado por (Bermeo y Vega, 2018: p.54) que expresan, que el SO<sub>2</sub> se origina por la combustión que se produce en los vehículos y al ser estas zonas de gran circulación vehicular es evidencial que exista mayor generación de este contaminante. Mientras que los valores más bajos visualizados en el mapa con color azul son los puntos 4, 6, 7, 8, 11, 22, 23, 24 y 25 representan los lugares con menos flujo vehicular y a mayor distancia del terminal.



### 3.9 Análisis estadístico

El análisis estadístico se realiza para validar los valores obtenidos en el estudio, que se refiere a las concentraciones de contaminantes presentes en el aire en este caso dióxido de nitrógeno y dióxido de azufre muestreados mediante biomonitores y captadores pasivos. Los resultados obtenidos en el análisis estadístico se observan en la tabla 8-3 presentada a continuación.

**Tabla 8-3:** Datos estadísticos

		NO <sub>2</sub> Biomonitores	SO <sub>2</sub> Biomonitores	NO <sub>2</sub> Captadores pasivos	SO <sub>2</sub> Captadores pasivos
N	Válido	25	25	25	25
	Perdidos	0	0	0	0
Media		342.09167	283.24547	70.80404	68.16527
Error estándar de la media		2.750411	.260976	.828877	.257356
Mediana		341.85418	283.24543	70.62365	67.91297
Moda		320.143a	281.500 <sup>a</sup>	62.280a	66.192a
Desviación estándar		13.752055	1.304879	4.144383	1.286780
Varianza		189.119	1.703	17.176	1.656
Rango		56.326	5.236	19.239	5.891
Mínimo		320.143	281.500	62.280	66.192
Máximo		376.469	286.736	81.518	72.083
Suma		8552.292	7081.137	1770.101	1704.132
Percentiles	25	332.33049	282.19831	68.77604	67.20597
	50	341.85418	283.24543	70.62365	67.91297
	75	348.40747	284.15281	72.52466	69.03938

Realizado por: Franklin D., Fonseca P. 2021

Analizados los 25 puntos de muestreo que arrojaron distintas concentraciones de los contaminantes en estudio mediante la aplicación de biomonitores y captadores pasivos en el terminal Intercantonal de la ciudad de Riobamba a lo largo de dos meses de estudio presentan resultados estadísticos diferenciados entre sí. En cuanto respecta al análisis de dióxido de nitrógeno con biomonitores se obtiene la mediana de 341.85418  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , desviación estándar de 13.752055  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , una varianza de 189.119  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , en un rango de 56.326  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , con un valor mínimo de 320.143  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y un máximo de 376.469  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Respecto al análisis de dióxido de azufre con biomonitores se obtiene la mediana de 283.24543  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , desviación estándar de 1.304879  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , una varianza de 1.703  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , en un rango de 5.236  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , con un valor mínimo de 281.500  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y un máximo de 286.736  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Los resultados obtenidos mediante la aplicación de captadores pasivos para dióxido de nitrógeno se estipula que la mediana es de un valor de 70.62365  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , desviación estándar de 4.144383  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , una varianza de 17.176  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , en un rango de 19.239  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , con un valor mínimo de 62.280  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y un máximo de 81.518  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Mientras que el análisis estadístico del dióxido de azufre analizado con captadores pasivos arrojan resultados de la mediana 67.91297  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , desviación estándar de 1.286780  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , una

varianza de 1.656  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , en un rango de 5.891  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , con un valor mínimo de 66.192  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y un máximo de 72.083  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Dichos valores arrojados por el análisis estadístico corrobora que los resultados tienen concordancia con los valores obtenidos a lo largo de los dos meses de estudio.

### 3.10 Normativa de la calidad del aire

Para realizar un análisis cuantitativo sobre los límites permisibles y los datos obtenidos en el estudio presentado se debe obtener datos acordes a las leyes que se rigen en cuanto a los límites permisibles aceptados para la calidad del aire, dichos datos se presentan en la tabla 9-3.

**Tabla 9-3:** Concentraciones de  $\text{NO}_2$  y  $\text{SO}_2$  transformadas para comparación con los límites permisibles

Puntos	$\text{NO}_2$		$\text{SO}_2$	
	Concentración en una hora en el biomonitor $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Concentración en una hora en el captador pasivo $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Concentración en 24 horas en el biomonitor $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Concentración en 24 horas en el captador pasivo $\mu\text{g}/\text{m}^3$
1	0.5328	0.4673	10.1359	9.8757
2	0.5422	0.4520	10.1508	9.9821
3	0.5105	0.4079	10.1384	9.7456
4	0.5310	0.3962	10.0561	9.5904
5	0.5099	0.4248	10.1458	9.8756
6	0.5215	0.4272	10.0860	9.5788
7	0.4764	0.4116	10.0685	9.6251
8	0.4785	0.4109	10.0860	9.5163
9	0.4883	0.3814	10.0810	9.5833
10	0.5078	0.4156	10.0710	9.7019
11	0.5029	0.4176	10.1234	9.5857
12	0.5371	0.4116	10.0935	9.6205
13	0.5041	0.4204	10.1134	9.6554
14	0.4837	0.4253	10.1209	9.7876
15	0.5087	0.4241	10.1633	9.8456
16	0.5142	0.4390	10.1633	9.7297
17	0.5023	0.4455	10.1259	9.8896
18	0.5602	0.4852	10.2406	10.2976
19	0.4959	0.4362	10.1159	9.8499

20	0.5145	0.4269	10.1833	9.9708
21	0.5154	0.4239	10.1683	9.7924
22	0.4849	0.3707	10.0536	9.4559
23	0.4932	0.4004	10.0785	9.6113
24	0.5011	0.4137	10.0561	9.6205
25	0.5093	0.4007	10.0785	9.6600

Realizado por: Franklin D., Fonseca P. 2021

Es propicio transformar los datos según el periodo de tiempo al que se rige el (Ministerio del Ambiente, 2015, p.55) mediante el REGISTRO OFICIAL EDICIÓN ESPECIAL N° 387. En cuanto se refiere a los límites permisibles de concentración presentes en el aire para NO<sub>2</sub> en medida de una hora, se obtienen valores muy bajos respecto al límite permisible que es de 200 µg/m<sup>3</sup> de medida en una hora por lo cual se puede corroborar que las concentraciones de dióxido de nitrógeno analizadas tanto con biomonitores como con captadores pasivos están dentro de los límites permisibles puntuados por la ley. Del mismo modo ocurre si se toma en cuenta el límite permisible puntuado por la (Organización Mundial de la Salud, 2018) que es de 200 µg/m<sup>3</sup> en una hora los valores estarían dentro del rango aceptado por dicha institución.

En cuanto a los límites permisibles puntuados por leyes ecuatorianas en tanto a la concentración máxima de SO<sub>2</sub> en el aire en periodos de 24 horas tiene un valor de 125 µg/m<sup>3</sup>. Según los datos reflejados en la tabla 9-3 los valores estarían dentro del rango permitido por las leyes ecuatorianas. Si se analizan con los límites dados por la (Organización Mundial de la Salud, 2018) que tiene un valor aceptable de 20 µg/m<sup>3</sup> los valores estarían en un nivel intermedio dentro del rango fijado por dicha institución.

### 3.11 Efectividad de los métodos aplicados

Para verificar la efectividad de un método con otro método se debe tener valores que concuerden entre los métodos en estudio, tal es el caso de la tabla 10-3 que refleja valores de concentración promedio final tanto de los biomonitores como de los captadores pasivos de los dos contaminantes analizados.

**Tabla 10-3:** Concentraciones de NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> para comprobar la efectividad de los métodos aplicados

Puntos	NO <sub>2</sub>		SO <sub>2</sub>	
	Concentración promedio final biomonitor $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Concentración promedio final captador pasivo $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Concentración promedio final biomonitor $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Concentración promedio final captador pasivo $\mu\text{g}/\text{m}^3$
1	358.034	314.055	283.804	276.520
2	364.384	303.756	284.223	279.499
3	343.081	274.092	283.874	272.878
4	356.805	266.273	281.570	268.532
5	342.674	285.481	284.083	276.518
6	350.455	287.050	282.408	268.206
7	320.143	276.584	281.919	269.504
8	321.576	276.116	282.408	266.456
9	328.130	256.295	282.268	268.334
10	341.238	279.259	281.989	271.652
11	337.963	280.652	283.455	268.399
12	360.901	276.588	282.617	269.375
13	338.782	282.495	283.176	270.351
14	325.059	285.802	283.385	274.052
15	341.854	285.028	284.572	275.678
16	345.543	295.037	284.572	272.430
17	337.553	299.382	283.525	276.909
18	376.469	326.074	286.736	288.332
19	333.253	293.147	283.245	275.797
20	345.748	286.901	285.131	279.182
21	346.360	284.866	284.712	274.186
22	325.879	249.119	281.500	264.766
23	331.408	269.100	282.198	269.116
24	336.734	277.995	281.570	269.375
25	342.264	269.260	282.198	270.480

Realizado por: Franklin D., Fonseca P. 2021

La tabla 10-3 permite demostrar la factibilidad del uso de biomonitores para evaluar la calidad de aire en puntos específicos. En este estudio se focalizaron dos métodos diferentes como son el método de biomonitores y el de captadores pasivos con la finalidad de evaluar la factibilidad del uso de biomonitores en procesos de evaluación de la calidad del aire.

El estudio realizado por (González, 2018, p.68) donde puntualiza que los agentes biológicos pueden ser utilizados como bioacumuladores de sustancias tóxicas y contaminantes, se corrobora aquella información con la de este estudio debido a que se utiliza la briofita que es un agente biológico bioacumulador, lo que lleva a efectuar la metodología de biomonitores ofreciendo ventajas como la localización de contaminación en distintos ecosistemas y a su vez permiten conocer los efectos de los contaminantes sobre las especies utilizadas en el biomonitor, su fácil operación al igual que su bajo costo.

El estudio realizado por (Bermeo y Vega, 2018: p.25) que establecen que un método factible en la evaluación de la calidad de aire, tanto para dióxido de nitrógeno como de dióxido de azufre son los captadores pasivos, dicha metodología que presentan ventajas establecidas en su costo, en su fácil operación y que proporcionan datos en tiempos cortos de muestreo. Concuerdan con los resultados obtenidos en este estudio de que si se pueden utilizar captadores en la evaluación de aire para distintos contaminantes.

**Tabla 11-3:** Diferencias y porcentajes de absorción de NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> de los biomonitores con relación a los captadores pasivos.

Puntos	Diferencia de absorción de NO <sub>2</sub> µg/m <sup>3</sup>	Diferencia de absorción de SO <sub>2</sub> µg/m <sup>3</sup>	Porcentaje de absorción de NO <sub>2</sub>	Porcentaje de absorción de SO <sub>2</sub>
1	43.979	7.284	12%	3%
2	60.628	4.724	17%	2%
3	68.989	10.996	20%	4%
4	90.532	13.038	25%	5%
5	57.193	7.565	17%	3%
6	63.405	14.202	18%	5%
7	43.559	12.415	14%	4%
8	45.46	15.952	14%	6%
9	71.835	13.934	22%	5%
10	61.979	10.337	18%	4%
11	57.311	15.056	17%	5%
12	84.313	13.242	23%	5%
13	56.287	12.825	17%	5%
14	39.257	9.333	12%	3%
15	56.826	8.894	17%	3%
16	50.506	12.142	15%	4%
17	38.171	6.616	11%	2%
18	50.395	-1.596	13%	-1%
19	40.106	7.448	12%	3%

20	58.847	5.949	17%	2%
21	61.494	10.526	18%	4%
22	76.76	16.734	24%	6%
23	62.308	13.082	19%	5%
24	58.739	12.195	17%	4%
25	73.004	11.718	21%	4%
Promedio general	58.875	10.584	17%	4%

**Realizado por:** Franklin D., Fonseca P. 2021

La tabla 11-3 expresa las diferencias y porcentajes de absorción de NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> de los biomonitores con relación a los captadores pasivos con los valores resultantes se puede catalogar que existe mayor absorción empleando biomonitores que al emplear captadores pasivos. La diferencia de absorción para NO<sub>2</sub> con biomonitores tiene resultados positivos debido a que en todos los puntos de muestreo existe diferentes cantidades de absorción, pero mediante el promedio general se puede corroborar que los biomonitores a nivel general absorben una cantidad de 58.875 µg/m<sup>3</sup> más que los captadores pasivos que en porcentaje es alrededor de un 17%. Sin embargo la tendencia de absorción de SO<sub>2</sub> es un poco menor, ya que el promedio final dictamina que aplicando biomonitores solo se absorbe una cantidad de 10.584 µg/m<sup>3</sup> más que aplicando los captadores pasivos que en porcentaje es alrededor de un 4%. Hay que tomar en cuenta que en el punto 18 existe mayor absorción de dióxido de azufre aplicando captadores pasivos por ende proporciona un valor de -1.596 µg/m<sup>3</sup>, al ocurrir dicha variación solo en un punto es considerable decir que en el estudio es mayormente factible utilizar biomonitores que captadores pasivos por los resultados positivos obtenidos. Este estudio se relaciona con la investigación realizada por (Noriega, 2008, p-10-11) donde establece que el uso de biomonitores empleando especies vivas es factible para constatar la concentración de distintos contaminantes en puntos establecidos.

Los resultados arrojados en este estudio permiten concluir que la técnica de biomonitores absorbe mayor cantidad del contaminante en todos los puntos de muestreo, por ende es una técnica aplicable con resultados factibles y satisfactorios lo cual se corrobora con el estudio realizado por (González, 2018, p.68) donde hace relevancia al uso de biomonitores para evaluar la calidad atmosférica. El biomonitor utilizado en este estudio consta de una malla de tela delgadamente fina que en su interior tiene agentes biológicos, para ser más enfáticos briofita de la especie *Metzgeriaceae*. La briofita actúa como bioabsorbente y bioacumulador tanto de dióxido de nitrógeno como de dióxido de azufre. Los valores reflejados en la tabla 11-3 permiten realizar una comparación entre los dos métodos aplicados como son biomonitores y captadores pasivos, dando resultados de mayor concentración de los contaminantes en los biomonitores.

## CONCLUSIONES

- Luego de analizar cinco tipos de briofitas, estas briofitas se sometieron a un procesamiento preliminar para verificar qué especies pueden ser utilizadas como biomonitores para evaluar la calidad del aire del terminal Intercantonal de la ciudad de Riobamba. Referente a los resultados obtenidos mediante análisis espectrofotométrico ayudaron a calificar como el agente biológico con características de mayor bioacumulación y mayor bioabsorción de contaminación en sus tejidos vegetales a la especie llamada *Metzgeriaceae*.
- En el estudio se utilizaron dos métodos para evaluar la calidad del aire, como el uso de biomonitores y captadores pasivos. Mediante la aplicación de una comparación entre los métodos se concluyó que los biomonitores proporcionan datos confiables y adecuados en concentraciones mayores a los datos arrojados por el método convencional y mayormente utilizado como son los captadores pasivos. Es decir se obtiene mayor concentración del contaminante tanto de NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> en los biomonitores que en los captadores pasivos. Aplicando biomonitores para la absorción de dióxido de nitrógeno se obtiene un porcentaje del 17% más con respecto a la absorción por captadores pasivos y del mismo modo aplicando biomonitores para la absorción de dióxido de azufre se obtiene un porcentaje del 4% más con respecto a la absorción por captadores pasivos.
- Respecto a los puntos donde se refleja mayor concentración de los contaminantes de NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> tanto con los biomonitores como con captadores pasivos durante los dos meses de estudio en el terminal Intercantonal se focaliza en el punto número 18, el cual pertenece a la puerta de salida de los autobuses en el terminal, ubicado en la avenida Canónigo Ramos, esta es una de las vías más transitadas para que los vehículos ingresen a la ciudad. En cuanto al punto donde la concentración de contaminantes en biomonitores y captadores pasivos es menor, este es el punto 22 que se encuentra situado a mayor distancia del terminal y con baja presencia de circulación vehicular, sin embargo en los resultados referentes a la concentración de NO<sub>2</sub> evaluado con biomonitores el punto más bajo se ubica en el número 7 debido a que es un lugar con baja circulación vehicular.

- El análisis estadístico mediante los valores obtenidos de mediana, desviación estándar, varianza, valores mínimos y valores máximos en los 25 puntos analizados con biomonitores y captadores pasivos para evaluar las concentraciones de dióxido de nitrógeno y dióxido de azufre, permite obtener resultados consistentes en todo el estudio de dos meses.
- A través de los mapas temáticos se puede apreciar intuitivamente que el uso biomonitores y captadores pasivos ha estimado la difusión de contaminantes en estudio tanto para NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> ,como resultado se obtiene que los contaminantes tienden a estar dispersos en mayor concentración alrededor del terminal y a lo largo de la avenida Canónigo Ramos que es fuente directa de generación de los contaminantes debido a la gran afluencia y circulación vehicular que se presenta en dicha arteria principal de circulación.
- Al aplicar el método de evaluación de la calidad del aire mediante biomonitores, comparándolo con el límite permisible establecido por el Ministerio del Ambiente de Ecuador, y luego con el límite permisible establecido por la Organización Mundial de la Salud. La conclusión es que ninguno de ellos supera los límites permitidos para el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. Según las leyes ecuatorianas y la OMS, el límite de NO<sub>2</sub> en una hora es de 200 µg/m<sup>3</sup>, y el valor máximo en el estudio es de 0.5602 µg/m<sup>3</sup> en una hora. Para el SO<sub>2</sub>, según la ley ecuatoriana, el límite especificado en la medición de 24 horas es de 125 µg/m<sup>3</sup>, mientras que el límite de la OMS en la medición de 24 horas es de 20 µg/m<sup>3</sup>. En cuanto al valor máximo obtenido en este estudio, el valor máximo medido en 24 horas fue de 10,2406 µg/m<sup>3</sup>.



## **RECOMENDACIONES**

Los monitores biológicos se deben utilizar a menudo en investigaciones relacionadas con la calidad del aire, porque no existe mucha investigación centrada en métodos basados en el uso de monitores biológicos para evaluar la calidad de un lugar específico en un tiempo definido.

Abarcar un área más extensa del estudio, mediante el aumento de una mayor cantidad de puntos de muestreo para constatar de mejor manera la calidad del aire que presenta el lugar de estudio en este caso el terminal Intercantonal.

Agregar información en cada punto de muestreo para que no sean manipulados o sustraídos por personas ajenas a la investigación, para que el resultado final se mantenga sin cambios y proporcionen valores más confiables y óptimos.

Fortalecer y mejorar la comprensión de los ciudadanos sobre la calidad del aire y dar a conocer el impacto negativo en la salud humana y el medio ambiente.

## BIBLIOGRAFÍA

**ACADEMIA NACIONAL DE MEDICINA.** "La contaminación del aire y los problemas respiratorios". *scielo* [en línea], 2015, (Ciudad de Mexico) 58(5), pp. 7-8. [Consulta: 10 de Diciembre de 2020]. ISSN 0026-1742. Disponible en: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0026-17422015000500044](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0026-17422015000500044)

**ALBERT, L.** *La contaminación y sus efectos en la salud y el ambiente* [en línea], Mexico D.F : Centro de Ecología y Desarrollo, 2016. [Consulta: 30 de Enero de 2021]. Disponible en: <http://dsp.facmed.unam.mx/wp-content/uploads/2016/01/Contaminacion-ambiental-origen-clases-fuentes-y-efectos.pdf>

**ANZE ET AL.** Bioindicadores en la detección de la contaminación atmosférica en Bolivia. *cebem* [en línea], 2007, (La Paz), pp. 53-74. [Consulta el: 20 de Marzo de 2021]. Disponible en: [https://cebem.org/revistaredesma/vol1/pdf/redesma0101\\_art03.pdf](https://cebem.org/revistaredesma/vol1/pdf/redesma0101_art03.pdf)

**ARZATE, C.** Realización de software educativo para simular la dispersión de contaminantes atmosféricos. *catarina* [en línea], 2014, pp. 4-6. [Consulta: 18 de Marzo de 2021]. Disponible en: [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/leip/arzate\\_e\\_ci/capitulo3.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/leip/arzate_e_ci/capitulo3.pdf)

**BARCHILÓN, M.** Historia del transporte. *lavanguardia* [en línea], 2019. [Consulta: 13 de Enero de 2021]. Disponible en: <https://www.lavanguardia.com/vida/junior-report/20190926/47634596827/historia-transporte-rueda-coche-nave-avion.html>

**BERMEO, J & VEGA, D.** Evaluación de contaminantes atmosféricos en los principales mercados de la ciudad de Riobamba [en línea] (Trabajo de titulación) ESPOCH, Riobamba, Ecuador. 2018. pp. 36-71. [Consulta: 25 de Marzo de 2021]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/8948/1/236T0345.pdf>

**BORGE ET AL.** Experimental Campaign in a Heavily Trafficked Roundabout in Madrid for the Assessment of Air Quality Monitoring Station Representativeness in Terms of Population Exposure to NO<sub>2</sub>. *researchgate* [en línea], 2015, (Madrid), pp.1-30. [Consulta: 10 de Diciembre de 2020]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/315078458\\_Experimental\\_Campaign\\_in\\_a\\_Heavily\\_Trafficked\\_Roundabout\\_in\\_Madrid\\_for\\_the\\_Assessment\\_of\\_Air\\_Qual](https://www.researchgate.net/publication/315078458_Experimental_Campaign_in_a_Heavily_Trafficked_Roundabout_in_Madrid_for_the_Assessment_of_Air_Qual)

**CAMILLONI, I.** ATMOSFERA; LA TIERRA: UN LUGAR PARA LA VIDA;COMPOSICIÓN Y ESTRUCTURA VERTICAL DE LA ATMÓSFERA. *bnm.me* [en línea], 2019, pp. 3. [Consulta: 08 de Marzo de 2021]. Disponible en: <http://www.bnm.me.gov.ar/giga1/documentos/EL002316.pdf>

**CIFUENTES, C.** Validación del método para medir gases contaminantes (SO<sub>2</sub> NO<sub>2</sub> y O<sub>3</sub>) mediante captadores pasivos incluyendo un análisis microbiológico de la calidad del aire en una fábrica industrial [en línea] (Trabajo de titulación) ESPE, Sangolqui, Ecuador. 2014. pp. 37-38. [Consulta: 10 de Diciembre de 2020]. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/9037/1/T-ESPE-048129.pdf>

**CIRES, E.** MANUAL PARA LA RECOLECCIÓN DE PLANTAS Y SU HERBORIZACIÓN. *herbario.uniovi* [en línea], 2018, (Oviedo), pp. 1-5. [Consulta: 20 de Marzo de 2021]. Disponible en: [https://herbario.uniovi.es/c/document\\_library/get\\_file?uuid=cedc484e-1e46-4a7a-b952-bad7f5bf581a&groupId=3511378](https://herbario.uniovi.es/c/document_library/get_file?uuid=cedc484e-1e46-4a7a-b952-bad7f5bf581a&groupId=3511378)

**CRESPO, E.** Técnicas de muestreo. *Contaminación Ambiental*. [en línea], 2018, pp.7 [Consulta: 30 de Enero de 2021]. Disponible en: <https://static.eoi.es/savia/documents/componente45769.pdf>

**CUEVA, P.** ESTUDIO DE SO<sub>2</sub> y NO<sub>2</sub> EMPLEANDO MUESTREO PASIVO EN LA ZONA INDUSTRIAL DE VÍA A LA COSTA - GUAYAQUIL. [en línea], (Trabajo de titulación) ESPOCH, Riobamba, Ecuador. 2017. pp. 27-63. [Consulta: 25 de Marzo de 2021]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/7853/1/236T0287.pdf>

**DOVAL, M.** EVALUACIÓN DE LA NORMA UNE EN 14211:2006 PARA LA MEDIDA DE ÓXIDOS DE NITRÓGENO EN AIRE: PROPUESTAS DE MODIFICACIONES. [en línea], (Trabajo de titulación). (Doctoral) Universidad de Murcia, Murcia, España. 2009. pp. 32. [Consulta: 9 de Diciembre de 2020]. Disponible en: <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/10938/DovalMinarro.pdf?sequence=1>

**EARLY LAND PLANTS TODAY.** *Metzgeriaceae.gbif* [en línea] 2021. [Consulta: 29 de Marzo de 2021]. Disponible en: [www.gbif.org/es/species/2274](http://www.gbif.org/es/species/2274)

**FRANCO, A.** ANÁLISIS DE LA CORRELACIÓN ENTRE LAS EMISIONES DE PM10 Y PM2,5 GENERADAS POR FUENTES FIJAS, MÓVILES Y FUGITIVAS Y EL AUSENTISMO ESCOLAR DE LA POBLACIÓN INFANTIL EN LOS JARDINES DE LA SDIS. [en línea], (Trabajo de titulación). Universidad Santo Tomás, Bogotá, Colombia. 2015. pp. 20. [Consulta: 18 de Marzo de 2021]. Disponible en: <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/633/2015angreafranco.pdf?sequence=4&isAllowed=y>

**GALLEGO, A.** *Contaminación atmosférica*. [en línea]. Madrid-España: UNED, 2012. [Consulta: 13 de Diciembre de 2020]. Disponible en: [https://books.google.com.ec/books?id=7xYvtMyRP7EC&dq=contaminaci%C3%B3n+atmosf%C3%A9rica&hl=es&source=gbs\\_navlinks\\_s](https://books.google.com.ec/books?id=7xYvtMyRP7EC&dq=contaminaci%C3%B3n+atmosf%C3%A9rica&hl=es&source=gbs_navlinks_s)

**GARCÍA, A.** ESTUDIO SOBRE LA REDUCCIÓN DE EMISIONES NOX Y SOX. [en línea], (Trabajo de titulación). Universidad de Cantabria, Cantabria , España. 2018. pp. 47-54. [Consulta: 18 de Marzo de 2021]. Disponible en: <https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/15456/Garc%C3%ADa%20Coterillo%2c%20A%C3%ADa.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

**GARCÍA, D.** "UN SIFÓN A PARTIR DE UNA REACCIÓN QUÍMICA". *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* [en línea], 2010, (España) 7(1), pp. 142-150. [Consulta: 25 de Marzo de 2021]. ISSN 1697-011X.. Disponible en: [http://dx.doi.org/10.25267/Rev\\_Eureka\\_ensen\\_divulg\\_cienc.2010.v7.i1.10](http://dx.doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2010.v7.i1.10)

**GAVILANES, R & GAVILANES, J.** Evaluación del material particulado de las terminales terrestres intercantonales e interprovincial de la ciudad de Riobamba. [en línea], (Trabajo de titulación) ESPOCH, Riobamba, Ecuador. 2018. pp. 46. [Consulta: 26 de Marzo de 2021]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/8940/1/236T0339.pdf>

**GONZÁLEZ, A.** Evaluación de la capacidad bioacumuladora de contaminantes en líquenes, utilizados en el monitoreo de la calidad del aire de la parroquia San Carlos, cantón La Joya de los Sachas, provincia de Orellana. [en línea], (Trabajo de titulación) ESPOCH, Riobamba, Ecuador. 2018. pp. 51-68. [Consulta: 25 de Marzo de 2021]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/10244/1/236T0381.pdf>

**INECC.** Tipos y fuentes de contaminantes atmosféricos. *inecc* [en línea] 2017. (Mexico). [Consulta: 18 de Marzo de 2021]. Disponible en: <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/396/tipos.html>

**INSST.** Dióxido de nitrógeno. *ilo* [en línea] 2018. [Consulta: 18 de Marzo de 2021]. Disponible en: [https://www.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p\\_lang=es&p\\_card\\_id=0930&p\\_version=2](https://www.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p_lang=es&p_card_id=0930&p_version=2)

**INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO.** DOCUMENTACIÓN TOXICOLÓGICA PARA EL ESTABLECIMIENTO DEL LÍMITE DE EXPOSICIÓN PROFESIONAL DEL DIÓXIDO DE AZUFRE. [en línea] 2014, pp. 1-5. [Consulta: 25 de Marzo de 2021]. Disponible en: <https://www.insst.es/documents/94886/289651/DLEP+86+DIOXIDO+DE+AZUFRE.pdf/d339b938-aa66-4f09-a056-39c2866676af>

**LEAL, E.** La Atmósfera: UN SISTEMA DEL PLANETA TIERRA.*uv.* [en línea] 2010. (Mexico), pp. 13-48. [Consulta: 09 de Marzo de 2021]. Disponible en: <https://www.uv.mx/personal/tcarmona/files/2010/08/Leal-.pdf>

**MANAHAN, S.** *Introducción a la química ambiental*. Primera. México D.F : REVERTÉ, S.A, 2007. 1, pp. 401-402.

**MANRIQUE, A & OSSA, D.** VALIDACION DE LOS METODOS ESPECTROFOTOMETRICOS PARA LA DETERMINACION DE SO<sub>x</sub> Y NO<sub>x</sub> EN MUESTRAS DE AIRE. [en línea], (Trabajo de titulación), Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, Colombia. 2010. pp. 25. [Consulta: 24 de Noviembre de 2020]. Disponible en: <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/1832/5430858M285.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

**MARÍN, A.** Balanceo de ecuaciones químicas. *Química General. Balanceo de ecuaciones*. [en línea] 2017. (Mexico) pp. 1-8. [Consulta: 25 de Marzo de 2021]. Disponible en: [http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/Balanceo\\_25801.pdf](http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/Balanceo_25801.pdf)

**MARTÍNEZ, A.** TIPOS DE METODOLOGÍAS PARA MONITOREO ATMOSFÉRICO. *documentacion.ideam* [en línea] 2012. (Colombia), pp. 40-46. [Consulta: 19 de Marzo de 2021]. Disponible en: [http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/001083/Course2/Lecturas/Monitoreo/monitor\\_cap3.pdf](http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/001083/Course2/Lecturas/Monitoreo/monitor_cap3.pdf)

**MÁXIMA, J.** "Atmósfera". *caracteristicas*. [en línea] 2020. (Colombia), [Consulta: 13 de Diciembre de 2020]. Disponible en: <https://www.caracteristicas.co/atmosfera/>.

**MEDLINE. 2020.** Contaminación del aire. *medlineplus*. [en línea] 2020. (EE.UU.), [Consulta: 12 de Diciembre de 2020]. Disponible en: <https://medlineplus.gov/spanish/airpollution.html>

**MINISTERIO DEL AMBIENTE.** Fuentes de contaminación atmosférica. *gascoeduca* [en línea] 2018. [Consulta: 18 de Marzo de 2021]. Disponible en: <http://www.gascoeduca.cl/Contenido/Contenido.aspx?Cod=31>

**MINISTERIO DEL AMBIENTE.** Registro Oficial N°387. *Ministerio del Ambiente*. [en línea] 2015. (Ecuador), [Consulta: 18 de Marzo de 2021]. Disponible en: [http://gis.uazuay.edu.ec/ierse/links\\_doc\\_contaminantes/REGISTRO%20OFICIAL%20387%20-%20AM%20140.pdf](http://gis.uazuay.edu.ec/ierse/links_doc_contaminantes/REGISTRO%20OFICIAL%20387%20-%20AM%20140.pdf)

**NIETO, J.** EVALUACIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS PROVENIENTES DEL SECTOR AUTOMOTRIZ EN LA AVENIDA 9 DE OCTUBRE DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA. [en línea], (Trabajo de titulación) ESPOCH, Riobamba, Ecuador. 2019. pp. 40-54. [Consulta: 25 de Marzo de 2021]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/111164/1/236T0448.pdf>

**NIEVA, M.** El género Metzgeria (Metzgeriales-Hepatophyta) en los bosques montanos del Noroeste de Argentina. *TROPICAL BRYOLOGY* 21. [en línea] 2012. (Argentina), pp. 04-06 [Consulta: 21 de Marzo de 2021]. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/14530135.pdf>

**NORIEGA, P.** *Biomonitoreo de contaminantes, mediante el uso de briofitas como muestreadores biológicos para el aire de la ciudad de Quito.* [en línea] Quito-Ecuador: Ediciones Abya-Yala, 2008. [Consulta: 20 de Marzo de 2021]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/6095/1/Biomonitoreo%20de%20contaminantes%20mediante%20el%20uso%20de%20briofitas%20como%20muestreadores%20biologicos%20para%20el%20aire%20de%20la%20Ciudad%20de%20Quito.pdf>

**OPS.** Contaminación del aire ambiental. *paho* [en línea] 2016. [Consulta: 12 de Diciembre de 2020]. Disponible en: [https://www.paho.org/hq/index.php?option=com\\_content&view=article&id=12918:ambient-air-pollution&Itemid=72243&lang=es](https://www.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=12918:ambient-air-pollution&Itemid=72243&lang=es)

**ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD.** Calidad del aire y salud. *who* [en línea] 2018. [Consulta: 18 de Marzo de 2021]. Disponible en: [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)

**PABÓN, J.** *La atmósfera, el tiempo y el clima El medio ambiente en Colombia.* [en línea] Bogotá-Colombia: EPÍGRAFE LTDA, 2019. [Consulta: 12 de Diciembre de 2020], Disponible en: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/005192/medioambiente/cap3parteI.pdf>

**PARDO, M.** DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE NO<sub>x</sub> A LA QUE SE ENCUENTRAN EXPUESTAS LAS PERSONAS QUE FRECUENTAN EL SECTOR DEL TERMINAL TERRESTRE – LATACUNGA. [en línea], (Trabajo de titulación) ESPOCH, Riobamba, Ecuador. 2019. pp. 29-58. [Consulta: 25 de Marzo de 2021]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/11128/1/236T0435.PDF>

**PÉREZ, V.** MUSGOS Y LÍQUENES COMO BIOINDICADORES DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA. [en línea], (Trabajo de titulación) Universidad COMPLUTENSE, Madrid, España. 2018. pp. 16. [Consulta: 09 de Diciembre de 2020]. Disponible <http://147.96.70.122/Web/TFG/TFG/Memoria/VICTOR%20ALEJANDRO%20PEREZ%20HERNANDEZ.pdf>

**RED DE ESTACIONES METEOROLÓGICAS AUTOMÁTICAS.** ESTACIONES METEOROLÓGICAS AUTOMÁTICAS GPRS (DATOS CRUDOS POR VARIABLES). *RedEMA.* [en línea] 2021. (Ecuador), [Consulta: 07 de Marzo de 2020]. Disponible en: <http://45.188.219.22:8080/redEma/faces/public/reportedatosrep.xhtml>

**REGALADO ET AL.** "Balanceo de Ecuaciones Químicas Integrando las Asignaturas de Química General, Algebra Lineal y Computación: Un Enfoque de Aprendizaje Activo". *redalyc* [en línea] , 2014, (Chile) 7(2), pp. 29-39. [Consulta: 25 de Marzo de 2021]. ISSN: 0718-5006. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/3735/373534462005.pdf>

**ROMERO ET AL.** "La contaminación del aire: su repercusión como problema de salud". *scielo* [en línea], 2006, (Cuba) 44(2). [Consulta: 12 de Diciembre de 2020]. ISSN: 1561-3003. Disponible en: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1561-30032006000200008](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1561-30032006000200008)

**RUANO, A.** *El transporte terrestre y la historia de la humanidad* [blog]. Barcelona: Sertrans, 2016. [Consulta: 12 de Enero de 2021]. Disponible en: <https://www.sertrans.es/trasporte-terrestre/el-transporte-terrestre-la-historia-de-la-humanidad/>

**SAMANIEGO, J.** Se puede medir la contaminación ambiental empleando seres vivos. *culturacientifica* [en línea] 2020. (Ecuador). [Consulta: 21 de Marzo de 2021]. Disponible en: <https://culturacientifica.utpl.edu.ec/2020/01/se-puede-medir-la-contaminacion-ambiental-empleando-seres-vivos/>

**SARMIENTO, D.** Evaluación de la contaminación por metales pesados en muestras de musgo recolectadas durante el período febrero – marzo 2011 en la Estación Antártica Ecuatoriana Pedro Vicente Maldonado. [en línea], (Trabajo de titulación) Universidad Central Del Ecuador, Quito, Ecuador. 2013. pp. 24-27. [Consulta: 19 de Marzo de 2021]. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/2114/1/T-UCE-0008-05.pdf>

**URIBE, M & CIFUENTES, L.** "Aplicación de técnicas de cultivo in vitro en la propagación de *Legrandia concinna*". *scielo.conicyt* [en línea], 2004, (Chile) 25(1), pp, 129-135. [Consulta: 10 de Diciembre de 2020]. ISSN: 0717-9200 Disponible en: [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0717-92002004000100012](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-92002004000100012)

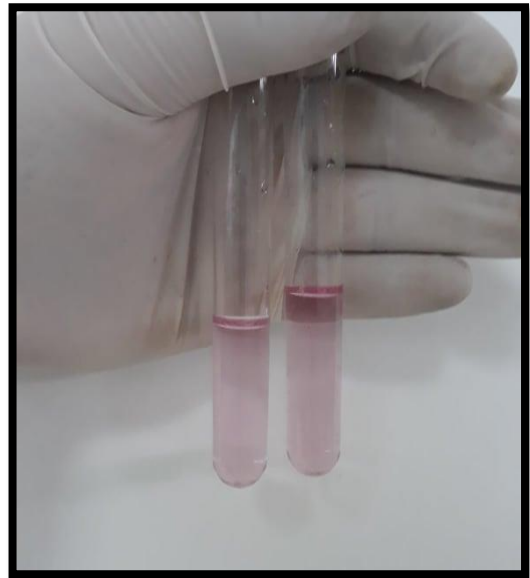
## ANEXOS

### ANEXO A. PREPARACIÓN DE BIOMONITOR

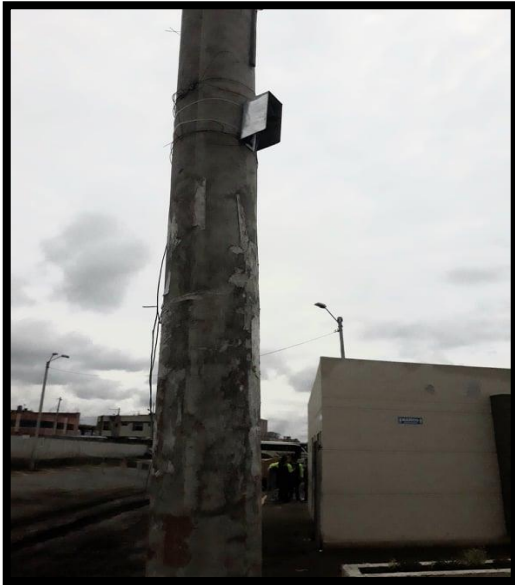
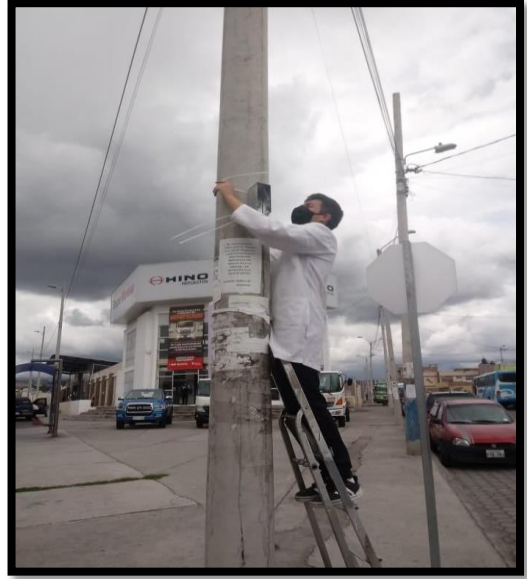




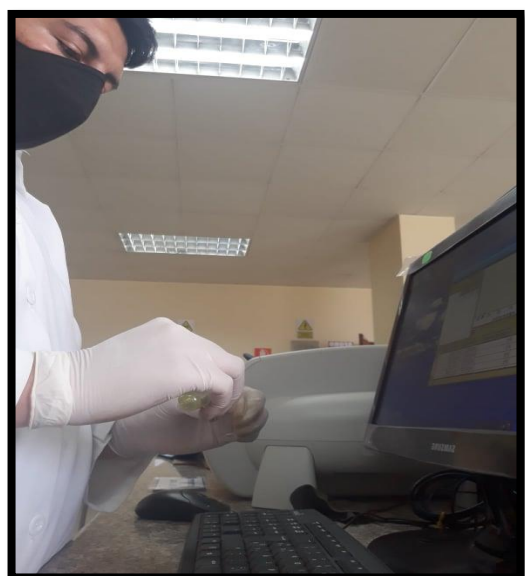
## ANEXO B. PREPARACIÓN DE CAPTADORES PASIVOS



ANEXO C. MUESTREO



## ANEXO D. ANÁLISIS Y RESULTADOS






ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE  
CHIMBORAZO  
DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS  
PARA EL APRENDIZAJE Y LA INVESTIGACIÓN



UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS  
REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 16 / 07 / 2021

<b>INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)</b>
<b>Nombres – Apellidos:</b> FRANKLIN DAVID FONSECA PAZMIÑO
<b>INFORMACIÓN INSTITUCIONAL</b>
<b>Facultad:</b> CIENCIAS
<b>Carrera:</b> INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL
<b>Título a optar:</b> INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL
<b>f. Analista de Biblioteca responsable:</b> Ing. CPA. Jhonatan Rodrigo Parreño Uquillas. MBA.
 16-07-2021 1251-DBRA-UTP-2021