



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**CARRERA INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL**

**DETERMINACIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS**

**GENERADOS POR FUENTES MÓVILES EN EL SECTOR**

**“MERCADO MAYORISTA” DEL CANTÓN AMBATO**

**EMPLEANDO BIOMONITORES**

**Trabajo de Titulación**

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL**

**AUTOR: LUIS DAVID CASTILLO LLUGUAY**

**DIRECTORA: Ing. MARÍA SOLEDAD NUÑEZ MORENO MSc.**

Riobamba-Ecuador

2022

**©2022, Luis David Castillo Lluquay**

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, LUIS DAVID CASTILLO LLUGUAY, declaro que el presente Trabajo de Titulación es de mi autoría y los resultados de este 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, 05 de agosto del 2022

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Luis David Castillo Lluguy', with a large, sweeping flourish extending to the right.

**Luis David Castillo Lluguy**  
**060432057-2**

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

El Tribunal del trabajo de titulación certifica que: El trabajo de titulación: Tipo proyecto técnico, **DETERMINACIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS GENERADOS POR FUENTES MÓVILES EN EL SECTOR “MERCADO MAYORISTA” DEL CANTÓN AMBATO EMPLEANDO BIOMONITORES**, realizado por el señor: **LUIS DAVID CASTILLO LLUGUAY**, 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. Johanna Elizabeth Ayala Izurieta MSc. <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>		28-07-2022
Ing. María Soledad Nuñez Moreno MSc. <b>DIRECTORA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN</b>		28-07-2022
Ing. María Rafaela Viteri Uzcategui MSc. <b>MIEMBRO DEL TRIBUNAL</b>		28-07-2022

## **DEDICATORIA**

Este trabajo de titulación está dedicado con todo mi amor a Dios por brindarme la salud y la fortaleza para superar todos los obstáculos y adversidades a lo largo de este caminar pues gracias a él hoy me encuentro con vida. A mi familia en especial a mis padres, quienes han sido el pilar fundamental en mi vida. Que con cariño, amor y obediencia supieron educarme, guiarme y llenarme siempre de buenos consejos, palabras de aliento y apoyo incondicional para que pueda alcanzar mis sueños.

Del mismo modo una parte de este trabajo está dedicada a mi ángel allá en el cielo, a mi querida abuelita, que, aunque hoy no estás aquí para compartir este triunfo, sé que lo celebras tanto como yo desde allá arriba.

*David*

## AGRADECIMIENTO

Quiero extender un profundo agradecimiento a mis padres por todo su apoyo, esfuerzo y sacrificio brindado a lo largo de toda mi vida ya que, gracias a ellos he logrado alcanzar cada uno de mis sueños, de igual forma a mis hermanos quienes han estado siempre a mi lado y con sus ocurrencias llenaron mis días de alegría.

A mi querida ESPOCH por aceptarme y permitirme formar parte de esta gran y noble institución, así como a cada uno de sus docentes y técnicos docentes por todos los conocimientos y enseñanzas impartidas, a fin de formar un profesional de calidad.

A la Ingeniera Soledad Nuñez, directora de este trabajo por la asesoría, paciencia, ayuda, y los valiosos aportes recibidos tanto en mi formación académica como en actividades extracurriculares los cuales permitieron culminar exitosamente este trabajo.

De manera muy especial a la MSc. Rafaela Viteri por ser una docente y asesora especular que con amor y paciencia siempre ha estado predispuesta a ayudarme en todo lo que sea necesario en favor de mejor mis conocimientos y capacidades, en el desarrollo de este trabajo. De igual forma a la Ingeniera Carla Haro técnico docente del laboratorio por todas sus enseñanzas y apoyo incondicional en la realización de este trabajo.

A Tania Ulloa, por estar siempre a mi lado, ayudándome y apoyándome incondicionalmente a lo largo de toda esta carrera universitaria. De igual forma a mis queridos amigos y compañeros Erika, Elizabeth, Abigail, Cristián, Brayán, Dennys que en este largo caminar trabajaron a mi lado durante toda mi carrera universitaria aportando conocimientos, risas, alegrías, consejos, enseñanzas y tantos buenos momentos que los llevare siempre conmigo.

Finalmente, a cada uno de los integrantes de mi familia tíos, primos y demás familiares que siempre me apoyaron para seguir adelante y alcanzar mis sueños.

*David*

## TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiii
RESUMEN.....	xiv
SUMMARY.....	xv
INTRODUCCIÓN.....	1

## CAPÍTULO I

<b>1. MARCO REFERENCIAL.....</b>	<b>4</b>
<b>1.1. Antecedentes.....</b>	<b>4</b>
<b>1.2. Atmósfera.....</b>	<b>5</b>
<b>1.3. Componentes de la atmósfera.....</b>	<b>5</b>
<b>1.4. Capas de la atmósfera.....</b>	<b>6</b>
<i>1.4.1. Tropósfera.....</i>	<i>7</i>
<i>1.4.2. Estratósfera.....</i>	<i>7</i>
<i>1.4.3. Mesósfera.....</i>	<i>8</i>
<i>1.4.4. Termósfera.....</i>	<i>8</i>
<i>1.4.5. Exósfera.....</i>	<i>8</i>
<b>1.5. Aire.....</b>	<b>8</b>
<b>1.6. Contaminación atmosférica.....</b>	<b>9</b>
<b>1.7. Contaminantes atmosféricos.....</b>	<b>9</b>
<i>1.7.1. Según su origen.....</i>	<i>9</i>
<i>1.7.2. Según su evolución.....</i>	<i>10</i>
<i>1.7.3. Según su estructura.....</i>	<i>11</i>
<i>1.7.4. Óxidos de nitrógeno NO<sub>x</sub>.....</i>	<i>11</i>
<i>1.7.5. Dióxido de nitrógeno NO<sub>2</sub>.....</i>	<i>12</i>
<i>1.7.6. Óxido de azufre SO<sub>x</sub>.....</i>	<i>13</i>
<i>1.7.7. Dióxido de azufre SO<sub>2</sub>.....</i>	<i>13</i>
<b>1.8. Normativa de la calidad del aire ambiente.....</b>	<b>14</b>
<i>1.8.1. Dióxido de nitrógeno NO<sub>2</sub>.....</i>	<i>14</i>
<i>1.8.2. Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>).....</i>	<i>14</i>
<b>1.9. Fuentes de emisiones atmosféricas.....</b>	<b>15</b>
<i>1.9.1. Fuentes fijas.....</i>	<i>15</i>

1.9.2.	<i>Fuentes móviles</i> .....	15
1.10.	<b>Métodos de medición de la calidad del aire ambiente</b> .....	16
1.10.1.	<i>Muestreo pasivo</i> .....	16
1.10.2.	<i>Muestreo activo</i> .....	17
1.10.3.	<i>Muestreo con bioindicadores</i> .....	17
1.10.4.	<i>Bioindicadores</i> .....	18
1.10.5.	<i>Tipos de bioindicadores</i> .....	18
1.10.6.	<i>Biomonitoreo</i> .....	20
1.10.7.	<i>Biomonitoreo por briofitas</i> .....	20
1.10.8.	<i>Briofitas</i> .....	21

## CAPÍTULO II

2.	<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	24
2.1.	<b>Localización del proyecto</b> .....	24
2.2.	<b>Lugar de estudio</b> .....	24
2.3.	<b>Cuantificación de la muestra</b> .....	24
2.3.1.	<i>Método de muestreo</i> .....	24
2.3.2.	<i>Tamaño de la muestra</i> .....	25
2.3.3.	<i>Periodo de muestreo</i> .....	25
2.4.	<b>Técnicas de recolección de datos</b> .....	26
2.5.	<b>Bioanálisis con Briofitas</b> .....	27
2.5.1.	<i>Selección de los lugares para la recolección de las briofitas</i> .....	27
2.5.2.	<i>Pruebas de tolerancia y bioacumulación de contaminantes</i> .....	28
2.5.3.	<i>Metodología para analizar las muestras de briofitas</i> .....	32
2.5.4.	<i>Estructuración de briofitas para el bioanálisis de NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> en el aire ambiente</i> ...	34
2.5.5.	<i>Cálculos para la obtención de la concentración de contaminantes en biomonitores</i>	34
2.5.6.	<i>Análisis para biomonitores de Dióxido de nitrógeno NO<sub>2</sub></i> .....	35
2.5.7.	<i>Análisis para biomonitores de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>)</i> .....	37
2.5.8.	<i>Datos correctivos para las concentraciones de contaminantes NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> en la zona de estudio</i> .....	39
2.5.9.	<i>Elaboración de mapas temáticos</i> .....	40

## CAPÍTULO III

3.	<b>MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS</b> .....	41
3.1.	<b>Identificación de especies</b> .....	41



3.2.	<b>Tipos de briofitas recogidas.....</b>	41
3.3.	<b>Pruebas de tolerancia en briofitas .....</b>	42
3.3.1.	<i>Cálculo para la concentración de generación de NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> .....</i>	42
3.3.2.	<i>Pruebas de tolerancia.....</i>	42
3.3.3.	<i>Pruebas de resistencia .....</i>	43
3.4.	<b>Concentración de contaminantes por biomonitoreo con la especie Metzgeriaceae .....</b>	44
3.4.1.	<i>Concentración promedio ambiental de NO<sub>2</sub> con biomonitores de la especie Metzgeriaceae.....</i>	44
3.4.2.	<i>Variación de la concentración ambiente del mes de diciembre corregida de NO<sub>2</sub> con biomonitores de la especie Metzgeriaceae .....</i>	45
3.4.3.	<i>Variación de la concentración ambiente del mes de enero corregida de NO<sub>2</sub> con biomonitores de la especie Metzgeriaceae .....</i>	46
3.4.4.	<i>Variación de la concentración promedio ambiente final corregida de NO<sub>2</sub> con biomonitores de la especie Metzgeriaceae .....</i>	47
3.4.5.	<i>Puntos mínimos, máximos y promedios de concentración de NO<sub>2</sub> con biomonitores de la especie Metzgeriaceae .....</i>	49
3.4.6.	<i>Concentración promedio ambiental de SO<sub>2</sub> con biomonitores de la especie Metzgeriaceae.....</i>	50
3.4.7.	<i>Variación de la concentración ambiente del mes de diciembre corregida de SO<sub>2</sub> con biomonitores de la especie Metzgeriaceae .....</i>	51
3.4.8.	<i>Variación de la concentración ambiente del mes de enero corregida de SO<sub>2</sub> con biomonitores de la especie Metzgeriaceae .....</i>	52
3.4.9.	<i>Variación de la concentración promedio ambiente final corregida de SO<sub>2</sub> con biomonitores de la especie Metzgeriaceae .....</i>	53
3.4.10.	<i>Puntos mínimos, máximos y promedios de concentración de SO<sub>2</sub> con biomonitores de la especie Metzgeriaceae .....</i>	54
3.5.	<b>Concentración de contaminantes por biomonitoreo con la especie Rhaphidorrhynchium.....</b>	55
3.5.1.	<i>Concentración promedio ambiental de NO<sub>2</sub> con biomonitores de la especie Rhaphidorrhynchium.....</i>	55
3.5.2.	<i>Variación de la concentración ambiente del mes de diciembre corregida de NO<sub>2</sub> con biomonitores de la especie Rhaphidorrhynchium .....</i>	57
3.5.3.	<i>Variación de la concentración ambiente del mes de enero corregida de NO<sub>2</sub> con biomonitores de la especie Rhaphidorrhynchium .....</i>	58
3.5.4.	<i>Variación de la concentración promedio ambiente final corregida de NO<sub>2</sub> con biomonitores de la especie Rhaphidorrhynchium .....</i>	59

3.5.5.	<i>Puntos mínimos, máximos y promedios de concentración de NO<sub>2</sub> con biomonitores de la especie Rhabdorrhynchium</i> .....	60
3.5.6.	<i>Concentración promedio ambiental de SO<sub>2</sub> con biomonitores de la especie Rhabdorrhynchium</i> .....	61
3.5.7.	<i>Variación de la concentración ambiente del mes de diciembre corregida de SO<sub>2</sub> con biomonitores de la especie Rhabdorrhynchium</i> .....	62
3.5.8.	<i>Variación de la concentración ambiente del mes de enero corregida de SO<sub>2</sub> con biomonitores de la especie Rhabdorrhynchium</i> .....	63
3.5.9.	<i>Variación de la concentración promedio ambiente final corregida de SO<sub>2</sub> con biomonitores de la especie Rhabdorrhynchium</i> .....	65
3.5.10.	<i>Puntos mínimos, máximos y promedios de concentración de SO<sub>2</sub> con biomonitores de la especie Rhabdorrhynchium</i> .....	66
3.6.	<b>Análisis de las concentraciones de NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> empleando el software ArcGIS</b> .....	68
3.6.1.	<i>Concentración promedio final de NO<sub>2</sub> con biomonitores de la especie Metzgeriaceae</i> .....	68
3.6.2.	<i>Concentración promedio final de SO<sub>2</sub> con biomonitores de la especie Metzgeriaceae</i> .....	69
3.6.3.	<i>Concentración promedio final de NO<sub>2</sub> con biomonitores de la especie Rhabdorrhynchium</i> .....	70
3.6.4.	<i>Concentración promedio final de SO<sub>2</sub> con biomonitores de la especie Rhabdorrhynchium</i> .....	71
3.7.	<b>Normativa de la calidad del Aire</b> .....	72
	<b>CONCLUSIONES</b> .....	74
	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	76
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
	<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-1:</b> Componentes Permanentes de la Atmósfera .....	5
<b>Tabla 2-1:</b> Componentes Variables de la Atmósfera .....	6
<b>Tabla 3-1:</b> Principales Contaminantes Primarios y Secundarios presentes en el Aire. ....	11
<b>Tabla 4-1:</b> Concentraciones de contaminantes en el aire para criterios de alerta, alarma y emergencia. ....	14
<b>Tabla 5-1:</b> Taxonomía de la especie Metzgeriaceae .....	21
<b>Tabla 6-1:</b> Taxonomía de la especie Rhabdorrhynchium .....	22
<b>Tabla 7-2:</b> Puntos de Monitoreo de NO <sub>2</sub> y SO <sub>2</sub> .....	25
<b>Tabla 8-2:</b> Datos utilizados para la curva de calibración de NO <sub>2</sub> en Biomonitores .....	35
<b>Tabla 9-2:</b> Datos utilizados para la curva de calibración de SO <sub>2</sub> en Biomonitores .....	37
<b>Tabla 10-2:</b> Datos meteorológicos de la zona de estudio.....	40
<b>Tabla 11-3:</b> Tipos de Briofitas Foráneas .....	41
<b>Tabla 12-3:</b> Tipos de Briofitas Nativas.....	41
<b>Tabla 13-3:</b> Absorbancia de NO <sub>2</sub> y SO <sub>2</sub> por briofitas .....	43
<b>Tabla 14-3:</b> Concentraciones de NO <sub>2</sub> analizadas con biomonitores Metzgeriaceae.....	44
<b>Tabla 15-3:</b> Concentraciones de SO <sub>2</sub> analizadas con biomonitores Metzgeriaceae.....	50
<b>Tabla 16-3:</b> Concentraciones de NO <sub>2</sub> analizadas con biomonitores Rhabdorrhynchium.....	55
<b>Tabla 17-3:</b> Concentraciones de SO <sub>2</sub> analizadas con biomonitores Rhabdorrhynchium .....	61
<b>Tabla 18-3:</b> Concentraciones de NO <sub>2</sub> y SO <sub>2</sub> transformadas para comparación con los límites permisibles. ....	72

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-1:</b>	Capas de la atmósfera.....	7
<b>Figura 2-1:</b>	Briofitas de la especie Metzgeriaceae.....	22
<b>Figura 3-1:</b>	Briofitas de la especie Rhabdorrhynchium.....	23
<b>Figura 4-2:</b>	Mercado Mayorista del Cantón Ambato.....	24
<b>Figura 5-2:</b>	Puntos de Monitoreo de NO <sub>2</sub> y SO <sub>2</sub> .....	25
<b>Figura 6-2:</b>	Primer lugar de recolección de Briofitas. ....	27
<b>Figura 7-2:</b>	Segundo lugar de recolección de Briofitas. ....	28
<b>Figura 8-3:</b>	Concentraciones promedio finales de NO <sub>2</sub> analizadas con biomonitores Metzgeriaceae.....	68
<b>Figura 9-3:</b>	Concentraciones promedio finales de SO <sub>2</sub> analizadas con biomonitores Metzgeriaceae.....	69
<b>Figura 10-3:</b>	Concentraciones promedio finales de NO <sub>2</sub> analizadas con biomonitores Rhabdorrhynchium.....	70
<b>Figura 11-3:</b>	Concentraciones promedio finales de SO <sub>2</sub> analizadas con biomonitores Rhabdorrhynchium.....	71

## 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 4-3:</b> Concentración del mes Enero de NO <sub>2</sub> con biomonitores <i>Metzgeriaceae</i> .....	46
<b>Gráfico 5-3:</b> Concentración promedio final de NO <sub>2</sub> con biomonitores <i>Metzgeriaceae</i> .....	47
<b>Gráfico 6-3:</b> Puntos mínimos, máximos y promedios de NO <sub>2</sub> con biomonitores <i>Metzgeriaceae</i> .....	49
<b>Gráfico 7-3:</b> Concentración del mes Diciembre de SO <sub>2</sub> con biomonitores <i>Metzgeriaceae</i> .....	51
<b>Gráfico 8-3:</b> Concentración del mes Enero de SO <sub>2</sub> con biomonitores <i>Metzgeriaceae</i> .....	52
<b>Gráfico 9-3:</b> Concentración promedio final de SO <sub>2</sub> con biomonitores <i>Metzgeriaceae</i> .....	53
<b>Gráfico 10-3:</b> Puntos mínimos, máximos y promedios de SO <sub>2</sub> con biomonitores <i>Metzgeriaceae</i> .....	54
<b>Gráfico 11-3:</b> Concentración del mes Diciembre de NO <sub>2</sub> con biomonitores <i>Rhaphidorrhynchium</i> .....	57
<b>Gráfico 12-3:</b> Concentración del mes Enero de NO <sub>2</sub> con biomonitores <i>Rhaphidorrhynchium</i> .	58
<b>Gráfico 13-3:</b> Concentración promedio final de NO <sub>2</sub> con biomonitores <i>Rhaphidorrhynchium</i> .	59
<b>Gráfico 14-3:</b> Puntos mínimos, máximos y promedios de NO <sub>2</sub> con biomonitores <i>Rhaphidorrhynchium</i> .....	60
<b>Gráfico 15-3:</b> Concentración del mes Diciembre de SO <sub>2</sub> con biomonitores <i>Rhaphidorrhynchium</i> .....	62
<b>Gráfico 16-2:</b> Concentración del mes Enero de SO <sub>2</sub> con biomonitores <i>Rhaphidorrhynchium</i> ..	64
<b>Gráfico 17-3:</b> Concentración promedio final de SO <sub>2</sub> con biomonitores <i>Rhaphidorrhynchium</i> .	65
<b>Gráfico 18-3:</b> Puntos mínimos, máximos y promedios de SO <sub>2</sub> con biomonitores <i>Rhaphidorrhynchium</i> .....	66

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

**ANEXO A.** RECOLECCIÓN DE LOS BIOMONITORES

**ANEXO B.** PREPARACIÓN Y ADECUACIÓN DE LOS BIOMONITORES

**ANEXO C.** MUESTREO

## RESUMEN

El objetivo del estudio fue analizar contaminantes atmosféricos generados por fuentes móviles en el sector “Mercado Mayorista” del cantón Ambato mediante la aplicación de biomonitores. En el estudio se recolectaron ocho especies de briofitas, estas especies fueron sometidas a una inyección controlada de contaminantes a fin de determinar las especies idóneas para ser empleadas como biomonitores. En base a las pruebas realizadas se determinó que las especies con mayor resistencia y bioacumulación fueron las briofitas *Metzgeriaceae* y *Rhaphidorrhynchium*. Una vez seleccionados los biomonitores fueron distribuidos en 22 puntos análisis establecidos alrededor del Mercado Mayorista de Ambato, el biomonitoreo se desarrolló en un lapso de dos meses, el bioanálisis se realizó a través de pruebas de laboratorio y espectrofotometría UV-Visible a fin de determinar las concentraciones de dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) y dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>). Los resultados reflejaron que el nivel de contaminación en el aire no supera los límites permisibles establecidos por la normativa nacional y la Organización Mundial de la Salud. El bioanálisis con briofitas *Metzgeriaceae* reveló que el valor de NO<sub>2</sub> más alto es de 1,990 microgramo sobre metro cúbico (µg/m<sup>3</sup>) en una hora y el valor de SO<sub>2</sub> más alto es de 14,622 (µg/m<sup>3</sup>) cuantificado en 24 horas de igual modo con las briofitas *Rhaphidorrhynchium* el valor de NO<sub>2</sub> más alto es de 0,911 (µg/m<sup>3</sup>) en una hora y el valor de SO<sub>2</sub> más alto es de 6,576 (µg/m<sup>3</sup>) cuantificado en 24 horas. Por tanto, se puede concluir que las briofitas *Metzgeriaceae* y *Rhaphidorrhynchium* pueden analizar contaminantes atmosféricos ya que, se constituyen como excelentes evaluadores de la calidad del aire ambiente. Se recomienda utilizar con frecuencia biomonitores para la determinación de la calidad del aire ya que son excelentes alternativas desde el punto de vista económico y técnico.

**Palabras clave:** <INGENIERÍA AMBIENTAL>, <CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS>, <BRIOFITAS>, <BIOANÁLISIS>, <AMBATO (CANTÓN)>.

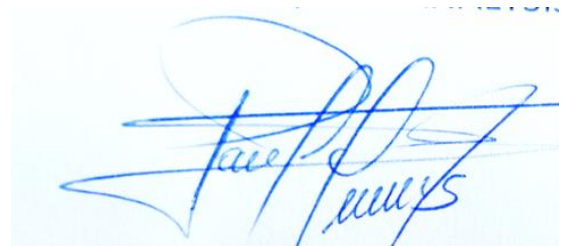


1849-DBRA-UTP-2022

## SUMMARY

The aim of the research was to analyze atmospheric pollutants generated by mobile sources in the surrounding area of "Mercado Mayorista", located in Ambato county. This was carried out through the application of biomonitors. Eight species of bryophytes were collected, these species were under a controlled contaminant injection in order to determine the suitable species to be used as biomonitors. Based on the tests carried out, it was determined that the species with the greatest resistance and bioaccumulation were the bryophytes *Metzgeriaceae* and *Rhaphidorrhynchium*. Once the biomonitors were selected, they were placed in 22 monitoring points established around the Wholesale Market, located in Ambato. The biomonitoring process was carried out during a 2-month period; the bioanalysis was performed through laboratory tests and UV-Visible spectrophotometry in order to determine the concentrations of nitrogen dioxide (NO<sub>2</sub>) and sulfur dioxide (SO<sub>2</sub>). The results revealed that the level of air pollution does not exceed the permissible limits established by the national regulations and the World Health Organization. The bioanalysis with *Metzgeriaceae* bryophytes revealed that the highest NO<sub>2</sub> value is 1,990 microgram per cubic meter (µg/m<sup>3</sup>) in a 1-hour measurement and the highest SO<sub>2</sub> value is 14, 622 (µg/m<sup>3</sup>) in 24 hours similarly with *Rhaphidorrhynchium* bryophytes the highest NO<sub>2</sub> value is 0.911 (µg/m<sup>3</sup>) in a 1-hour measurement and the highest SO<sub>2</sub> value is 6.576 (µg/m<sup>3</sup>) in 24 hours. Thus, it is concluded that *Metzgeriaceae* and *Rhaphidorrhynchium* bryophytes can be used to analyze atmospheric pollutants as they are useful for estimating the air quality. It is recommended to use biomonitors permanently to determine the air quality since they are excellent alternatives from the economic and technical point of view.

**Keywords:** <ENVIROMENTAL ENGINEERING>, <ATMOSPHERIC POLLUTANTS>, <BRIOPHYTES>, <BIOANALYSIS>, <AMBATO (COUNTRY)>.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Paulo Rolando Armas Pesantez', is written over a light blue background.

Lic. Paúl Rolando Armas Pesántez MSc.

C.I. 0603289877



## INTRODUCCIÓN

La contaminación atmosférica representa uno de los mayores problemas a nivel global ya que, afectan y pone en peligro la subsistencia de los seres vivos, debido a que durante mucho tiempo el hombre disfrutó del aire sin ninguna preocupación por su calidad, ya sea porque parecía que todo estaba bien o porque no entendía muchos de sus efectos. Hoy en día la calidad del aire en algunas zonas del cantón Ambato se ha deteriorado debido a la sobrepoblación y la quema de combustibles fósiles, hasta el punto de contribuir con la aparición de afecciones respiratorias las cuales afectan gravemente a la población aledaña (Echeverri, 2019, p. 79).

La degradación en la calidad del aire dentro de una zona urbana se debe principalmente a las fuentes móviles los cuales emiten grandes cantidades de monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) y sustancias tóxicas como el benceno. Dependiendo de su composición y del tipo de combustible que usen pueden emitir cantidades significativas de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) y plomo, combinados con otros subproductos secundarios como el ozono (O<sub>3</sub>), puede provocar graves efectos adversos para la salud (Walsh, 2019 p. 1–2).

El aumento exponencial del parque automotor del cantón Ambato en los últimos años ha contribuido a la generación de tráfico vehicular en algunas zonas del catón y a un sin número de problemas ambientales debido a la emisión de gases contaminantes los cuales en conjunto con las condiciones atmosféricas y la velocidad del viento dan lugar a la formación de contaminantes atmosféricos los cuales en concentraciones bajas puede deteriorar gravemente la salud y generar diversas enfermedades respiratorias (Sharmilaa y Ilango, 2021 p. 532–536).

El área de estudio donde se desarrolla el proyecto es el sector del Mercado Mayorista del cantón Ambato, provincia de Tungurahua-Ecuador, es un lugar idóneo para la determinación de contaminantes atmosféricos ya que, es un sector altamente comercial y de gran afluencia vehicular debido a que es una de las principales entradas y salidas de la urbe. “Dentro del sector también se ubica el centro de acopio y abastecimiento más grande del centro del país, recibe alrededor de 8000 personas y en promedio unos 5000 vehículos en los días de feria dentro de sus instalaciones, en sus exteriores también se genera una gran aglomeración de personas y vehículos que transitan por la zona”(EP-EMA, 2021 p. 29).

### Formulación del problema

¿Cuál es la concentración atmosférica de contaminantes NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> y como está afecta a la calidad del aire ambiente del sector del Mercado Mayorista del cantón Ambato?

## **Justificación**

La contaminación atmosférica es sin duda alguna un problema latente que disminuye el promedio y la calidad de vida de los seres vivos debido al deterioro progresivo de la calidad del aire provocado principalmente por la combustión y la quema de combustibles fósiles como el diésel y la gasolina, debido al aumento progresivo del parque automotor en la ciudad de Ambato la demanda de estos combustibles ha aumentado al igual que las emisiones de gases contaminantes. Por ende, es necesario buscar y aportar soluciones que permitan aplacar los severos daños ambientales provocados por la descarga y emisión de gases contaminantes generados por la industria automotriz.

El estudio pretende determinar los principales contaminantes atmosféricos generados por las fuentes móviles empleando para ello biomonitores como medios receptores, los biomonitores son capaces de absorber y acumular gases contaminantes por ello serán ubicados en los principales focos de contaminación, mediante esta técnica se logrará llevar a cabo un control de la calidad del aire del sector y se determinará la concentración de gases generados.

La exposición a altos niveles de contaminación del aire puede causar una variedad de resultados adversos para la salud: aumenta el riesgo de infecciones respiratorias, enfermedades cardíacas, derrames cerebrales y cáncer de pulmón las cuales afectan en mayor proporción a población vulnerable, niños, adultos mayores y mujeres (Organización Panamericana de la Salud, 2021 p. 1).

La importancia del estudio radica en la generación de datos estadísticos y verídicos que permitan determinar la calidad del aire del sector verificando si se cumple o no con los límites permisibles establecidos en la legislación ecuatoriana, ya que, el sector es una zona muy transitada por diversos usuarios y vehículos que se trasladan de un lugar a otro con la finalidad de adquirir o comercializar productos de consumo masivo.

En base a los datos recabados en el presente estudio se podrían adoptar nuevas políticas ambientales con la finalidad de disminuir la contaminación y el riesgo de contraer enfermedades respiratorias derivadas de la acumulación de gases tóxicos mejorando así la calidad de vida de los moradores y usuarios del sector.

## **OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **Objetivo General**

- Analizar contaminantes atmosféricos generados por las fuentes móviles en el sector “Mercado Mayorista” del cantón Ambato mediante la aplicación de biomonitores.

### **Objetivos Específicos**

- Cuantificar por medio de pruebas de laboratorio la sensibilidad y resistencia de los biomonitores sometidos a contaminantes atmosféricos.
- Evaluar la concentración de NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> en el sector del “Mercado Mayorista” empleando biomonitores para determinar la calidad del aire del sector.
- Determinar la efectividad de los biomonitores en la absorción y bioacumulación de contaminantes atmosféricos aplicados en la zona de estudio.

## CAPÍTULO I

### 1. MARCO REFERENCIAL

#### 1.1. Antecedentes

Los contaminantes atmosféricos se constituyen como cualquier gas o partícula que, en una concentración suficientemente alta para hacer daño o atentar contra la vida y el medio ambiente. Los contaminantes pueden generarse por fuentes naturales o antropogénicas, una gran parte de ellos se encuentra en la troposfera, estos contaminantes destruyen poco a poco la capa de ozono y generan una situación preocupante debido a que esta es la única barrera natural de la tierra contra los rayos del sol. Desde el inicio de los tiempos los seres humanos han tenido la necesidad de trasladar objetos y productos de un lugar a otro, de esta necesidad consecuente aparece la iniciativa de crear un medio de transporte, los cuales son capaces de cubrir esta necesidad, pero al hacerlo contaminan drásticamente el ambiente debido a la generación de gases que producen. En 1886 aparece el primer automóvil con motor de combustión interna el cual genera gases que contaminan el aire debido a la quema de combustibles fósiles, este es un problema frecuente que hasta la actualidad no se ha podido desarrollar una solución cien por ciento efectiva debido a que los automóviles con este tipo de motor presentan una combustión directa que desprenden gases contaminantes directamente hacia la atmósfera, los gases emitidos a través del conducto de escape dependen particularmente del tipo de transporte, del tipo de combustible, de la tecnología presente en el vehículo y sobre todo de su sistema de control de emisiones o mejor conocido como catalizador. La sobrepoblación de automotores ha generado una enorme disminución en la calidad de aire en sectores donde existe gran influencia vehicular (Walsh, 2019 p. 1–2).

Los principales gases contaminantes que generan efectos adversos para el hombre y el ambiente son los óxidos de nitrógeno son conocidos colectivamente como gases  $NO_x$ . Los dos óxidos de nitrógeno más comunes y peligrosos son el óxido nítrico y el dióxido de nitrógeno. El óxido nitroso es un gas de efecto invernadero que contribuye al calentamiento global, generalmente emitido desde el escape de los vehículos motorizados y la quema de carbón principalmente de las plantas de energía eléctrica, e incluso de emisiones provenientes de la producción de cigarrillos, calentadores de queroseno, leña y silos en el proceso de ensilaje. Este contaminante reacciona con la luz solar y otros químicos para formar el conocido como smog, que no es otra cosa más que la combinación de humo, niebla y diversas partículas que se encuentran en la atmósfera de lugares con elevados índices de contaminación. El fenómeno se produce cuando el aire se estanca por un periodo extendido de alta presión y las partículas contaminantes quedan flotando en las capas atmosféricas inferiores por su mayor densidad (Walsh, 2019 p. 1–2).

En el estudio realizado por (Fonseca, 2021) menciona que los biomonitores son excelentes para determinar la calidad del aire de un sector debido a sus propiedades bioacumuladoras, estas plantas no vasculares también resultan ser muy efectivas como sistema de alerta, debido a que permiten detectar tempranamente signos de cambio ambiental, estos organismos no vasculares reciben la mayor parte de nutrientes directamente de la atmosfera, además están desprovistos de cutícula lo cual, les otorga el carácter especial y les permite la recepción de nutrientes y contaminantes aéreos.

## 1.2. Atmósfera

La atmósfera terrestre se constituye como una capa gaseosa que envuelve a toda la tierra, tiene un tamaño relativo aproximado de 2000 km de espesor, se extiende alrededor de unos 1.000 km por encima de la superficie terrestre y tiene una masa de aproximadamente  $5,6 \times 10^{25}$  toneladas. La principal función de la atmosfera es proteger a los seres vivos de los efectos nocivos de las radiaciones solares ultravioleta (Echeverri, 2019, p. 19).

## 1.3. Componentes de la atmósfera

Con el paso del tiempo los componentes de la atmosfera han ido evolucionando respecto a los componentes iniciales de la Tierra, debido a las actividades naturales y antropogénicas que se han desarrollado a lo largo de la historia. Generalmente la atmósfera cuenta con un alto porcentaje de nitrógeno, oxígeno, vapor de agua y dióxido de carbono los cuales en conjunto se constituyen como los principales gases de esta capa (Camilloni y Vera, 2019, p. 1-4).

**Tabla 1-1:** Componentes Permanentes de la Atmósfera

Gas	Fórmula Química	Concentración Aproximada
<b>Gases Permanentes</b>		
Nitrógeno	N <sub>2</sub>	78,08%
Oxígeno	O <sub>2</sub>	20,95%
Argón	Ar	0,93%
Neón	Ne	0,0018%
Helio	He	0,0005%
Hidrógeno	H <sub>2</sub>	0,00006%
Xenón	Xe	0,000009%

Fuente: (Camilloni y Vera, 2019 p. 1-4).

Realizado por: Castillo, Luis, 2022.

También contiene otros gases en menor proporción que afectan el clima los más importantes entre

ellos son el ozono (O<sub>3</sub>), el metano (CH<sub>4</sub>), los óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) y los clorofluorocarbonos. En la atmósfera también están presentes tantas nubes de agua líquida y de cristales de hielo como impurezas provenientes de fuentes naturales y humanas. Partículas de polvo, suelo y sal marina son incorporadas a ella por acción del viento y cumplen un papel beneficioso al actuar como superficies donde el agua se condensa para formar las gotas de nubes (Camilloni y Vera, 2019, p. 1–4).

**Tabla 2-1:** Componentes Variables de la Atmósfera

Gas	Fórmula Química	Concentración Aproximada
<b>Gases Variables</b>		
Vapor de Agua	H <sub>2</sub> O	0 a 4
Dióxido de Carbono	CO <sub>2</sub>	0,036
Metano	CH <sub>4</sub>	0,00017
Óxido nitroso	N <sub>2</sub> O	0,00003
Ozono	O <sub>3</sub>	0,000004
Partículas (polvo, etc.)		0,000001
Clorofluorocarbonados (CFC)		0,00000002

**Fuente:** (Camilloni y Vera, 2019, p. 1–4).

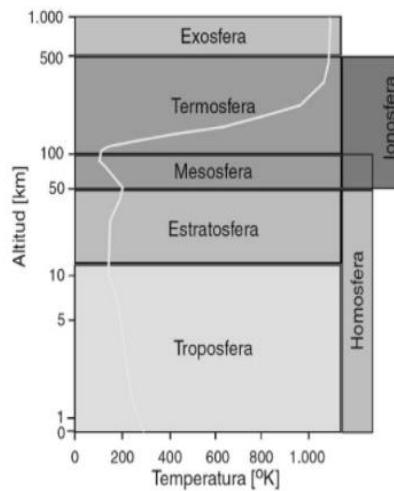
**Realizado por:** Castillo, Luis, 2022.

#### 1.4. Capas de la atmósfera

La atmósfera presenta una estructura vertical compuesta por varias regiones o capas con características que varían según la altitud y la temperatura. La variación de la temperatura con la altura permite definir distintas regiones térmicas de acuerdo con las condiciones globales, promediadas en el espacio y el tiempo (Echeverri, 2019, p. 30).

Los factores que intervienen en la estructura térmica de la atmósfera son muy distintos en cada una de las capas, pero interactúan entre sí debido a la transferencia de energía inherente en cada región y a los procesos conducentes los cuales mantienen un equilibrio térmico promoviendo los movimientos verticales del aire (Echeverri, 2019, p. 30).

Según (Echeverri, 2019, p. 30) las capas de la atmósfera se clasifican en función de la temperatura y la altura a la que se encuentran, entre ellas tenemos:



**Figura 1-1:** Capas de la atmósfera  
**Fuente:** (Echeverri, 2019).

#### ***1.4.1. Tropósfera***

Es la capa más cercana a la superficie terrestre, se extiende en promedio hasta 12 km de altura con un máximo de aproximadamente 19 km en latitudes ecuatoriales y un mínimo de 9 km sobre los polos, esta capa se caracteriza por la disminución de la temperatura a una tasa promedio de 6,5 °C por kilómetro (Camilloni y Vera, 2019 p. 4–7).

La tropósfera tiene un gradiente negativo de temperatura que le da una inestabilidad y una gran turbulencia vertical facilitando la mezcla de los contaminantes. El espesor de la tropósfera oscila en función de la latitud y la época del año, aquí se concentra el 80 % de toda la masa de la atmósfera dando lugar a los fenómenos meteorológicos más relevantes como la formación de nubes y los fenómenos relacionados con la contaminación atmosférica debido a que la mayor parte de los contaminantes atmosféricos van a la tropósfera (Camilloni y Vera, 2019 p. 4–7).

#### ***1.4.2. Estratósfera***

La estratósfera se extiende por encima de la tropósfera hasta los 50 km, aquí se encuentra la capa de ozono la cual actúa como un escudo protector para la Tierra, ya que es la encargada de absorber y dispersar el paso del 99% de los rayos ultravioleta. El 99% del aire de la atmósfera terrestre está localizado en la Tropósfera y en la Estratósfera (Spedding, 2017, p. 13).

La estratósfera no es homogénea debido a que aquí se invierte el gradiente de temperatura, hasta el punto de que, a 60 km, ésta alcanza de 10 a 20° C. Dentro de la estratósfera la mezcla es muy destacada a causa de las fuertes corrientes horizontales de aire y la considerable mezcla vertical. Su contenido de vapor de agua es muy bajo, por lo que en esta capa no se desarrollan los procesos

asociados con la precipitación, pero si es ideal para el vuelo de aviones (Spedding, 2017, p. 13).

#### **1.4.3. Mesósfera**

Se extiende desde los 50 a los 85 km aquí la temperatura disminuye de nuevo con la altura, hasta llegar a los  $-70^{\circ}\text{C}$ . Se cree que la elevación de temperatura en la estratosfera va asociada con la absorción por el ozono de radiación ultravioleta e infrarroja del sol. Como la concentración de ozono en la mesosfera decrece rápidamente con la altura, es probable que el descenso de temperatura en esta capa se deba a la disminución de la absorción de radiación solar por el ozono. En esta capa podemos ver las estrellas fugaces, que son meteoritos que caen a la Tierra y se fragmentan al entrar a la atmósfera (Spedding, 2017 p. 14–16).

#### **1.4.4. Termósfera**

También se la conoce como ionosfera debido a la presencia de iones los cuales promueven el proceso de ionización. La termósfera es la capa más alta de la atmósfera admitida hasta ahora, se extiende desde los 85 km y se caracteriza por un aumento regular de la temperatura en función de la altura. A los 300 km supera los  $1500^{\circ}\text{C}$  este hecho está relacionado con la absorción de radiación solar ultravioleta por el oxígeno y nitrógeno molecular. El aire de la termosfera se ioniza por acción de la radiación solar y las partículas resultantes se disponen en una serie de subcapas, responsables de la reflexión de las ondas de radio (Spedding, 2017, p. 13).

#### **1.4.5. Exósfera**

Es la capa más alta y externa de la atmósfera terrestre, se extiende desde 600 a 1.000 km. A 600 km de altitud aproximadamente, la atmósfera es tan poco densa que son extremadamente raras las colisiones entre las partículas neutras. En esta capa abunda el hidrógeno ionizado y existe una gran pérdida de partículas (protones y electrones) que escapan al espacio exterior, pérdida que se ve compensada por el aporte de partículas en forma de viento solar (Echeverri, 2019, p. 33–34).

### **1.5. Aire**

También conocido como aire ambiente, es cualquier porción no confinada de la atmósfera, y se define como una mezcla gaseosa cuya composición normal es, de por lo menos, veinte por ciento (20%) de oxígeno, setenta y siete por ciento (77%) nitrógeno y proporciones variables de gases inertes y vapor de agua, en relación volumétrica (Ministerio del Ambiente, 2011, p. 1).



El aire es una mezcla de gases que forman la atmósfera, por lo que se encuentra en todas partes, es de gran importancia y necesario para el desarrollo de la vida, permite la existencia del fuego, el sonido, el viento, las nubes, las lluvias. El aire no tiene un volumen definido y es sensible a la temperatura se expande con el calor y se contrae con el frío. Además, es insípido, transparente, inodoro e incoloro en pequeñas cantidades. Pero a distancia, y en grandes volúmenes, se ve de color azul, esto es provocado por la desviación de los rayos solares (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, 2018).

## **1.6. Contaminación atmosférica**

La normativa ecuatoriana de calidad del aire define a la contaminación atmosférica como una alteración del aire causada por cualquier sustancia o material emitido a la atmósfera producto de las actividades naturales y antropogénicas que afecta adversamente al hombre o al ambiente (Ministerio del Ambiente, 2015, p. 2).

Según la (OMS) la contaminación del aire es una de las mayores problemáticas a nivel mundial ya que, más del 90 % de las niñas, niños y adultos mayores en el mundo vive en áreas que exceden los límites permisibles de contaminación, esta contaminación atenta gravemente contra la salud de este sector vulnerable y genera diversas afecciones o enfermedades respiratorias (UNICEF, 2019 p. 8).

## **1.7. Contaminantes atmosféricos**

Los contaminantes del aire son aquellos gases o sustancias que modifican la composición de la atmósfera, afectando la calidad del ambiente. Dichos contaminantes suelen ser clasificados de acuerdo con su origen, a su evolución en la atmósfera y a su estructura (Echeverri, 2019, p. 79).

### ***1.7.1. Según su origen***

Naturales: Los contaminantes naturales comprenden todas las emisiones generadas por la actividad natural de la geosfera, la biosfera, la atmósfera y la hidrosfera (Terradas, 2021 p. 235–236).

Entre ellas tenemos:

- Erupciones volcánicas, una de las principales causas de contaminación, aportan a la atmósfera compuestos de azufre (SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S) y una gran cantidad de material particulado.

- Incendios forestales, si se producen de forma natural emiten altas concentraciones de CO<sub>2</sub>, óxidos de nitrógeno, humo, polvo y cenizas.
- Descargas eléctricas, generadas durante las tormentas dan lugar a la formación de óxidos de nitrógeno al oxidar el nitrógeno atmosférico.

Antropogénicas: Son consecuencia de la presencia y actividades del ser humano. La mayor parte de la contaminación procede de la utilización de combustibles fósiles (carbones, petróleo y gas) (Terradas, 2021 p. 235–236).

Entre ellas tenemos:

- En el hogar, el uso de calefacciones y otros aparatos domésticos que emplean, como fuentes de generación de calor, combustibles de origen fósil.
- En el transporte, los automóviles, trenes, barcos y aviones ocasionan un mayor grado de contaminación debido a la combustión directa de combustibles fósiles. El grado de contaminación provocada dependerá de la clase de combustible utilizado, del tipo de motor, del empleo de catalizadores y de la densidad del tráfico.
- En la industria, el aporte de contaminación al aire depende del tipo de actividad que se realiza las industrias más contaminantes son las centrales térmicas, cementeras, papeleras, cerámicas, textileras y las industrias químicas son las que más contaminan el ambiente.
- En la agricultura y la ganadería, el uso intensivo de fertilizantes genera una gran cantidad de gases contaminantes. Por otra parte, la elevada concentración de ganado vacuno provoca un aumento en la atmósfera de gases de efecto invernadero, como el metano (CH<sub>4</sub>).

### ***1.7.2. Según su evolución***

#### **Contaminantes Primarios**

Son aquellos gases que proceden directamente de las fuentes de emisión, tales como artefactos de calefacción domiciliarios, chimeneas industriales y tubos de escape de automóviles (Ministerio del Medio Ambiente, 2016 p. 16).

#### **Contaminantes Secundarios**

Son aquellos gases que se originan en el aire a raíz de reacciones químicas que pueden ocurrir entre dos o más contaminantes primarios, o entre contaminantes primarios y elementos propios

de la atmósfera (Ministerio del Medio Ambiente, 2016 p. 16).

**Tabla 3-1:** Principales Contaminantes Primarios y Secundarios presentes en el Aire

Contaminantes Primarios	Contaminantes Secundarios
Óxidos de Carbono (CO)	O <sub>3</sub> (Ozono troposférico)
Compuestos Nitrogenados (NO <sub>x</sub> , NH <sub>3</sub> , N <sub>2</sub> O)	Hidrocarburos oxidados
Compuestos Azufrados (SO <sub>x</sub> , SO <sub>2</sub> )	Aerosoles orgánicos secundarios
Material Particulado (MP <sub>10</sub> y MP <sub>2,5</sub> )	Sulfatos
Hidrocarburos	Nitratos
Metales	Material Particulado Secundario

Fuente: (Ministerio del Medio Ambiente, 2016 p. 16).

Realizado por: Castillo, Luis, 2022.

### 1.7.3. Según su estructura

- 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

### 1.7.4. Óxidos de nitrógeno NO<sub>x</sub>

Los óxidos de nitrógeno se definen como una mezcla de gases compuestos por nitrógeno y oxígeno. El término NO<sub>x</sub> se refiere a la combinación de gases como el óxido nítrico y el dióxido de nitrógeno. Las emisiones de NO<sub>x</sub> producidas durante la combustión están formadas por alrededor de un 90-95 % de NO y el resto por NO<sub>2</sub> (García, 2018, p. 52).

Los óxidos de nitrógeno son liberados al aire principalmente por el escape de vehículos motorizados, producto de la combustión del carbón, petróleo, o gas natural. La quema de los

combustibles fósiles, y la generación de  $\text{NO}_x$  depende directamente de la temperatura y la presencia de nitrógeno y oxígeno tanto en el aire ambiente como en el combustible (ATSDR, 2016).

#### **1.7.5. Dióxido de nitrógeno $\text{NO}_2$**

Es un compuesto químico gaseoso de color marrón amarillento formado por la combinación de un átomo de nitrógeno y dos de oxígeno. Es un gas tóxico e irritante. En la naturaleza se produce por los incendios forestales o las erupciones volcánicas. También se produce de forma natural por la descomposición de nitratos orgánicos. El volumen total que se produce de forma natural es infinitamente menor que el que se produce por efecto del hombre. La mayor parte tiene su origen en la oxidación del NO que se produce en la combustión de los automotores (Rodríguez, 2021, p. 1).

##### • Efectos del dióxido de nitrógeno $\text{NO}_2$ en la salud

La exposición continuada  $\text{NO}_2$  puede generar enfermedades de las vías respiratorias, disminución de la capacidad pulmonar, bronquitis aguda, asma y diversos procesos alérgicos en niños y adultos mayores (Rodríguez, 2021, p. 1).

Otros efectos menores que causa el dióxido de nitrógeno es la irritación ocular, de las mucosas y de la piel. Se sabe que las personas con problemas previos de asma o alergias son más susceptibles a sufrir problemas con exposiciones a menor concentración de  $\text{NO}_2$ . Por otra parte, los niños y las mujeres embarazadas son más vulnerables a concentraciones bajas de  $\text{NO}_2$ , altas exposiciones de  $\text{NO}_2$  pueden provocar quemaduras en la epidermis quemazón y enrojecimiento debido a su poder corrosivo. Mientras que elevadas concentraciones de  $\text{NO}_2$  pueden provocar la muerte debido a que este compuesto ataca directamente al sistema respiratorio (Rodríguez, 2021, p. 1).

##### • Efectos del dióxido de nitrógeno $\text{NO}_2$ en el ambiente

El dióxido de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ), al entrar en contacto con el agua, se disuelve en ácido nítrico lo que provoca la lluvia ácida. Cuando las gotas contaminadas caen desde las nubes generan graves perjuicios en el ambiente, causan acidez en las fuentes de agua superficiales, deterioran la capacidad intrínseca de los suelos, la agricultura y la ganadería disminuyen debido a la contaminación y eliminación de microorganismos esenciales en estos ecosistemas (Chuet-Missé, 2017, p. 1).

### **1.7.6. Óxido de azufre $SO_x$**

Los óxidos de azufre son un grupo de gases formados por trióxido de azufre ( $SO_3$ ) y dióxido de azufre ( $SO_2$ ). El más común de los óxidos de azufre es el dióxido de azufre ( $SO_2$ ) ya que, el  $SO_3$  es solo un intermediario en la formación del ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ). La formación de los óxidos de azufre se genera debido a la oxidación del azufre en el combustible durante el proceso de la combustión en motores a diésel (García, 2018, p. 52).

El dióxido de azufre es un gas incoloro y no inflamable, de olor fuerte e irritante. Su vida media en la atmósfera es corta de 2 a 4 días, la mitad de las emisiones vuelven a depositarse en la superficie, mientras que el resto se transforma en iones sulfato ( $SO_4$ ) (PRTR, 2017).

### **1.7.7. Dióxido de azufre $SO_2$**

El dióxido de azufre es un gas formado por un átomo de azufre y dos de oxígeno, es incoloro, irritante y con un olor penetrante perfectamente distinguible a partir de 3 ppm. Su densidad es el doble que la del aire, no es un gas inflamable, ni explosivo y tiene mucha estabilidad, es muy soluble en agua y en contacto con ella se convierte en ácido sulfúrico (Rodríguez, 2020, p. 1).

La principal fuente de emisión de dióxido de azufre a la atmósfera es la combustión de productos petrolíferos y la quema de carbón en centrales eléctricas y calefacciones centrales. Existen también algunas fuentes naturales, como los volcanes (Rodríguez, 2020, p. 1).

#### **• Efectos del dióxido de azufre $SO_2$ en la salud**

El dióxido de azufre es un gas irritante y tóxico, afecta en mayor grado a las vías respiratorias, mucosidades y a los pulmones provocando dificultades respiratorias, ataques de tos debido a su inhalación. La exposición de altas concentraciones durante periodos cortos de tiempo puede irritar el tracto respiratorio, causando bronquitis, reacciones asmáticas, espasmos, paradas respiratorias y congestionar los conductos bronquiales de los asmáticos. La exposición a sulfatos y ácidos derivados del  $SO_2$  generan graves riesgos para la salud ya que éstos pasan directamente al sistema circulatorio humano a través de las vías respiratorias (García, 2018, p. 54).

#### **• Efectos del dióxido de azufre $SO_2$ en el ambiente**

En el ambiente las partículas de dióxido de azufre liberadas por la combustión de combustibles fósiles se combinan con la humedad del aire y forman ácidos sulfúricos estos compuestos son

precursores de la lluvia ácida y son los principales responsables de la destrucción de bosques, vida salvaje y la acidificación de las aguas superficiales (García, 2018, p. 54).

## 1.8. Normativa de la calidad del aire ambiente

La normativa ambiental y la legislación ecuatoriana establece los valores máximos o límites permisibles de concentración de un contaminante en el aire, con el objetivo de salvaguardar la salud y la integridad de los seres vivos y el ambiente, frente a actividades antrópicas con potencial para modificar su calidad, resultantes de los diversos usos del recurso (Ministerio del Ambiente 2015, p. 26).

### 1.8.1. Dióxido de nitrógeno $NO_2$

El promedio aritmético de la concentración de dióxido de nitrógeno, determinado en todas las muestras en un año, no deberá exceder de cuarenta microgramos por metro cúbico ( $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). La concentración máxima en (1) una hora no deberá exceder doscientos microgramos por metro cúbico ( $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) (Ministerio del Ambiente, 2015, p. 55).

### 1.8.2. Dióxido de azufre ( $SO_2$ )

La concentración  $SO_2$  en 24 horas no deberá exceder ciento veinticinco microgramos por metro cúbico ( $125 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), la concentración de este contaminante para un periodo de diez minutos no debe ser mayor a quinientos microgramos por metro cúbico ( $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). El promedio aritmético de la concentración de  $SO_2$  de todas las muestras en un año no deberá exceder de sesenta microgramos por metro cúbico ( $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) (Ministerio del Ambiente, 2015, p. 55).

Dentro la normativa también se han establecido niveles más altos de contaminación recopilados en la siguiente tabla.

**Tabla 4-1:** Concentraciones de contaminantes en el aire para criterios de alerta, alarma y emergencia.

CONTAMINANTE Y PERIODO DE TIEMPO	NIVELES		
	ALERTA	ALARMA	EMERGENCIA
Dióxido de nitrógeno ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) (promedio en una hora)	1000	2000	3000
Dióxido de azufre ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) (promedio en una hora)	200	1000	1800

Fuente: (Ministerio del Ambiente, 2015, p. 56).

## **1.9. Fuentes de emisiones atmosféricas**

Las diversas fuentes de emisiones atmosféricas se clasifican en función de sus características principales. Entre las diferentes fuentes de emisiones podemos distinguir dos grandes grupos las fuentes fijas y las móviles (Porta et al., 2018, p. 63–65).

### **1.9.1. Fuentes fijas**

Son todas las fuentes diseñadas para operar en lugar fijo, que no pierden su condición es decir aquellas que operan en un punto fijo debido a que el foco de emisión no se desplaza en forma autónoma en el tiempo. Ejemplo de este tipo de fuentes son las chimeneas industriales y domésticas (Porta et al., 2018, p. 63–65).

Las fuentes fijas se pueden clasificar, de acuerdo con la envergadura y distribución espacial de las emisiones en:

- Fuente puntual: Un único punto fijo, desde donde los contaminantes pueden emitirse a la atmósfera de forma continua o instantánea. Un ejemplo típico de fuente puntual es una chimenea.
- Fuentes de área: Emisión de los contaminantes atmosféricos desde un área específica, por ejemplo, una ciudad o un incendio forestal. Dentro de un inventario de emisión, las fuentes de área pueden hacer referencia a un país o una región.
- Fuentes de línea: Generalmente se refiere a las emisiones procedentes del transporte a lo largo de una línea, un ejemplo son las emisiones de los vehículos por carretera, ferrocarriles circulando por vías, rutas de aviación, barcos navegando en canales, etc.

### **1.9.2. Fuentes móviles**

Representan a todas las fuentes capaces de desplazarse entre distintos puntos, mediante un elemento propulsor (motor) que genera y emite contaminantes. Las fuentes móviles pueden desplazarse en forma autónoma, emitiendo contaminantes en su trayectoria; este tipo de fuente se constituye por automóviles, trenes, camiones, buses, aviones y barcos, entre otros (Porta et al., 2018, p. 63–65).

En la mayoría de las áreas urbanas, los vehículos automotores son los principales generadores de

los contaminantes atmosféricos debido a que la mayor parte de los sistemas de transporte actual, obtienen su energía por medio de la combustión de combustibles fósiles los cuales originan diversos contaminantes que son emitidos a la atmósfera. Los motores de combustión interna constituyen una de las principales fuentes emisoras de contaminantes atmosféricas tales como CO, hidrocarburos, aldehídos, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, partículas en suspensión, Pb y derivados. La proporción en que se emiten estos contaminantes depende de una serie de factores entre los que se encuentran el tipo de motor, el combustible usado y el estado de mantenimiento del vehículo (Porta et al., 2018, p. 63–65).

## **1.10. Métodos de medición de la calidad del aire ambiente**

Existen diversos métodos y técnicas a través de las cuales se puede medir los contaminantes presentes en el aire, se los puede clasificar de acuerdo con su principio de medición, entre los más utilizados tenemos los métodos de muestreos pasivos, muestreos activos y muestreos con bioindicadores.

### ***1.10.1. Muestreo pasivo***

Este método de muestreo emplea dispositivos capaces de coleccionar un contaminante específico por medio de su adsorción y/o absorción en un sustrato químico seleccionado. Después de su exposición por un periodo adecuado de muestreo, que puede variar desde una hora hasta meses o inclusive un año, la muestra se regresa al laboratorio donde se realiza la desorción del contaminante para ser analizado cuantitativamente. Los equipos utilizados por este método se conocen como muestreadores pasivos que se presentan en diversas formas y tamaños, principalmente en forma de tubos o discos (INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA 2015, p. 17).

#### **Ventajas**

- Bajo costo inicial.
- Facilidad de operación, por ello se colocan diversos muestreadores para determinar la distribución de los contaminantes.
- No requiere energía eléctrica.

(INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA 2015, p. 17).

#### **Desventajas**

- Este tipo de muestreo no es viable para todos los contaminantes.



- El periodo de análisis es limitado en tiempos semanales o mensuales.
- No tienen una gran exactitud sirven más como un valor referencial debido requieren análisis de laboratorio.

(INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA 2015, p. 17).

### ***1.10.2. Muestreo activo***

En este tipo de muestreo es sumamente necesario la energía eléctrica para succionar el aire a muestrear a través de un medio de colección físico o químico. El volumen adicional de aire muestreado incrementa la sensibilidad, por lo que pueden obtenerse mediciones diarias promedio. Los muestreadores activos se clasifican en burbujeadores(gases) e impactadores (partículas); dentro de estos últimos, los más utilizado actualmente son los burbujeadores acidímetros en la identificación y medida de dióxido de azufre, mientras que para dióxido de nitrógeno se utiliza en gran medida el método de Saltzman (INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA 2015, p. 18).

#### **Ventajas**

- Fácil de operar, muy confiables.
- Arrojan datos y valores diarios.
- Permite reconocer tendencias a largo plazo.

(INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA 2015, p. 18).

#### **Desventajas**

- Dependencia de una fuente de energía eléctrica.
- Costos de adquisición y mantenimiento elevado.
- No se pueden apreciar los valores mínimos y máximos durante el día, sólo promedios generalmente de 24 horas; requieren de análisis de laboratorio.

(INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA 2015, p. 18).

### ***1.10.3. Muestreo con bioindicadores***

Dentro de este método se emplean especies vivas generalmente vegetales, donde su superficie sirve como un medio receptor de contaminantes. Sin embargo, no existen guías explícitas y estandarizadas para desarrollado de estos estudios. Las metodologías se establecen en función del análisis que se pretenda realizar, para tener una estandarización y armonización de resultados acorde a lo proyectado (INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA 2015, p. 17).

Se ha mostrado gran interés en el uso de bioindicadores para estimar algunos factores ambientales entre los que se incluye la calidad del aire, particularmente en la investigación de sus efectos. Tal es el caso del uso de la capacidad de la planta para bioacumular contaminantes o la estimación de los efectos de los contaminantes en el metabolismo de las plantas (INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA 2015, p. 17).

### **Ventajas**

- Muy bajo costo económico.
- Muy útiles para identificar la presencia de contaminantes como el NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>.
- Permiten identificar áreas, zonas contaminadas y cambios o alteraciones ambientales en el entorno.

(INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA 2015, p. 17).

### **Desventajas**

- Problemas con la estandarización de las metodologías y procedimientos.
- Algunos requieren análisis de laboratorio.
- Requieren técnicas y equipos sumamente sofisticados para su análisis.

(INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA 2015, p. 17).

#### ***1.10.4. Bioindicadores***

Los bioindicadores son organismos o comunidades de organismos que responden a la contaminación ambiental con modificaciones en su apariencia o acumulando contaminantes. Una buena especie indicadora debe tener baja tolerancia y alta sensibilidad a alteraciones del medio ambiente. Tras la exposición a contaminantes, presentarán primero un deterioro fisiológico, luego cambios morfológicos y, a veces, resultará en la desaparición o aparición de algunas especies en el ecosistema. Dentro de la medición de la calidad del aire se emplean este tipo de organismos para medir principalmente las concentraciones de SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, O<sub>3</sub>, CO, polvo y arena (Jiménez, 2020, p. 8).

#### ***1.10.5. Tipos de bioindicadores***

Los bioindicadores pueden clasificarse en función de varios criterios entre ellos tenemos:

- Según su grado de sensibilidad

Estos muestreos son ampliamente utilizados para la evaluación de la calidad del aire, por su bajo costo y manejo sencillo. Sirven como indicativo de la contaminación, permiten llevar a cabo evaluaciones de tendencias a largo plazo, e identificar zonas de riesgo que deben ser monitoreadas con analizadores automáticos y equipos activos manuales para verificar el cumplimiento de la legislación ambiental (Carrales y Hernández 2019, p. 8).

- Según la forma de Respuesta a los Estímulos:

**Detectores:** Son bioindicadores que ante la presencia de estresores ambientales sufren un aumento en la mortalidad, alteración en la actividad reproductiva y una disminución en su abundancia. Por ejemplo, los líquenes suelen disminuir su abundancia ante contaminantes como SO<sub>2</sub> debido a que éstos dañan al componente fúngico de éstos, rompiendo así la relación simbiótica (González et al., 2017, p. 26).

**Explotadores:** Son bioindicadores que, ante la alteración del medio por perturbaciones ambientales, sufren un crecimiento poblacional explosivo, por lo que su presencia evidencia dicha perturbación. Por ejemplo, el explosivo crecimiento de las algas en aguas eutrofizadas (González et al., 2017, p. 26).

**Acumuladores:** Son bioindicadores que, debido a su resistencia a ciertos contaminantes, pueden acumularlos en sus tejidos en concentraciones que pueden ser medidas sin sufrir un daño aparente. Por ejemplo, en las macroalgas en análisis de aguas residuales (González et al., 2017, p. 27).

**Centinelas:** Son bioindicadores con una fisiología muy sensibles a los contaminantes químicos, patógenos o toxinas, pueden proporcionar una indicación temprana de los posibles efectos adversos para la salud y proporcionar información sobre los mecanismos tóxicos de un agente peligroso dado. Por ejemplo, los canarios eran usados antiguamente por los mineros para detectar la presencia de gases venenosos (González et al., 2017, p. 27).

- Según su Poder de Cuantificación o posibilidad de medición

**Bioindicadores en sentido estricto:** Son especies que, por su presencia, ausencia y abundancia, indican los efectos de un factor ambiental de forma cualitativa; pueden ser tanto positivos, por su presencia y abundancia, como negativos, por su ausencia (Caiza, 2020, p. 13).

**Biomonitores:** Son especies útiles en el análisis de calidad del ambiente ya que, indican la presencia de contaminantes o perturbaciones de forma cualitativa y cuantitativa. Generan

reacciones proporcionales al grado de contaminación o perturbación detectado (Caiza, 2020, p. 13).

#### ***1.10.6. Biomonitorio***

Consiste en realizar una medición, seguimiento, control o estudio empleando organismos y especies biológicas que habiten un ecosistema determinado, con el fin de diagnosticar su estado actual. El uso de variables biológicas es esencial en el biomonitorio, al igual que la búsqueda y selección de un indicador óptimo, cuya presencia, abundancia y comportamiento refleje los efectos de cualquier tipo de perturbación en el ambiente. El biomonitorio es ampliamente utilizado para determinar contaminantes en el aire, agua, suelo y ecosistemas (Peña, et al. 2016, p. 48)

- Tipos de biomonitorio

**Biomonitorio Directo:** Se produce cuando la cantidad de contaminantes es determinada directamente sobre una especie biológica y no sobre el ambiente. Este tipo de biomonitorio se usa cuando no se conoce exactamente los puntos de contaminación (Peña, et al. 2016, p. 49).

**Biomonitorio Indirecto:** Se produce cuando la cantidad de contaminantes es determinada a través de los cambios físicos o alteraciones visibles y medibles que presenta la especie biológica analizada. Los resultados del estudio dependen mucho del grado de absorción, bioacumulación y resistencia de la especie empleada (Peña, et al. 2016, p. 49).

#### ***1.10.7. Biomonitorio por briofitas***

En la actualidad se ha promovido un desarrollo global en la aplicación de organismos biológicos como medidores de la contaminación ambiental, el Ecuador es uno de los países pioneros de Sudamérica en la aplicación de monitoreos ambientales con especies biológicas. El monitoreo con briofitas genera datos cualitativos y cuantitativos permitiendo medir la toxicidad y la concentración de un contaminante dentro del entorno ambiental que se desarrolla debido a la amplia capacidad bioacumuladora que presentan estas especies (Samaniego, 2020).

Gracias a la aplicación de estos biomonitores se ha podido analizar la calidad del aire de diversos sectores afectados por contaminantes atmosféricos como el NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, logrando establecer políticas de conservación, y regulación en base a los resultados obtenidos. Dentro del aspecto económico esta técnica también es un 50% menos costosa que otras técnicas de monitoreo de contaminantes ambientales por lo que su replicación es favorable (Samaniego, 2020).

### 1.10.8. Briófitas

Son plantas sin haces vasculares, se caracterizan por no tener tejidos para el transporte de minerales, agua y nutrientes. Al carecer de estos mecanismos los nutrientes son absorbidos por toda la superficie de la planta y, en lugar de crecer verticalmente, se extienden sobre la superficie de los árboles, rocas y suelos. La mayor parte de briófitas son musgos y son ampliamente empelados como medidores de la contaminación debido a su alto grado de absorción de contaminantes atmosféricos ya que, en su estructura retiene este tipo de sustancias y pueden ser procesadas para su posterior análisis (Samaniego, 2020).

Las briofitas son el segundo grupo de plantas terrestres más diversas del mundo después de las angiospermas, estas plantas cuentan con excelentes cualidades regenerativas ya que, tienen la capacidad de revivir después de la hidratación, debido a estas características sin igual son cruciales en la transición a tierra de la vida fotosintética, su ciclo de vida es una transición entre el ciclo de vida de las algas y el de las plantas vasculares, son organismos de vida libre y autotróficos (Cabaña y Ellena, 2015, p. 3).

- Metzgeriaceae

Son plantas que carecen de hojas, individualmente presentan una forma rectangular muy similar a cintas de color verde, en conjunto forman una red muy espesa similar a un tapete taloso estas plantas crecen en ambientes parcial o completamente protegidos por vegetación vascular, pueden desarrollarse sobre el suelo, la corteza de los árboles e incluso sobre la superficie de las rocas (Álvaro, et al. 2019, p. 49–61).

**Tabla 5-1:** 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>Genero:</b>	<i>Metzgeria</i>

Fuente: (GBIF Secretariat, 2021).

Realizado por: Castillo, Luis, 2022.



**Figura 2-1:** Briofitas de la especie *Metzgeriaceae*.  
**Fuente:**(GBIF Secretariat, 2021).

- *Rhaphidorrhynchium*

Es un tipo de musgo el cual presenta un color verde intenso y una forma curvilínea alargada, estas plantas son rastreras y pueden crecer en el suelo o también pueden desarrollarse en la superficie de los árboles, una forma de identificar este tipo de briofitas es a través de sus hojas falcadas (Noriega, 2008, p. 12).

Esta especie presenta un alto grado de retención de agua y de auto hidratación, se localiza ampliamente en toda la zona central de los Andes ecuatorianos y son muy empleados como biomonitores.

**Tabla 6-1:** Taxonomía de la especie *Rhaphidorrhynchium*

<b>Dominio:</b>	<i>Eukaryota</i>
<b>Reino:</b>	<i>Plantae</i>
<b>Filum:</b>	<i>Bryophyta</i>
<b>Clase:</b>	<i>Bryopsida</i>
<b>Orden:</b>	<i>Hypnales</i>
<b>Familia:</b>	<i>Sematophyllaceae</i>
<b>Genero:</b>	<i>Rhaphidorrhynchium</i>

**Fuente:** (NaturalistEc 2014).

**Realizado por:** Castillo, Luis, 2022.



**Figura 3-1:** Briofitas de la especie *Rhabdorrhynchium*  
**Fuente:** (Noriega et al. 2008, p. 18).

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO METODOLÓGICO

#### 2.1. Localización del proyecto

El proyecto se desarrolló en el sector del Mercado Mayorista del cantón Ambato, situado en el centro de la urbe.

#### 2.2. Lugar de estudio

El Mercado Mayorista del cantón Ambato perteneciente a la provincia de Tungurahua el cual se encuentra ubicado en las coordenadas 765588,8 m E y 9859565,4 m N, entre tres avenidas la primera es la Av. Tres Carabelas y las otras dos son la Av. Julio Jaramillo y la Av. El Cóndor. El Mercado Mayorista de Ambato se constituye como el centro de acopio más grande del centro del país, diariamente recibe un sin número de vehículos y transeúntes debido a que él se comercializan diversos productos agroalimentarios y de consumo masivo a gran escala (EP-EMA, 2021, p. 28).



**Figura 4-2:** Mercado Mayorista del Cantón Ambato.  
Realizado por: Castillo, Luis, 2022.

#### 2.3. Cuantificación de la muestra

##### 2.3.1. Método de muestreo

El método de muestreo empleado en el estudio fue un muestreo aleatorio simple empleando la herramienta Google Earth para determinar los puntos de monitoreo al azar. Los puntos de



monitoreo abordaron las zonas donde existe mayor concentración de vehículos y personas. En estas zonas se determinaron las concentraciones de contaminantes atmosféricos a través de los biomonitores durante un lapso establecido, una vez terminado el lapso de muestreo se trasladaron los biomonitores hacia el laboratorio para su posterior análisis.

### 2.3.2. *Tamaño de la muestra*

El tamaño de la muestra para el sector se definió en 22 puntos de monitoreo distribuidos alrededor del lugar de estudio en cada uno de ellos se instauró 1 biomonitor de cada especie al mes.

### 2.3.3. *Periodo de muestreo*

El análisis de contaminantes con briofitas tuvo un lapso de evaluación de dos meses, considerando que las briofitas se evaluaron cada mes por tanto se lograron recolectar 88 muestras de briofitas en el lapso de dos meses que duro el estudio.



**Figura 5-2:** Puntos de Monitoreo de NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>.

Realizado por: Castillo, Luis, 2022.

**Tabla 7-2:** Puntos de Monitoreo de NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>

Puntos	Coordenada Este m	Coordenada Norte m
1	765526,9	9859534,7
2	765805,1	9859350,1
3	765341,3	9859504,2

4	765279,3	9859381,3
5	765465	9859473,3
6	765434,2	9859657,7
7	765743,6	9859780,4
8	765805,3	9859657,4
9	765805,1	9859442,3
10	765403	9859411,9
11	765310,3	9859473,5
12	765619,5	9859381
13	765588,7	9859504
14	765650,7	9859688,3
15	765774,4	9859626,7
16	765743,3	9859442,4
17	765433,9	9859319,7
18	765465,1	9859596,3
19	765434,1	9859504,1
20	765774,3	9859534,5
21	765526,8	9859442,6
22	765341,3	9859565,6

Realizado por: Castillo, Luis, 2022.

#### 2.4. Técnicas de recolección de datos

La metodología empleada para el compendio de datos por parte de los biomonitores se dividió en cinco fases cronológicas puntuales: En la primera fase se recolectaron muestras de cada una de las diferentes especies de briofitas de los lugares preestablecidos para su recolección. En la segunda fase, se prepararon y acondicionaron los biomonitores en el laboratorio a fin de preservarlos y mantenerlos en buenas condiciones. En la tercera fase, los biomonitores fueron sometidos a pruebas de tolerancia y bioacumulación para determinar las especies más idóneas para el estudio. Una vez finalizada la tercera fase se determinó las especies idóneas para el estudio en función de los resultados conseguidos. En la cuarta fase se instauraron los biomonitores elegidos en la zona de estudio y posteriormente se los recolecto según el lapso de análisis establecido. Por último, en la quinta fase se evaluaron las diferentes muestras de briofitas recopiladas mediante pruebas de laboratorio y espectrofotometría UV-visible a fin de determinar la concentración de contaminantes atmosféricos.

## 2.5. Bioanálisis con Briofitas

### 2.5.1. Selección de los lugares para la recolección de las briofitas

Analizando las características y aspectos morfológicos de las briofitas se procedió a delimitar posibles zonas de recolección estas zonas presentaban altos niveles de humedad y frecuente precipitación por lo que se constituyen lugares idóneos para recolectar diversos tipos de briofitas.

Las primeras muestras de briofitas fueron recolectadas en el sector rural denominado Rio-Negro, el sector es aledaño al cantón Baños y presenta una gran abundancia de flora y especies vegetales, específicamente las briofitas fueron extraídas en las siguientes coordenadas 812745,9 m E y 9844178,7 m N, con una latitud de -1,408055 y una longitud de -78,189722.



**Figura 6-2:** Primer lugar de recolección de Briofitas.

Realizado por: Castillo, Luis, 2022.

Las segundas muestras de briofitas fueron recolectadas en una amplia zona herbácea de la parroquia Quisapincha perteneciente al cantón Ambato ubicado a 760642,2 m E y 9861813,1 m N, con una latitud de -1,249166 y una longitud de -78,657777.



**Figura 7-2:** Segundo lugar de recolección de Briofitas.  
**Realizado por:** Castillo, Luis, 2022.

Para la recolección de las muestras de briofitas se requirió un recipiente plástico hermético transparente de gran capacidad y estéril para almacenar las muestras. La recopilación de las briofitas se llevó a cabo mediante una pequeña ruptura la cual permitió separar la superficie neta de las briofitas de las cortezas de los árboles, de las ramas o del suelo preservando el esporófito de cada especie, durante la extracción se utilizó guantes a fin de soslayar alteraciones en las muestras y preservar sus propiedades naturales ya que, según (Cires 2018, p. 2) instaurar que se debe recolectar las muestras de briofitas sin alterar sus propiedades autóctonas y con su respectivo esporófito ya que, esta característica fisionómica particular permite identificar y diferenciar cada una de las especies de briofitas de una manera más rápida y precisa.

Las diferentes especies de briofitas recolectadas en este proyecto fueron evaluadas y caracterizadas detenidamente en función de sus rasgos físicos y morfológicos. Por medio de un análisis minucioso de la textura física, estructura, dimensión, color y características propias de cada una de las especies se realizó una contrastación directa con diversas fuentes de información bibliográfica a fin de encauzar el tipo de especie propio de cada una de las briofitas recolectadas.

### **2.5.2. Pruebas de tolerancia y bioacumulación de contaminantes**

Para identificar las especies de briofitas más idónea para el estudio de la determinación de contaminantes atmosféricos se realizaron diferentes pruebas de tolerancia a contaminantes atmosféricos, en función de la capacidad de absorción, bioacumulación y subsistencia que

presente cada una de las muestras de briofitas.

Las pruebas de tolerancia se efectuaron con la ayuda de un biorreactor plástico hermético en el cual se instalaron de manera simultánea todas las especies de briofitas recopiladas para su análisis se estableció la siguiente guía metodológica:

#### Materiales

- Tubo plástico flexible de 25 cm de longitud
- Kitasato de 250 mL con corcho
- Biorreactor sellado herméticamente

#### Equipos

- Reverbero
- Cámara de extracción de gases
- Estufa

#### Reactivos

- Azufre
- Cobre
- Ácido nítrico

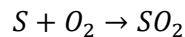
Metodología de inyección directa de contaminantes a las briofitas:

- Inicialmente se segmentaron diferentes compartimientos internos en el biorreactor para albergar las especies de briofitas.
- Se procedió a cortar un pequeño segmento a extremo del biorreactor incorporando un tubo plástico flexible al sistema para transportar los gases.
- Una vez adecuado el biorreactor incorporamos las briofitas recolectadas dentro del biorreactor y se lo selló herméticamente.
- En el extremo del tubo plástico flexible se instauró el Kitasato, y en la parte inferior del mismo el reverbero para producir calor y favorecer la reacción.

#### Prueba de tolerancia de SO<sub>2</sub>:

- En una balanza analítica adicionamos 0,70 g de Azufre y lo vertimos en el Kitasato previamente armado (Fonseca 2021, p. 30).
- Se verificó que no existan fugas de aire en el equipo previamente armado y en cada uno de los extremos del tubo plástico flexible (Fonseca 2021, p. 30).
- La temperatura del Kitasato con el azufre de ser alta a fin de disolver el azufre, hasta el momento en el que empezó a salir humo de color naranja, el cual fue conducido desde el Kitasato hasta el biorreactor a través de un tubo plástico flexible que los interconectaba para producir un contacto directo entre las briofitas y el gas. Una vez verificado que el azufre se haya consumido por completo y que ya no exista presencia de humo se debe desprender el tubo plástico flexible del Kitasato utilizado y posteriormente cerrar el orificio del tubo plástico flexible para soslayar la salida de contaminantes (Fonseca 2021, p. 30).
- Esta prueba se la realizo durante 5 días y se usaron 0,25 g de azufre en el día uno de evaluación, para el segundo día y los días posteriores se duplico la cantidad de azufre paulatinamente en función de los días de prueba (Fonseca 2021, p. 30).

#### Ecuación de Generación de SO<sub>2</sub>



(Ecuación 1-2)

- Durante los días de evaluación se generaron diversos productos de SO<sub>2</sub> en función de los reactivos inicialmente consumidos, originando 190,228 mL de SO<sub>2</sub> en el día uno, el día dos 379,456 mL, en día tres 760,584 mL, el día cuatro y cinco se originó 1519,990 mL y 3701,140 mL de SO<sub>2</sub> respectivamente (Fonseca 2021, p. 30).
- Al dejar el azufre a elevadas temperaturas o a una fuente de calor constante se oxida y genera SO<sub>2</sub> (INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO, 2014, p. 2).

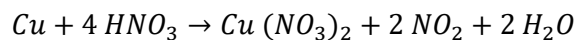
#### Prueba de tolerancia de NO<sub>2</sub>:

- La prueba se realizó inmediatamente después de finalizar la prueba de tolerancia a SO<sub>2</sub>, para realizar esta prueba se conectó el extremo del tubo plástico flexible al nuevo Kitasato, verificando

que no exista salida de aire (Fonseca 2021, p. 31).

- Se adiciono 0,70 g de cobre en el Kitasato y a su vez se adiciono 1 mL de ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) generando una reacción repentina con desprendimiento de humo y gases (Fonseca 2021, p. 31).
- Al entrar en contacto estos dos reactivos reaccionaron rápidamente y generaron un gas de color pardo-rojizo que fue conducido a través del tubo plástico flexible hasta el biorreactor para entrar en contacto con las briofitas. La reacción del cobre en estado sólido con el ácido nítrico en estado líquido genera dióxido de nitrógeno en forma de gas (García, 2010, p. 144).
- Esta prueba se realizó durante 5 días y se usaron 0,70 g de cobre y 1 mL de ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) en el primer día de evaluación, para el segundo día se duplico el valor inicial es decir se trabajó con 1,4 g de cobre y 2 mL de ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ), el tercer día se trabajó con 2,1 g de cobre y 3 mL de ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) para el resto de los días se siguió incrementado el valor paulatinamente en función del lapso de evaluación (Fonseca 2021, p. 30).

Ecuación de Generación de  $\text{NO}_2$



(Ecuación 2-2)

- En la reacción se observa el proceso generativo de 360,112 mL de  $\text{NO}_2$  el día uno, el día dos se generó 745,261 mL, el día tres se generó 1100,977 mL  $\text{NO}_2$ , en el día cuatro y cinco se generó 1480,520 mL y 1890,115 mL de  $\text{NO}_2$  (Fonseca 2021, p. 30).
- La simulación controlada de contaminantes atmosféricos permitió que las briofitas entre en contacto con diferentes concentraciones de azufre, cobre y ácido nítrico para producir contaminantes atmosféricos como el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre simulando el ambiente que se pretendía analizar en el estudio, estas pruebas fueron necesarias para determinar la capacidad de absorción de contaminantes, la tolerancia y la resistencia de cada especie de briofitas y seleccionar las más adecuadas para el estudio (Fonseca 2021, p. 30).

Análisis de concentración de contaminantes

El análisis se lo realizo con el propósito de constatar la capacidad de absorción y retención de

contaminantes que presentan las briofitas o especies vegetales, en base a la siguiente técnica se logró diferenciar los tipos de briofitas recopilados.

#### Materiales

- 10 Erlenmeyer de 100 mL
- 10 balones aforados de 50 mL
- Reverbero
- 3 pipetas volumétricas de 5 mL
- Pera de succión
- Piseta
- Tenacillas metálicas
- Guantes y mascarilla de gases

#### Reactivos

- Ácido nítrico
- Ácido clorhídrico
- Peróxido de hidrogeno al 30%
- Agua destilada

#### Equipos

- Cámara extractora de gases
- Espectrofotómetro UV-Visible
- Estufa

#### ***2.5.3. Metodología para analizar las muestras de briofitas***

- Una vez finalizados los procesos anteriores se recopiló las muestras de briofitas contaminadas del biorreactor en bolsas de plástico con sistema hermético, se las codifico para diferenciar cada especie de briofitas y se las mantuvo en refrigeración hasta el momento de tratar las muestras.
- Se pesaron 600 miligramos de cada muestra en la balanza analítica y se los deshidrato a fin de reducir su humedad durante un lapso de cinco horas en la estufa a 80°C.



- Se adicionó la primera briofita recopilada dentro del Erlenmeyer de 100 mL, a la par se incorporó 10 mL de ácido nítrico y se procedió alzar la temperatura del reverbero para diluirlo por completo.
- Se mantuvo niveles altos de temperatura en la muestra hasta cuando la solución se tornó de color marrón.
- Se quitó el Erlenmeyer de la estufa y se dejó reposar la solución por un lapso de cinco minutos, seguidamente se agregó 5 mL de ácido nítrico.
- Se sometió la muestra nuevamente a altos niveles de calor de modo que la solución se tornó de color marrón.
- Se quitó el Erlenmeyer del calor y se lo dejó enfriar, después de ello se incorporó nuevamente 2 mL de ácido nítrico.
- Se sometió nuevamente la muestra a altos niveles de calor de modo que disminuya un 50% del volumen de la solución.
- Una vez finalizado el paso anterior se promovió una reacción aclarativa incorporando 2 ml de peróxido de hidrogeno al 30%.
- La solución obtenida disminuyó su temperatura y se incorporó lentamente 2 mL de ácido clorhídrico, se sometió nuevamente la solución a elevadas temperaturas hasta volatilizar el 50% de la misma.
- La solución resultante fue trasladada a un balón de aforo y con agua ultrapura se aforó a 50 mL.
- Por último, se transfirió la solución tratada a tubos de ensayo estériles de 12 mL a continuación, los niveles de contaminación en las briofitas fueron cuantificados en base a cada una de las longitudes de onda.
- Para cuantificar la absorbancia en  $\text{NO}_2$  la longitud de onda establecida fue de 540 nm, de modo que para  $\text{SO}_2$  fue de 571 nm (Fonseca 2021, p. 34).
- La cuantificación de la absorbancia en las diferentes especies de briofitas permite evaluar la

capacidad de bioacumulación de contaminantes, la tolerancia y la resistencia de cada especie (González, 2018, p. 51).

#### **2.5.4. Estructuración de briofitas para el bioanálisis de $NO_2$ y $SO_2$ en el aire ambiente**

- Recolección y exposición de biomonitores

Los organismos de bioevaluación fueron briofitas a la especie *Metzgeriaceae*, y de la especie *Rhaphidorrhynchium*. Se utilizaron estas especies de briofitas debido a los favorables resultados obtenidos en las pruebas de tolerancia y el análisis espectrofotométrico que demostró que estas especies fueron las que mayor cantidad de contaminantes atmosféricos absorbieron del aire ambiente, además estas especies presentaron una excelente capacidad de adaptación al entorno por lo que se eligieron como las más idóneas para ser empleadas en el proyecto.

Para empezar, se lavaron ligeramente las muestras de briofitas recolectas con agua ultra pura en lapsos de 5, 10 y 15 minutos para retirar los residuos de sustrato que pudieran estar adheridos en la superficie de las briofitas. Previamente también se elaboraron pequeñas bolsitas de malla de tela de 10cm de largo y 7 cm de ancho para almacenar las muestras. Posteriormente con ayuda de una balanza analítica se pesó 2000 miligramos de la muestra de briofita que anteriormente había sido desinfectada y las acomodamos en las bolsas de tela. Para el transporte de las muestras hasta el lugar de monitoreo se instauraron las bolsas de tela con briofitas en contenedores estériles herméticos, promoviendo un ambiente libre de alteraciones. Por último, se acomodaron cada uno de los biomonitores en los puntos de muestreo previamente definidos a una altura de 2,5 metros en referencia al nivel del suelo (Poblano 2013, p. 33–34).

Una vez finalizado el lapso de monitoreo que fue de un mes se retiraron cada uno de los biomonitores distribuidos en los diferentes puntos de muestreo, se lo codificaron y se los almacenaron nuevamente en bolsas plásticas herméticas y estériles hasta ser transportados nuevamente al laboratorio para sus posteriores análisis.

#### **2.5.5. Cálculos para la obtención de la concentración de contaminantes en biomonitores**

Para determinar la concentración de contaminantes atmosféricos se obtuvo primero las absorbancias de cada una de las muestras de briofitas, con estos valores se pudo aplicar una serie de ecuaciones que se utilizan tanto para los métodos biológicos como para los métodos químicos y se describen a continuación:

### 2.5.6. Análisis para biomonitores de Dióxido de nitrógeno NO<sub>2</sub>

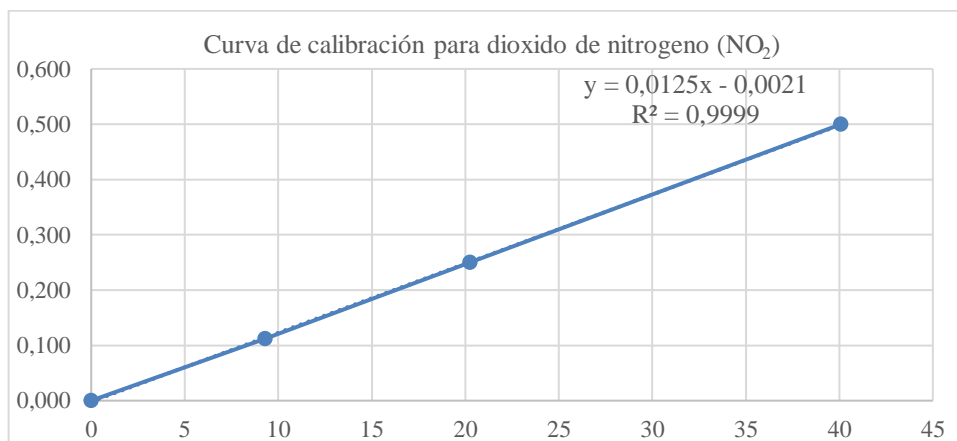
Método de obtención de la concentración de NO<sub>2</sub> (µg/m<sup>3</sup>) en los biomonitores

Se utilizó la curva de calibración para relacionar las absorbancias con la concentración de nitrato obtenidas en cada una de las muestras de briofitas. Los valores para generar la curva de calibración fueron los siguientes:

**Tabla 8-2:** Datos utilizados para la curva de calibración de NO<sub>2</sub> en Biomonitores

Volumen (mL)	Concentración de Nitritos en la Briofita (µg/m <sup>3</sup> )	Absorbancia a 540 (nm)
20	40,095	0,50
10	20,254	0,25
5	9,302	0,112
0	0	0

Realizado por: Castillo, Luis, 2022.



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

Realizado por: Castillo, Luis, 2022.

Concentración de NO<sub>2</sub>

Para determinar la concentración de nitratos en la muestra, se utilizó una regla de tres que relaciona la absorbancia obtenida en la muestra con la curva de calibración previamente construida (Bermeo y Vega 2018, p. 37).

$$C2(\mu g/ml) = \frac{C1 + Abs\ 2}{Abs\ 1}$$

(Ecuación 3-2)

Donde

- $C2$  ( $\mu\text{g/mL}$ ) = Concentración de nitritos en la briofita.
- $C1$  ( $\mu\text{g/mL}$ ) = Concentración de la absorbancia de la curva de calibración para  $\text{NO}_2$ .
- $Abs\ 1$  = Absorbancia correspondiente a la curva de calibración para  $\text{NO}_2$ .
- $Abs\ 2$  = Absorbancia obtenida de la muestra.

Masa de Nitritos

Para calcular la masa de nitritos se utilizó la siguiente fórmula que emplea el valor de concentración calculado anteriormente (Bermeo y Vega 2018, p. 38).

$$m_{NO_2} = C2 * V_{RX}$$

(Ecuación 4-2)

Donde

- $m_{NO_2}$  ( $\mu\text{g}$ ) = Masa de nitritos.
- $C2$  ( $\mu\text{g/mL}$ ) = Concentración de nitritos en el tubo.
- $V_{RX}$  ( $\text{mL}$ ) = Volumen de los reactivos de color añadidos.

Concentración de  $\text{NO}_2$  en el ambiente

Por último, se determinó la concentración de  $\text{NO}_2$  en el ambiente y para ello se utilizó la ecuación 5-2:

$$C_{NO_2} = \frac{m_{NO_2} * L}{D_{12} * t * A}$$

(Ecuación 5-2)

Donde

- $C_{NO_2}$  ( $\mu\text{g/m}^3$ ) = Concentración ambiente de  $\text{NO}_2$ .
- $m_{NO_2}$  ( $\mu\text{g}$ ) = Masa de nitritos.
- $L$  (m) = Longitud de tubo usado para el muestreo.
- $D_{12}$  ( $\text{m}^2/\text{s}$ ) = Coeficiente de difusión del  $\text{NO}_2$ -Aire.
- $t$  (s) = Tiempo de muestreo.
- $A$  ( $\text{m}^2$ ) = Área transversal del tubo

### 2.5.7. Análisis para biomonitores de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>)

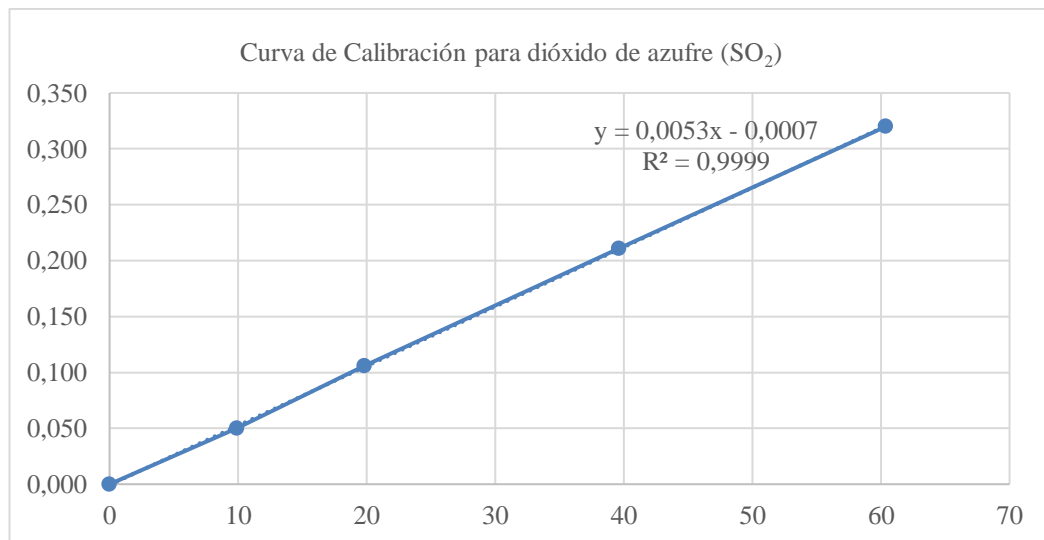
- Método de obtención de la concentración de SO<sub>2</sub> (µg/m<sup>3</sup>) en los biomonitores

Se utilizó la curva de calibración para relacionar las absorbancias obtenidas con la concentración de sulfatos en cada una de las muestras de briofitas. Los valores para generar la curva de calibración fueron los siguientes:

**Tabla 9-2:** Datos utilizados para la curva de calibración de SO<sub>2</sub> en Biomonitores

Volumen (mL)	Concentración de Nitritos en la Briofita (µg/m <sup>3</sup> )	Absorbancia a 571 (nm)
40	60,396	0,320
20	39,642	0,211
10	19,830	0,106
5	9,925	0,05
0	0	0

Realizado por: Castillo, Luis, 2022.



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

Realizado por: Castillo, Luis, 2022.

### Concentración de SO<sub>2</sub>

Para determinar el contenido de sulfatos en la briofita se utilizó la ecuación 6-2, los valores de la curva de calibración de dióxido de azufre y la absorbancia obtenida en la muestra (Bermeo y Vega 2018, p. 40).

$$C2(\mu\text{g}/\text{ml}) = \frac{C1 + Abs\ 2}{Abs\ 1}$$

(Ecuación 6-2)

Donde

- $C2$  ( $\mu\text{g}/\text{mL}$ ) = Concentración de sulfatos en la briofita.
- $C1$  ( $\mu\text{g}/\text{mL}$ ) = Concentración en la absorbancia de la curva de calibración para  $\text{SO}_2$ .
- $Abs\ 1$  = Absorbancia correspondiente a la curva de calibración para  $\text{SO}_2$ .
- $Abs\ 2$  = Absorbancia obtenida de la muestra.

Masa de Sulfatos

Para calcular la masa de sulfatos se utilizó la siguiente fórmula que emplea el valor de concentración calculado anteriormente (Bermeo y Vega 2018, p. 41).

$$m_{\text{SO}_2} = C2 * V_{RX}$$

(Ecuación 7-2)

Donde

- $m_{\text{SO}_2}$  ( $\mu\text{g}$ ) = Masa de sulfatos
- $C2$  ( $\mu\text{g}/\text{mL}$ ) = Concentración de nitritos en el tubo
- $V_{RX}$  ( $\text{mL}$ ) = Volumen de los reactivos de color añadidos

Concentración de  $\text{SO}_2$  en el ambiente

Por último, se determinó la concentración de  $\text{SO}_2$  en el ambiente y para ello se utilizó para ello la ecuación 8-2:

$$C_{\text{SO}_2} = \frac{m}{Q_k * t} * 10^6$$

(Ecuación 8-2)

Donde

- $C_{\text{SO}_2}$  ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) = Concentración ambiente de  $\text{NO}_2$ .
- $m$  ( $\mu\text{g}$ ) = Masa de sulfatos.
- $Q_k$  ( $\text{m}^3/\text{min}$ ) = Valor de frecuencia de muestreo que corresponde a  $119\ \text{m}^3/\text{min}$ .

- t (min) = Tiempo de exposición.

#### Corrección de Resultados

Según los parámetros legales establecidos por Ministerio del Ambiente Ecuatoriano dentro de su normativa aprueba reglas generales para regular la concentración de contaminantes estándar en el aire ambiente en base a la temperatura promedio y la presión promedio de la localidad durante el lapso de muestreo dichos parámetro se visualizan en la sección 4.1.2 del Registro Oficial edición Especial N°. 387:

Para cuantificar las concentraciones de contaminantes del aire ambiente deberán primero someterse a un proceso correctivo en función de las condiciones meteorológicas de la zona de estudio en la que se efectúen dichas mediciones, para lo cual se utilizará la ecuación 9-2 (Ministerio del Ambiente 2015, p. 55):

$$C_C = C_a * \frac{760 \text{ mm Hg}}{P_{prom}} * \frac{T_{prom}}{298 \text{ } ^\circ K}$$

(Ecuación 9-2)

Donde

- Cc ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) = Concentración corregida.
- Ca ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) = Concentración observada.
- Pprom= Presión atmosférica promedio local.
- Tprom= Temperatura promedio local.

#### **2.5.8. Datos correctivos para las concentraciones de contaminantes NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> en la zona de estudio**

Para instaurar la concentración real de contaminantes en el aire ambiente se deben corregir los datos obtenidos de acuerdo con los datos meteorológicos registrados en la zona donde se realizó el estudio, en base a ello se recopilamos todos los datos de presión y temperatura de la localidad durante el lapso donde se realizó el muestreo. Los diferentes datos y variables meteorológicas se obtuvieron a través de la estación meteorológica Aeropuerto-Ambato, una vez obtenidos estos datos se la media mensual para obtener una bioevaluación más precisa los datos se recopilamos en la tabla 10-2.

**Tabla 10-2:** Datos meteorológicos de la zona de estudio

Semana	Temperatura (° K)	Presión (mm Hg)
1	287,579	541,900
2	288,006	541,900
3	288,644	541,900
4	288,173	541,900
5	287,850	541,900
6	288,850	541,900
7	288,870	541,900
8	287,587	541,900

Realizado por: Castillo, Luis, 2022.

### 2.5.9. *Elaboración de mapas temáticos*

Una vez definidas cuantitativamente las concentraciones de cada uno de los contaminantes se usó el programa ArcGIS para obtener una representación visual de la contaminación atmosférica generada en la zona y las distintas concentraciones de contaminantes atmosféricos NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> en los 22 puntos de análisis distribuidos aleatoriamente en toda la zona de estudio. Para ello como punto de partida fue necesario recopilar en un Excel con todos los datos obtenidos, de las concentraciones de NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>, los datos meteorológicos de la zona de estudio y las coordenadas debidamente georreferenciadas de cada uno de los puntos de muestro tanto para los biomonitores de la especie *Metzgeriaceae* como para los de la especie *Rhaphidorrhynchium* (Nieto, 2019, p. 40).

Después de recopilamos todos los datos necesarios en el sistema en Excel los incorporamos en el programa ArcGIS para empezar el análisis. Para ello debemos delimitar toda la zona de estudio en la que vamos a trabajar con la ayuda de un mapa georreferenciado el cual permitirá delimitar los puntos dentro de la zona de análisis, el mapa se lo extrajo con la ayuda de la base de datos topográficos Open Street Map. Una vez descargado el mapa empleamos la herramienta Spatial Analyst Tools en Interpolation y Kriging o IDW para producir un entrelazamiento controlado en función de las diferentes concentraciones de contaminantes generando un mapa con diversas tonalidades que muestran la distribución de los contaminantes en toda la zona de análisis. Se elaboró un mapa por cada contaminante atmosférico analizado en función de la especie de biomonitor empleado y de las concentraciones promedio finales obtenidas durante el lapso de muestreo (Nieto, 2019, p. 40).



## CAPÍTULO III

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

#### 3.1. Identificación de especies

A través de los estudios ejecutados por (Noriega, 2008, p. 9–17) y estudios ejecutados por (Toapanta, 2011, p. 3–8) se logró obtener indicios de la distribución de las briofitas en cada una de las regiones y provincias del Ecuador y de igual manera se logró determinar una técnica y una metodología estándar para el tratamiento y manejo de este tipo de biomonitores. En base a estos estudios se construyeron las primeras bases y puntos de partida para la recolección, tratamiento y análisis de las briofitas empleadas como monitores biológicos, los estudios revelaron que la mayor parte de las especies de briofitas crecen en los bosques y zonas húmedas.

Una vez determinada las posibles zonas de recolección de las especies de briofitas se procedió a su extracción, en la primera zona se visualizó una gran cantidad de especies vegetales propias del lugar. De la primera zona de recolección se obtuvieron cinco tipos de briofitas de diferente especie, del segundo lugar de recolección se obtuvieron tres tipos de briofitas. Cada una de las especies de briofitas presentaban diversas características particulares propias, variaban en tamaño forma y color por lo que se debió analizar minuciosamente sus propiedades morfológicas para determinar a qué especie pertenecía cada una de ellas.

#### 3.2. Tipos de briofitas recogidas

**Tabla 11-3:** Tipos de Briofitas Foráneas

Codificación	Tipo de Briofita	Especie
A1	Musgo	<i>Bryum socorrense</i>
B1	Hepática	<i>Metzgeriaceae</i>
C1	Hepática	<i>Bazzania breuteliana</i>
D1	Musgo	<i>Breutelia trianae</i>
E1	Musgo	<i>Squamidium leucotrichum</i>

Realizado por: Castillo, Luis, 2022.

**Tabla 12-3:** Tipos de Briofitas Nativas

Codificación	Tipo de Briofita	Especie
A2	Musgo	<i>Breutelia tomentosa</i>

B2	Musgo	<i>Brachythecium prasophyllum</i>
C2	Musgo	<i>Rhaphidorrhynchium</i>

Realizado por: Castillo, Luis, 2022.

### 3.3. Pruebas de tolerancia en briofitas

Antes de desarrollar las pruebas de tolerancia y sensibilidad en los monitores biológicos expuestos a contaminantes atmosféricos es necesario primero determinar la cantidad exacta de reactivos para la generación de estos contaminantes:

#### 3.3.1. Cálculo para la concentración de generación de $NO_2$ y $SO_2$

Para determinar la cantidad precisa de reactivos necesarios para la generación de contaminantes atmosféricos como el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre se realizó un balance de ecuaciones químicas empleando los reactivos y productos. Según (Galagovsky et al., 2015) el balance de ecuaciones estequiométricas está regido por la ley de conservación de masa de Lavoisier, donde se establece que la masa de los reactivos debe ser igual a la masa de los productos.

Según (Vicente-Martínez 2022, p. 28) instaurar que para realizar un correcto balance de ecuaciones químicas se debe empezar reconociendo el tipo de reacción que se está efectuando después se debe conocer los estados en los que se encuentra cada uno de los reactivos para evaluar los coeficientes estequiométricos de la reacción es decir verificar que en los reactivos y en los productos existan la misma cantidad de átomos. En base a los dos conceptos anteriores se procedió a balancear las ecuaciones 1-2 y 2-2 y mediante cálculos cuantitativos se determinó los reactivos necesarios para producir dióxido de azufre. En base a la técnica anterior se estableció también la cantidad de reactivos necesarios para producir dióxido de nitrógeno.

#### 3.3.2. Pruebas de tolerancia

Las pruebas de tolerancia se realizaron durante un lapso de 5 días y resultaron muy efectivas para determinar las especies con mejores cualidades y con las cuales se obtendría mejores resultados. Dentro de las pruebas se evaluó tres parámetros fundamentales, el primero fue la capacidad de absorción de contaminantes como el dióxido de nitrógeno ( $NO_2$ ) y el dióxido de azufre ( $SO_2$ ), el segundo fue la capacidad de adaptación de las plantas ante estas perturbaciones ya que fueron expuestas por 5 ocasiones al contacto directo con estos contaminantes y el tercero fue la tolerancia o supervivencia de las plantas ante estos contaminantes atmosféricos. Las diferentes especies de briofitas presentaron los siguientes valores de absorbancia, recopilados en la tabla 13-3.

**Tabla 13-3:** Absorbancia de NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> por briofitas

Codificación	Tipo de Briofita	Especie	Abs. (540 nm)	Abs. (571 nm)
A1	Musgo	<i>Bryum socorrense</i>	0,081	0,075
B1	Hepática	<i>Metzgeriaceae</i>	0,432	0,400
C1	Hepática	<i>Bazzania breuteliana</i>	0,164	0,150
D1	Musgo	<i>Breutelia trianae</i>	0,145	0,130
E1	Musgo	<i>Squamidium leucotrichum</i>	0,111	0,100
A2	Musgo	<i>Breutelia tomentosa</i>	0,247	0,230
B2	Musgo	<i>Brachythecium prasophyllum</i>	0,125	0,115
C2	Musgo	<i>Rhaphidorrhynchium amoenum</i>	0,385	0,370

Realizado por: Castillo, Luis, 2022.

### 3.3.3. Pruebas de resistencia

Las pruebas de resistencia en las especies de briofitas evaluadas se determinaron de acuerdo a los cambios generados en el grado de pigmentación o marchitamiento que presentaron cada una de las especies sometidas al contacto directo de contaminantes atmosféricos como el dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) y dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>). Al terminar el lapso de prueba, las especies que presentaron mejores resultados y que no se encontraba marchita en su punto más alto fueron las briofitas de la especie *Metzgeriaceae*, y las briofitas de la especie *Rhaphidorrhynchium*, estas especies antes mencionadas fueron las seleccionadas para formar parte del proyecto. De igual modo el resto de especie evaluadas ya se encontraban marchitas y completamente secas por lo que no fueron consideradas para la realización del proyecto.

Según (González, 2018, p. 68) las respuestas positivas o negativas que generan los monitores biológicos, depende mucho de cada especie o variedad debido al grado de sensibilidad que presentan ya que, cada una de las especies tienen un mecanismo único, un grado de sensibilidad diferente e incluso interaccionan de forma divergente con las perturbaciones del ambiente a las que son expuestas, las respuestas en este tipo de biomonitores también se ven muy influenciadas por las condiciones ambientales y meteorológicas de cada zona donde se desarrolla el proyecto, por ello es necesario tomar en cuenta estas variaciones para mejorar las condiciones de supervivencia y adaptación de cada uno de estos organismos a fin de preservarlos y obtener mejores resultados dentro de las investigaciones que se realicen.

### 3.4. Concentración de contaminantes por biomonitoreo con la especie *Metzgeriaceae*

#### 3.4.1. Concentración promedio ambiental de NO<sub>2</sub> con biomonitores de la especie *Metzgeriaceae*

**Tabla 14-3:** Concentraciones de NO<sub>2</sub> analizadas con biomonitores *Metzgeriaceae*

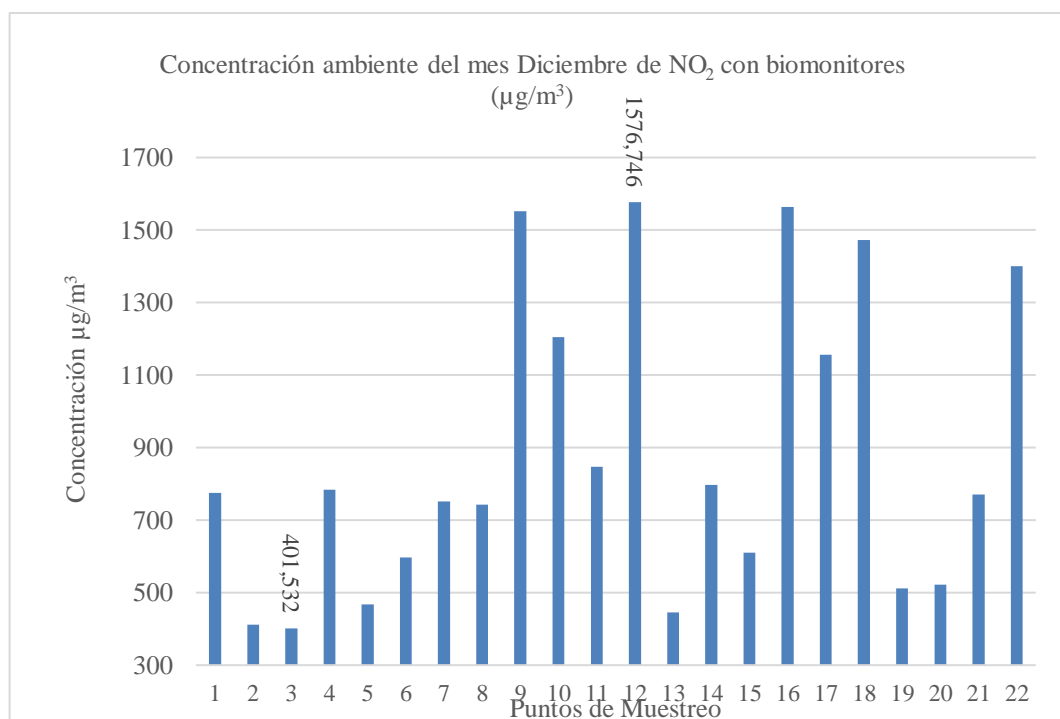
Puntos de Muestreo	Concentración de NO <sub>2</sub> Ambiente de Diciembre Corregida (µg/m <sup>3</sup> )	Concentración de NO <sub>2</sub> Ambiente de Enero Corregida (µg/m <sup>3</sup> )	Concentración de NO <sub>2</sub> Ambiente Promedio Final Corregida (µg/m <sup>3</sup> )
1	774,315	559,393	666,854
2	411,009	354,220	382,614
3	401,532	341,581	371,556
4	783,792	692,325	738,058
5	467,874	439,536	453,705
6	597,401	458,496	527,948
7	752,201	828,199	790,200
8	742,723	676,526	709,624
9	1551,473	1295,858	1423,665
10	1203,963	1014,631	1109,297
11	846,976	648,087	747,531
12	1576,746	1289,538	1433,142
13	445,760	354,220	399,990
14	796,429	727,084	761,756
15	610,037	382,659	496,348
16	1564,110	1280,059	1422,084
17	1156,575	983,032	1069,803
18	1472,493	1286,379	1379,436
19	512,103	458,496	485,299
20	521,580	477,455	499,517
21	771,156	755,522	763,339
22	1399,832	1276,899	1338,365

Realizado por: Castillo, Luis, 2022.

La tabla 14-3 refleja los valores de las concentraciones de dióxido de nitrógeno analizadas en los 22 puntos de muestreo mediante biomonitores de la especie *Metzgeriaceae* en el sector del Mercado Mayorista de la ciudad de Ambato durante los meses de diciembre (2021) y enero (2022). Los resultados obtenidos de las concentraciones ambiente de diciembre corregidas de NO<sub>2</sub>

expresan valores que oscilan un rango de 401,532 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) a 1576,746 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), mientras que en las concentraciones ambiente de enero corregidas de  $\text{NO}_2$  están en un rango que oscilan los 341,581 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) hasta los 1295,858 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) y los valores de las concentraciones promedio ambiente final corregida van en un rango de 371,576 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) hasta 1433,142 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

### 3.4.2. Variación de la concentración ambiente del mes de diciembre corregida de $\text{NO}_2$ con biomonitores de la especie *Metzgeriaceae*



**Gráfico 3-3:** Concentración del mes Diciembre de  $\text{NO}_2$  con biomonitores *Metzgeriaceae*  
Realizado por: Castillo, Luis, 2022.

Dentro del gráfico 3-3 se resume los niveles de  $\text{NO}_2$  evaluados con briofitas de la especie *Metzgeriaceae* en el Mercado Mayorista de Ambato en el periodo evaluativo diciembre 2021.

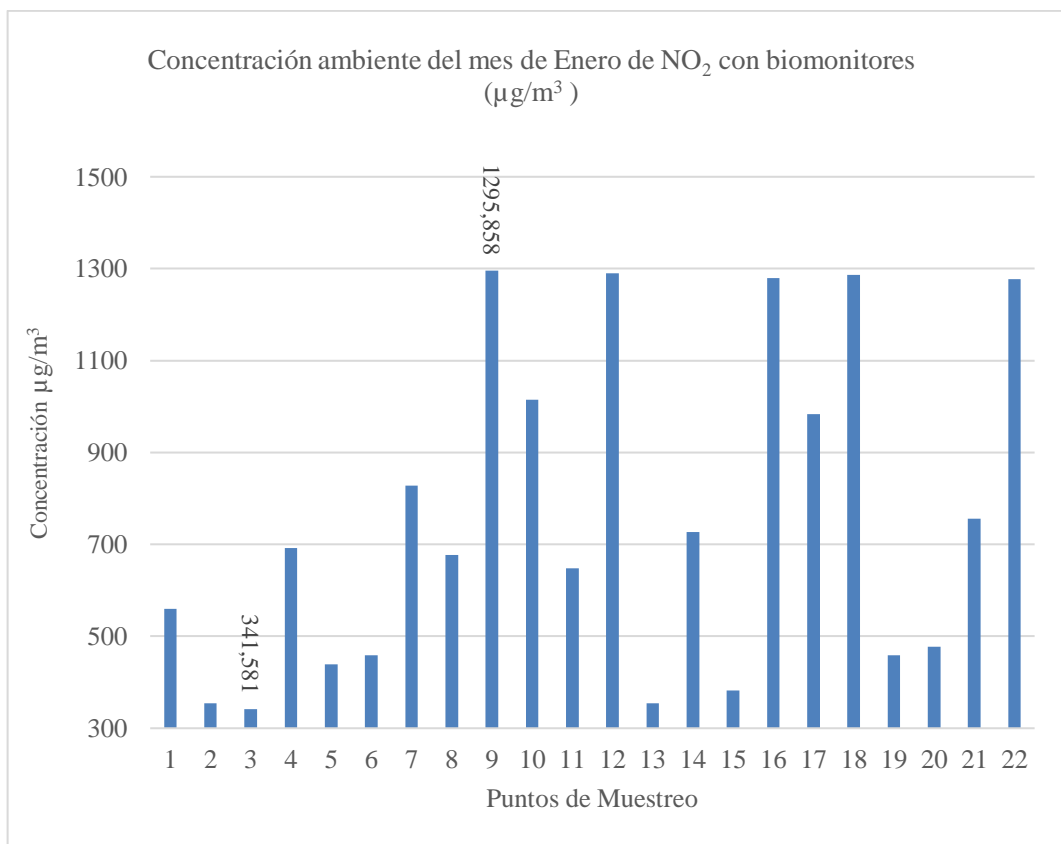
Los resultados señalan que el punto más contaminado con  $\text{NO}_2$  es el punto 12 con un valor de 1576,746  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , los niveles de polución en este punto son consecuente de la ubicación ya que, se encuentra en el acceso principal de ingreso de automotores al mercado, además está conectado con 2 avenidas con amplio abroquelamiento vehicular. Por el otro extremo el punto menos contaminado con  $\text{NO}_2$  es el punto 3 con un valor 401,532  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , los bajos índices de contaminación en este punto se deben primordialmente a su ubicación ya que se sitúa ampliamente apartado de las emanaciones generados por el masivo abroquelamiento de automotores.

Entre tanto los demás puntos presentan valores medianamente altos porque están ubicados en zonas abroqueladas con automotores en un diámetro que cubre el acceso al mercado donde por lo

general los automotores se abroquelan hasta esperar su turno de ingreso al mercado.

En base a los resultados se puede decir que según los valores recopilados en el período evaluativo de diciembre con briofitas de la especie *Metzgeriaceae* se acumuló una mayor cantidad de dióxido de nitrógeno NO<sub>2</sub>, conforme al estudio ejecutado por (González, 2018, p. 68) ratifica que los organismos vegetales que se usan como biomonitores demuestran su poder de bioacumulación en función de sus características morfológicas y sus capacidades de adaptación propias de cada especie de esta forma se tiene resultados favorables en la bioadsorción de NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>.

### 3.4.3. Variación de la concentración ambiente del mes de enero corregida de NO<sub>2</sub> con biomonitores de la especie *Metzgeriaceae*



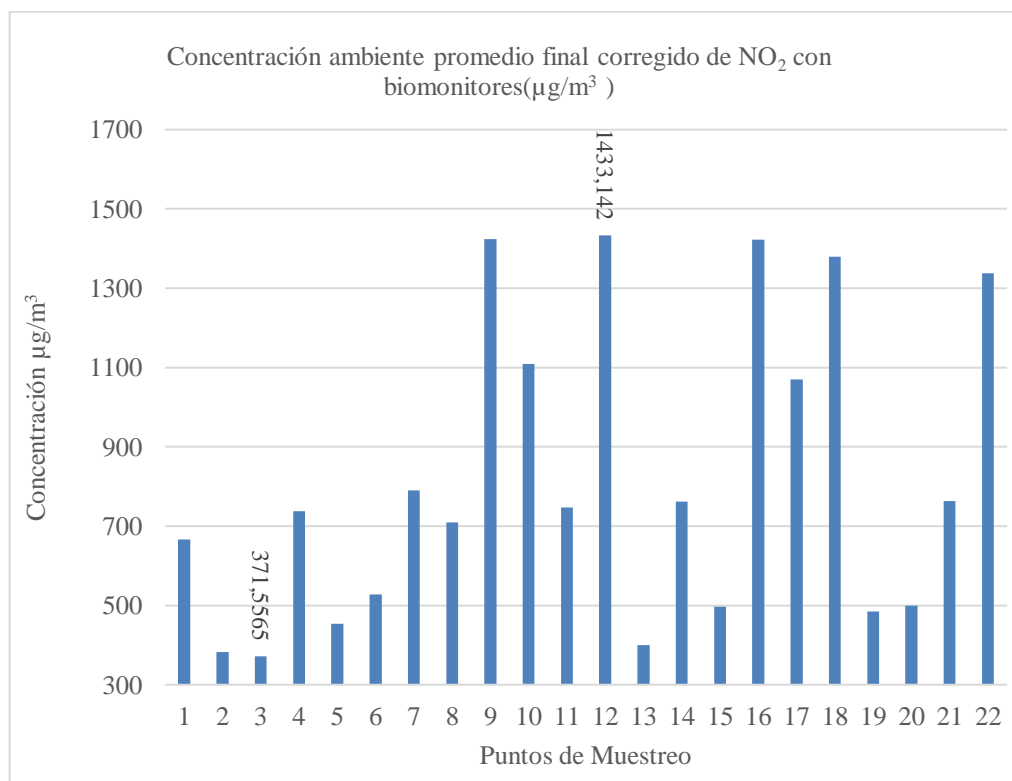
**Gráfico 4-3:** Concentración del mes Enero de NO<sub>2</sub> con biomonitores *Metzgeriaceae*  
Realizado por: Castillo, Luis, 2022.

Dentro del gráfico 4-3 se resumen los niveles de NO<sub>2</sub> evaluados con briofitas de la especie *Metzgeriaceae* a lo largo del período evaluativo enero (2022), aquí se puede visualizar una leve reducción en los niveles de contaminación respecto a los datos recopilados en diciembre. En este caso los resultados señalan que el punto más contaminado con NO<sub>2</sub> es el punto 9 con un valor de 1295,858  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , por el extremo inferior el punto menos contaminado con NO<sub>2</sub> es el punto 3 con un valor de 341,581  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . De esta forma se contrasta que en el periodo evaluativo enero (2022) existe una reducción parcial en la concentración de dióxido de nitrógeno en todos los puntos

respecto a los resultados del mes anterior.

En el estudio ejecutado por (Gutiérrez, 2021, p. 19–22) instaurar que las principales fuentes productoras de NO<sub>2</sub> son los vehículos automotores que utilizan como combustible gasolina o diésel, estos son los principales responsables del 60% de las emisiones de contaminantes a la atmósfera. A través de una comparación directa se contrasta que los principales responsables de la contaminación que genera dióxido de nitrógeno son los automotores debido a que en determinadas zonas el abroquelamiento vehicular genera elevadas descargas de gases contaminantes los cuales degradan la calidad del aire ambiente y afectan la salud de la población aledaña.

#### 3.4.4. Variación de la concentración promedio ambiente final corregida de NO<sub>2</sub> con biomonitores de la especie *Metzgeriaceae*



**Gráfico 5-3:** Concentración promedio final de NO<sub>2</sub> con biomonitores *Metzgeriaceae*  
Realizado por: Castillo, Luis, 2022.

Dentro del gráfico 5-3 se resumen los niveles de NO<sub>2</sub> promedio evaluados con briofitas de la especie *Metzgeriaceae* en el Mercado Mayorista de Ambato en el periodo evaluativo diciembre (2021) y enero (2022). Los resultados señalan que el punto más contaminando con NO<sub>2</sub> es el punto número 12 con un valor de 1433,142 µg/m<sup>3</sup>, los niveles de polución en este punto son consecuente a su ubicación ya que en la zona se genera una elevada aglomeración de vehículos

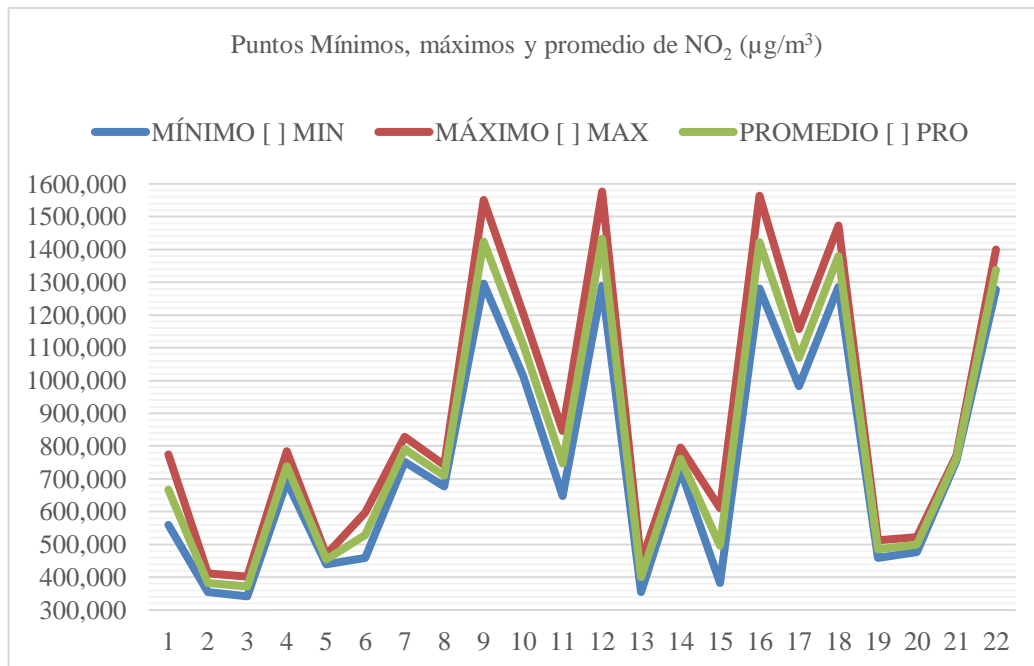
automotores. Por el otro extremo el punto menos contaminado con NO<sub>2</sub> es el punto 3 con un valor de 320,556 µg/m<sup>3</sup>, los bajos índices de contaminación en este punto se deben primordialmente a su ubicación ya que se sitúa ampliamente apartados del abroquelamiento vehicular los cuales generan las mayores emisiones de contaminantes en la zona de estudio.

Los mayores niveles de contaminación por NO<sub>2</sub> se sitúan en los puntos 2, 3, 5, 13, 15, 19 y 20 estos valores son consecuentes al elevado tráfico vehicular y las continuas emisiones de contaminantes. Los bajos índices de contaminación por NO<sub>2</sub> se sitúan en los puntos 9, 10, 12, 16, 17, 18 y 22 estos valores son consecuente ya que en la zona no existe tráfico vehicular y la concurrencia de automotores es limitada, también se reflejan pequeñas zonas con vegetación urbana en sus cercanías.

El estudio ejecutado por (Noriega, et al. 2008, p. 10) insta a las briofitas como un nuevo camino en la evaluación de la contaminación en el aire contrastando los resultados expresados en este proyecto puesto que se trabajó con briofitas de diferentes especies para absorber contaminantes como el dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) obteniendo buenos resultados. En base a los datos recopilados se instaura que en el mes de diciembre se generó mayores niveles de contaminación de NO<sub>2</sub> respecto al mes de enero. En virtud de ello en el mes enero se bioacumuló una mayor cantidad de contaminantes por parte de las briofitas o en su momento se generó un incremento exponencial del abroquelamiento vehicular en la zona de estudio, elevado así los índices de contaminación.



**3.4.5. Puntos mínimos, máximos y promedios de concentración de NO<sub>2</sub> con biomonitores de la especie Metzgeriaceae**



**Gráfico 6-3:** Puntos mínimos, máximos y promedios de NO<sub>2</sub> con biomonitores *Metzgeriaceae*

Realizado por: Castillo, Luis, 2022.

Dentro del gráfico 6-3 se visualizan los puntos mínimos, máximos y promedios evaluados con briofitas de la especie *Metzgeriaceae* en el Mercado Mayorista de Ambato en el periodo evaluativo diciembre (2021) y enero (2022). Conforme al gráfico como puntos mínimos tenemos los puntos 1, 2, 3, 13, 15 en estos puntos los niveles de contaminación por NO<sub>2</sub> son leves y desde un punto de vista adverso estos puntos también corresponden a las zonas más limpias y libres de contaminantes atmosféricos. Los puntos máximos registrados en el estudio son los puntos 9, 10, 12, 16, 17, 18 y 22 en estos puntos los niveles de contaminación por NO<sub>2</sub> son altos y en conjunto constituyen la zona más contaminada en el Mercado Mayorista de la ciudad de Ambato.

Los niveles de contaminación por NO<sub>2</sub> presentan dos extremos bien definidos por un lado el punto con mayor índice de contaminación es el punto 12 con un valor de 1576,746 µg/m<sup>3</sup>, debido al elevado abroquelamiento vehicular en la zona, lo que se ratifica con el estudio ejecutado por (Orozco y Romaña, 2018, p. 52–53) el cual explica que se obtiene mayor generación de NO<sub>2</sub> por medio de fuentes automovilísticas debido a que el proceso de combustión de la gasolina o del diésel son una fuente de emisión directa de NO<sub>2</sub> vehicular en el otro extremo se ubica el punto con menor índice de contaminación es el punto 3 con un valor de 341,581 µg/m<sup>3</sup>, este valor es consecuente ya que en la zona no existe tráfico vehicular y la concurrencia de automotores es limitada, también se reflejan pequeñas zonas con vegetación urbana en sus cercanías.

3.4.6. *Concentración promedio ambiental de SO<sub>2</sub> con biomonitores de la especie Metzgeriaceae*

**Tabla 15-3:** Concentraciones de SO<sub>2</sub> analizadas con biomonitores *Metzgeriaceae*

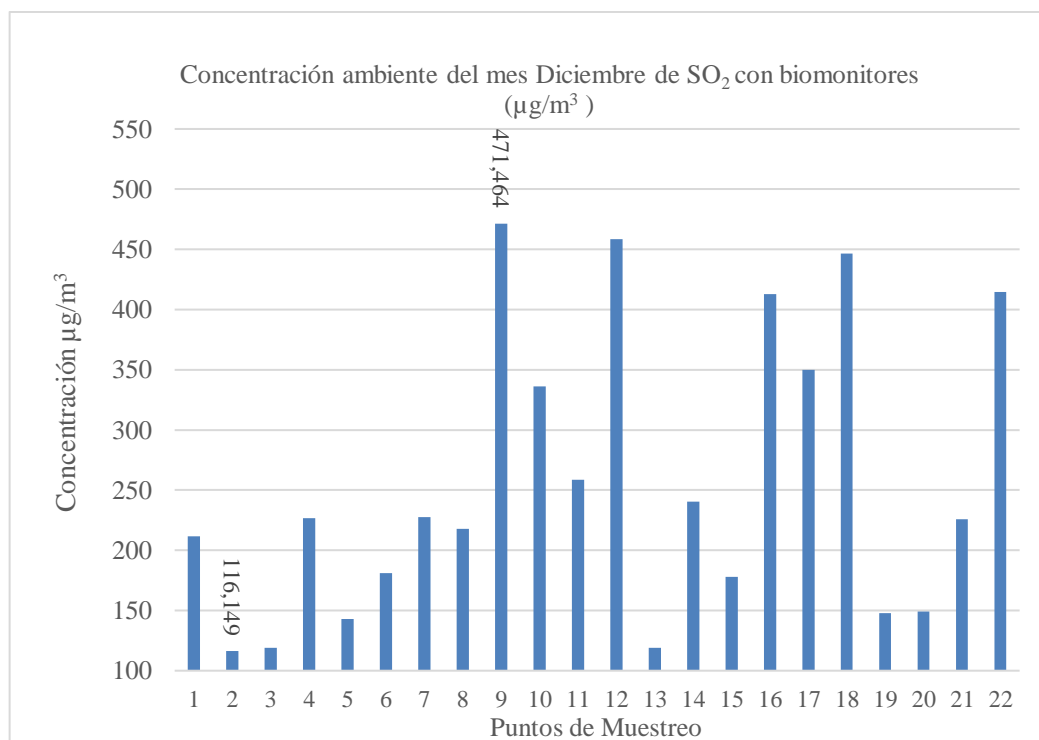
Puntos de Muestreo	Concentración de SO <sub>2</sub> Ambiente de Diciembre Corregida (µg/m <sup>3</sup> )	Concentración de SO <sub>2</sub> Ambiente de Enero Corregida (µg/m <sup>3</sup> )	Concentración de SO <sub>2</sub> Ambiente Promedio Final Corregida (µg/m <sup>3</sup> )
1	211,696	167,94	189,818
2	116,149	104,228	110,189
3	119,135	102,237	110,686
4	226,625	207,760	217,193
5	143,022	134,093	138,558
6	180,843	141,062	160,953
7	227,621	257,535	242,578
8	217,668	205,769	211,7185
9	471,464	398,895	435,180
10	336,106	306,314	321,210
11	258,474	191,832	225,153
12	458,526	418,805	438,666
13	119,135	110,201	114,668
14	240,559	229,661	235,110
15	177,857	113,188	145,523
16	412,743	404,868	408,806
17	350,040	300,341	325,191
18	446,582	420,796	433,689
19	147,998	130,111	139,055
20	148,994	134,093	141,544
21	225,630	229,661	227,646
22	414,733	389,935	402,334

Realizado por: Castillo, Luis, 2022.

Dentro de la tabla 15-3 se enmarcan los niveles de dióxido de azufre cuantificados en el aire ambiente a través de briofitas de la especie *Metzgeriaceae* en los 22 puntos de análisis establecidos en la zona de estudio durante el periodo evaluativo diciembre (2021) y enero (2022). Los niveles de SO<sub>2</sub> en el aire ambiente cuantificados durante el mes de diciembre presentaron como valor más alto 471,464 (µg/m<sup>3</sup>) y como valor más bajo 116,149 (µg/m<sup>3</sup>), a su vez en el mes de enero los niveles de SO<sub>2</sub> presentaron una reducción leve ya que, como valor más alto se obtuvo 420,796 (µg/m<sup>3</sup>) y como valor más bajo 102,237 (µg/m<sup>3</sup>), en función de los resultados anteriores se establecieron las concentraciones ambientales promedio de SO<sub>2</sub> obteniendo como valor más alto 438,665 (µg/m<sup>3</sup>) y como valor más bajo 110,189 (µg/m<sup>3</sup>).

Conforme lo instaura (Jiménez 2020, p. 8) la variación en las concentraciones mensuales de contaminantes puede atribuirse a cambios en las condiciones meteorológicas o incrementos del flujo vehicular en determinadas épocas del año lo que genera una alteración significativa en la generación de contaminantes atmosféricos.

### 3.4.7. Variación de la concentración ambiente del mes de diciembre corregida de SO<sub>2</sub> con biomonitores de la especie *Metzgeriaceae*



**Gráfico 7-3:** Concentración del mes Diciembre de SO<sub>2</sub> con biomonitores *Metzgeriaceae*  
Realizado por: Castillo, Luis, 2022.

Dentro del gráfico 7-3 se resume los niveles de SO<sub>2</sub> evaluados con briofitas de la especie *Metzgeriaceae* en el Mercado Mayorista de Ambato en el periodo evaluativo diciembre 2021.

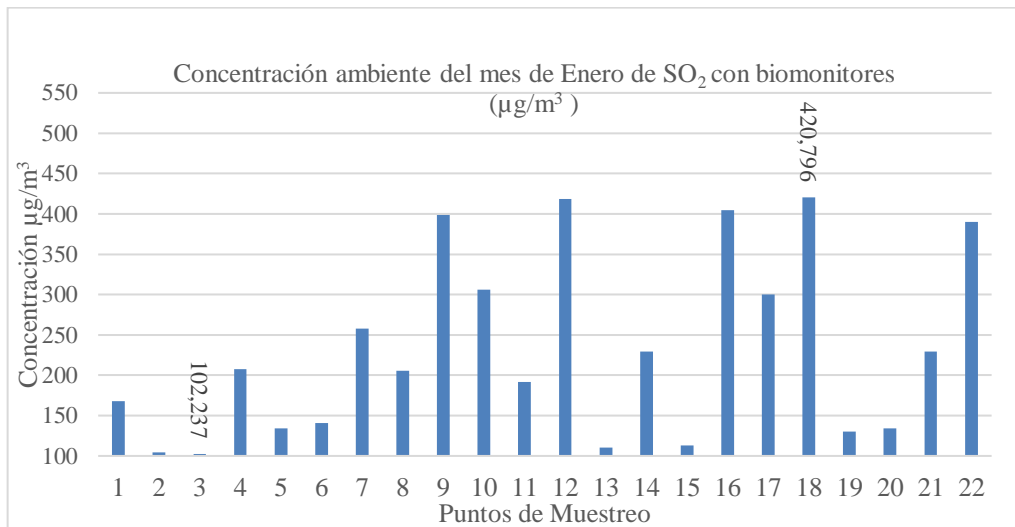
Los resultados señalan que el punto más contaminado con SO<sub>2</sub> es el punto 9 con un valor de 471,464 µg/m<sup>3</sup>, los niveles de polución en este punto son consecuente de la ubicación ya que, se encuentra en el acceso principal de ingreso de automotores al mercado, además está conectado con 2 avenidas con amplio abroquelamiento vehicular. Por el otro extremo el punto menos contaminado con SO<sub>2</sub> es el punto 2 con un valor 116,149 µg/m<sup>3</sup>, los bajos índices de contaminación en este punto se deben primordialmente a su ubicación ya que se sitúa ampliamente apartado de las emanaciones generados por el masivo abroquelamiento de automotores.

Entre tanto los demás puntos presentan valores medianamente altos porque están ubicados en zonas abroqueladas con automotores en un diámetro que cubre el acceso al mercado donde por lo general los automotores se abroquelan hasta esperar su turno de ingreso al mercado.

En base a los resultados se puede decir que según los valores recopilados en el periodo evaluativo de diciembre con briofitas de la especie *Metzgeriaceae* se acumuló una mayor cantidad de dióxido

de nitrógeno  $\text{SO}_2$ , conforme al estudio ejecutado por (Orozco y Romaña, 2018, p. 52–53) ya que, en los días de feria del mercado la generación de dióxido de azufre se eleva debido al aumento significativo de vehículos que transitan e ingresan al mercado, de esta forma los puntos más contaminados serán aquellos donde la concurrencia de automotores es alta y prolonga ya que la quema de combustibles es elevada.

### 3.4.8. Variación de la concentración ambiente del mes de enero corregida de $\text{SO}_2$ con biomonitores de la especie *Metzgeriaceae*



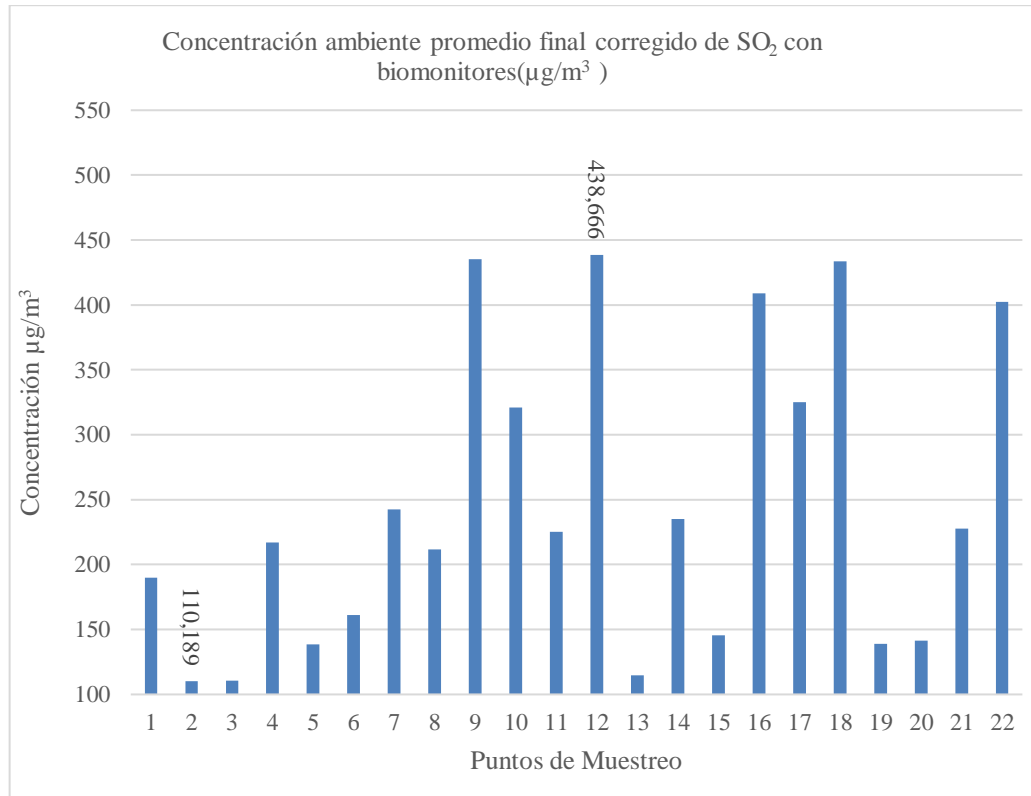
**Gráfico 8-3:** Concentración del mes Enero de  $\text{SO}_2$  con biomonitores *Metzgeriaceae*  
Realizado por: Castillo, Luis, 2022.

Dentro del gráfico 8-3 se resumen los niveles de  $\text{SO}_2$  evaluados con briofitas de la especie *Metzgeriaceae* a lo largo del periodo evaluativo enero (2022), aquí se puede visualizar una leve reducción en los niveles de contaminación respecto a los datos recopilados en diciembre. En este caso los resultados señalan que el punto más contaminado con  $\text{SO}_2$  es el punto 18 con un valor de  $420,796 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , por el extremo inferior el punto menos contaminado con  $\text{SO}_2$  es el punto 3 con un valor de  $102,237 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . De esta forma se contrasta que en el periodo evaluativo enero (2022) existe una reducción parcial en la concentración de dióxido de azufre en todos los puntos respecto a los resultados del mes anterior.

En el estudio ejecutado por (Gutiérrez, 2021, p. 19–22) instaurar que las principales fuentes productoras de  $\text{SO}_2$  son los vehículos automotores que utilizan como combustible gasolina o diésel, estos son los principales responsables del 60% de las emisiones de contaminantes a la atmosfera. A través de una comparación directa se contrasta que los principales responsables de la contaminación que genera dióxido de azufre son los automotores debido a que en determinadas zonas el abroquela miento vehicular genera elevadas descargas de gases contaminantes los cuales

degradan la calidad del aire ambiente y afectan la salud de la población aledaña.

### 3.4.9. Variación de la concentración promedio ambiente final corregida de SO<sub>2</sub> con biomonitores de la especie Metzgeriaceae



**Gráfico 9-3:** Concentración promedio final de SO<sub>2</sub> con biomonitores *Metzgeriaceae*  
Realizado por: Castillo, Luis, 2022.

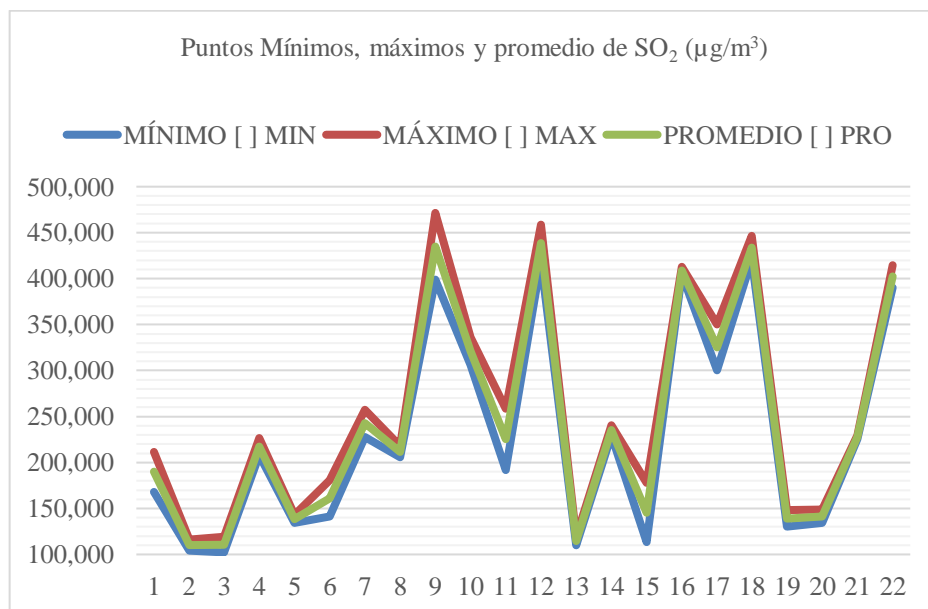
Dentro del gráfico 9-3 se resumen los niveles de SO<sub>2</sub> promedio evaluados con briofitas de la especie *Metzgeriaceae* en el Mercado Mayorista de Ambato en el periodo evaluativo diciembre (2021) y enero (2022). Los resultados señalan que el punto más contaminado con SO<sub>2</sub> es el punto número 12 con un valor de 438,665 µg/m<sup>3</sup> los niveles de polución en este punto son consecuentes a su ubicación ya que en la zona se genera una elevada aglomeración de vehículos automotores. Por el otro extremo el punto menos contaminado con SO<sub>2</sub> es el punto 2 con un valor de 110,189 µg/m<sup>3</sup>, los bajos índices de contaminación en este punto se deben primordialmente a su ubicación ya que se sitúa ampliamente apartados del abroquelamiento vehicular los cuales generan las mayores emisiones de contaminantes en la zona de estudio.

Los mayores niveles de contaminación por SO<sub>2</sub> se sitúan en los puntos 2, 3, 5, 13, 15, 19 y 20 estos valores son consecuentes al elevado tráfico vehicular y las continuas emisiones de contaminantes. Los bajos índices de contaminación por SO<sub>2</sub> se sitúan en los puntos 9, 10, 12, 16,

17, 18 y 22 estos valores son consecuente ya que en la zona no existe tráfico vehicula y la concurrencia de automotores es limitada, también se reflejan pequeñas zonas con vegetación urbana en sus cercanías.

El estudio ejecutado por (Noriega, et al. 2008, p. 10) insta a las briofitas como un nuevo camino en la evaluación de la polución en el aire contrastando los resultados expresados en este proyecto puesto que se trabajó con briofitas de diferentes especies para absorber contaminantes como el dióxido de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ) obteniendo buenos resultados. En base a los datos recopilados se instaurar que en el mes de diciembre se generó mayores niveles de contaminación de  $\text{SO}_2$  respecto al mes de enero. En virtud de ello en el mes enero se bioacumuló una mayor cantidad de contaminantes por parte de las briofitas o en su momento se generó un incremento exponencial del abroquelamiento vehicular en la zona de estudio, elevado así los índices de contaminación. Desde un punto de vista adverso al comparar los valores obtenidos en las concentraciones de  $\text{SO}_2$  con los valores obtenidos en las concentraciones de  $\text{NO}_2$  se pueden observar un menor porcentaje de absorción.

#### 3.4.10. Puntos mínimos, máximos y promedios de concentración de $\text{SO}_2$ con biomonitores de la especie *Metzgeriaceae*



**Gráfico 10-3:** Puntos mínimos, máximos y promedios de  $\text{SO}_2$  con biomonitores *Metzgeriaceae*

Realizado por: Castillo, Luis, 2022.

Dentro del gráfico 10-3 se visualizan los puntos mínimos, máximos y promedios evaluados con briofitas de la especie *Metzgeriaceae* en el Mercado Mayorista de Ambato en el periodo evaluativo diciembre (2021) y enero (2022). Conforme al gráfico como puntos mínimos tenemos

los puntos 1, 2, 3, 13, 15 en estos puntos los niveles de contaminación por SO<sub>2</sub> son leves y desde un punto de vista adverso estos puntos también corresponden a las zonas más limpias y libres de contaminantes atmosféricos. Los puntos máximos registrados en el estudio son los puntos 9, 10, 12, 16, 17, 18 y 22 en estos puntos los niveles de contaminación por SO<sub>2</sub> son altos y en conjunto constituyen la zona más contaminada en el Mercado Mayorista de la ciudad de Ambato.

Los niveles de contaminación por SO<sub>2</sub> presentan dos extremos bien definidos por un lado el punto con mayor índice de contaminación es el punto 9 con un valor de 471,464 µg/m<sup>3</sup>, debido al elevado abroquelamiento vehicular en la zona, lo que se ratifica con el estudio ejecutado por (Orozco y Romaña, 2018, p. 52–53) el cual explica que se obtiene mayor generación de SO<sub>2</sub> por medio de fuentes automovilísticas debido a que el proceso de combustión de la gasolina o del diésel son una fuente de emisión directa de SO<sub>2</sub> vehicular en el otro extremo se ubica el punto con menor índice de contaminación es el punto 3 con un valor de 102,237 µg/m<sup>3</sup>, este valor son consecuentes ya que en la zona no existe tráfico vehicular y la concurrencia de automotores es limitada, también se reflejan pequeñas zonas con vegetación urbana en sus cercanías.

Lo que se ratifica con el estudio ejecutado (Caiza, 2020, p. 13) insta que las briofitas empleadas como biomonitores indican la presencia de contaminantes o perturbaciones en el aire ambiente de forma cualitativa y cuantitativa en base a ello en puntos o zonas donde exista un alto índice vehicular se obtendrá una mayor generación de SO<sub>2</sub> consecuentes a la combustión y a las emisiones que estos generan en el ambiente. De igual modo en el punto 3 tiene el valor más bajo de concentración por ser un punto apartado del abroquelamiento vehicular ya que en este punto la circulación vehicular es baja y existe la presencia vegetación urbana la cual disminuye la absorción de este contaminante por parte de las briofitas.

### 3.5. Concentración de contaminantes por biomonitoreo con la especie *Rhaphidorrhynchium*

#### 3.5.1. Concentración promedio ambiental de NO<sub>2</sub> con biomonitores de la especie *Rhaphidorrhynchium*

**Tabla 16-3:** Concentraciones de NO<sub>2</sub> analizadas con biomonitores *Rhaphidorrhynchium*

Puntos de Muestreo	Concentración de NO <sub>2</sub> Ambiente de Diciembre Corregida (µg/m <sup>3</sup> )	Concentración de NO <sub>2</sub> Ambiente de Enero Corregida (µg/m <sup>3</sup> )	Concentración de NO <sub>2</sub> Ambiente Promedio Final Corregida (µg/m <sup>3</sup> )
1	404,691	322,496	363,594
2	319,393	199,387	259,39

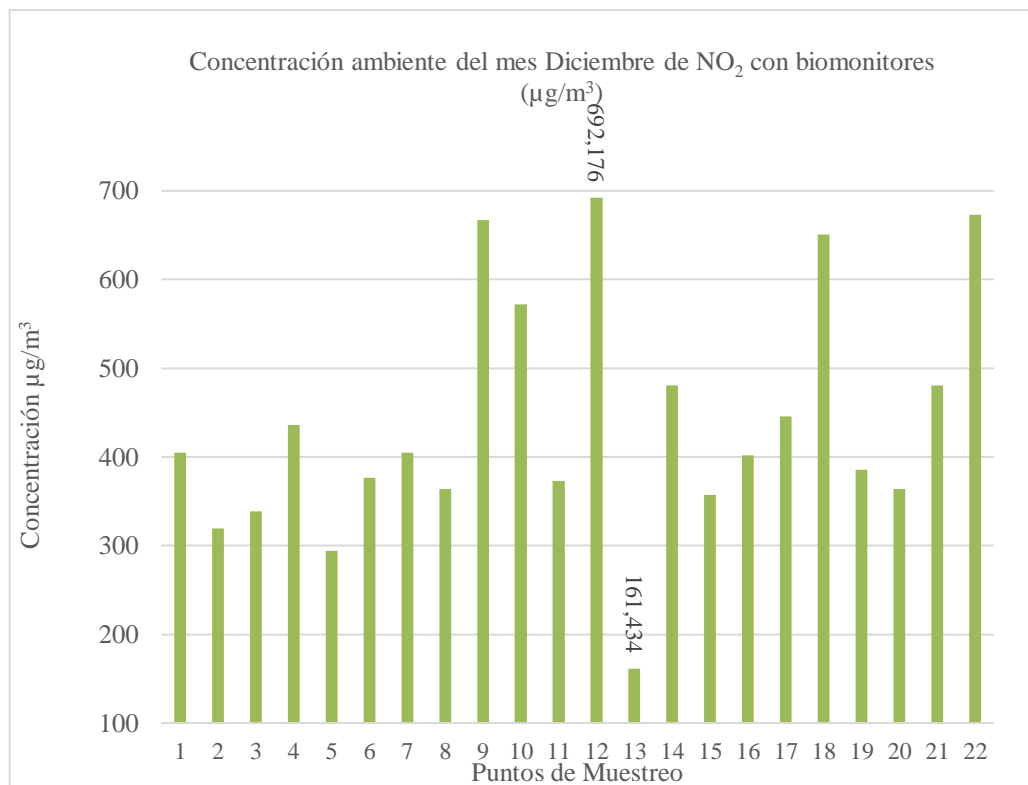
3	338,348	243,625	290,987
	436,283	306,822	371,553
5	294,12	196,227	245,174
6	376,258	306,822	341,54
7	404,691	284,703	344,697
8	363,622	212,027	287,825
9	666,903	379,499	523,201
10	572,127	347,9	460,014
11	373,099	322,622	347,861
12	692,176	404,778	548,477
13	161,434	101,431	131,433
14	480,511	341,581	411,046
15	357,303	319,462	338,383
16	401,532	325,781	363,657
17	445,76	344,741	395,251
18	651,107	480,615	565,861
19	385,736	243,625	314,681
20	363,622	319,462	341,542
21	480,511	322,622	401,567
22	673,221	638,607	655,914

Realizado por: Castillo, Luis, 2022.

Dentro de la tabla 16-3 se enmarcan los niveles de dióxido de nitrógeno cuantificados en el aire ambiente a través de briofitas de la especie *Rhaphidorrhynchium* en los 22 puntos de análisis establecidos en la zona de estudio durante el periodo evaluativo diciembre (2021) y enero (2022). Los niveles de NO<sub>2</sub> en el aire ambiente cuantificados durante el mes de diciembre presentaron como valor más alto 692,176 (µg/m<sup>3</sup>) y como valor más bajo 161,434 (µg/m<sup>3</sup>), a su vez en el mes de enero los niveles de NO<sub>2</sub> presentaron una reducción leve ya que, como valor más alto se obtuvo 638,607 (µg/m<sup>3</sup>) y como valor más bajo 101,431 (µg/m<sup>3</sup>), en función de los resultados anteriores se establecieron las concentraciones ambientales promedio de NO<sub>2</sub> obteniendo como valor más alto 655,917 (µg/m<sup>3</sup>) y como valor más bajo 131,433 (µg/m<sup>3</sup>).



### 3.5.2. Variación de la concentración ambiente del mes de diciembre corregida de NO<sub>2</sub> con biomonitores de la especie *Rhaphidorrhynchium*



**Gráfico 11-3:** Concentración del mes Diciembre de NO<sub>2</sub> con biomonitores *Rhaphidorrhynchium*

Realizado por: Castillo, Luis, 2022.

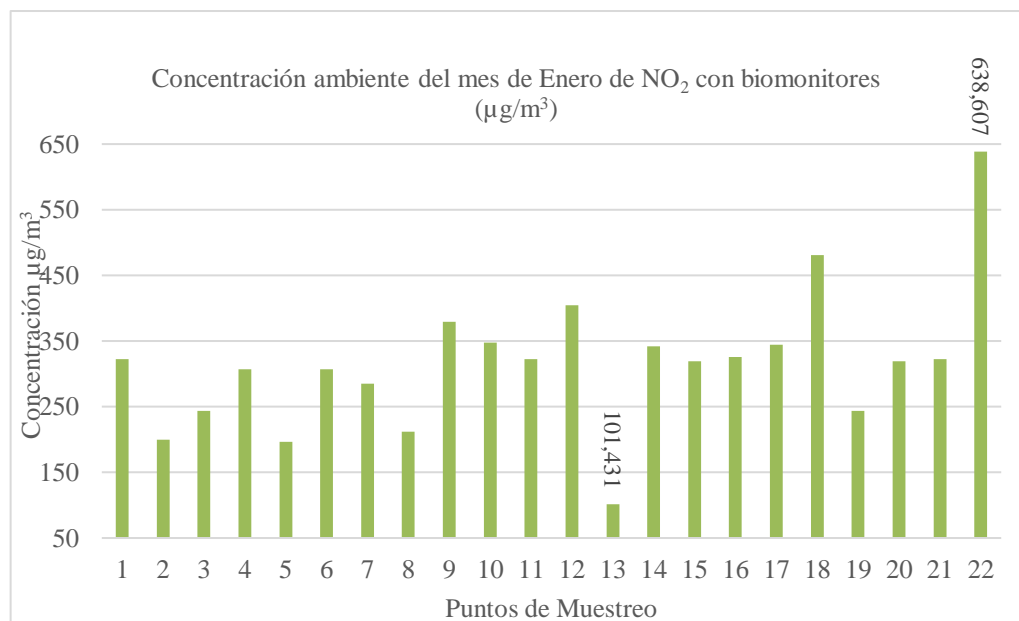
Dentro del gráfico 11-3 se resume los niveles de NO<sub>2</sub> evaluados con briofitas de la especie *Rhaphidorrhynchium* en el Mercado Mayorista de Ambato en el periodo evaluativo diciembre 2021. Los resultados señalan que el punto más contaminado con NO<sub>2</sub> es el punto 12 con un valor de 692,176 µg/m<sup>3</sup> los niveles de contaminación en este punto son consecuencia de la ubicación ya que, se encuentra en el acceso principal de ingreso de automotores al mercado, además está conectado con 2 avenidas con amplio abroquelamiento vehicular. Por el otro extremo el punto menos contaminado con NO<sub>2</sub> es el punto 13 con un valor 161,434 µg/m<sup>3</sup>, los bajos índices de contaminación en este punto se deben primordialmente a su ubicación ya que se sitúa ampliamente apartado de las emanaciones generados por el masivo abroquelamiento de automotores.

Entre tanto los demás puntos presentan valores medianamente altos porque están ubicados en zonas abroqueladas con automotores en un diámetro que cubre el acceso al mercado donde por lo general los automotores se abroquelan hasta esperar su turno de ingreso al mercado.

En base a los resultados se puede decir que según los valores recopilados en el periodo evaluativo de diciembre con briofitas de la especie *Rhaphidorrhynchium* se acumuló una mayor cantidad de

dióxido de nitrógeno NO<sub>2</sub>, conforme al estudio ejecutado por (González, 2018, p. 68) ratifica que los organismos vegetales que sirven como biomonitores demuestran su poder de bioacumulación en función de sus características morfológicas y sus capacidades de adaptación propias de cada especie de esta forma se tienen resultados favorables en la bioadsorción de NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>.

### 3.5.3. Variación de la concentración ambiente del mes de enero corregida de NO<sub>2</sub> con biomonitores de la especie *Rhaphidorrhynchium*



**Gráfico 12-3:** Concentración del mes Enero de NO<sub>2</sub> con biomonitores *Rhaphidorrhynchium*

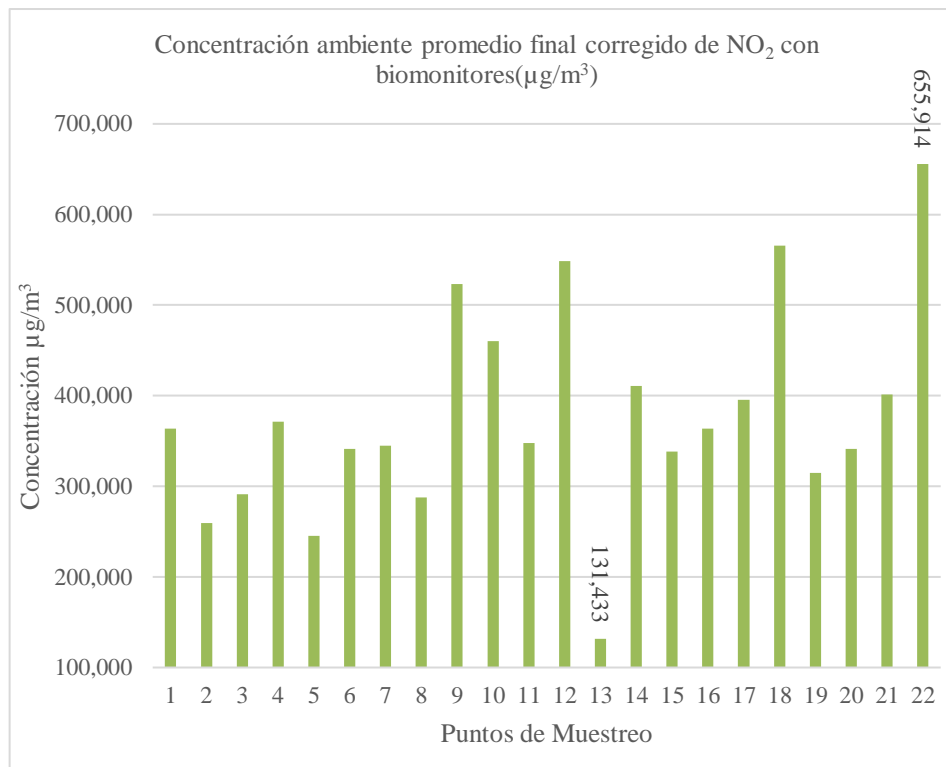
Realizado por: Castillo, Luis, 2022.

Dentro del gráfico 12-3 se resumen los niveles de NO<sub>2</sub> evaluados con briofitas de la especie *Rhaphidorrhynchium* a lo largo del periodo evaluativo enero (2022), aquí se puede visualizar una leve reducción en los niveles de contaminación respecto a los datos recopilados en diciembre. En este caso los resultados señalan que el punto más contaminado con NO<sub>2</sub> es el punto 22 con un valor de 638,607 µg/m<sup>3</sup>, por el extremo inferior el punto menos contaminado con NO<sub>2</sub> es el punto 3 con un valor de 101,431 µg/m<sup>3</sup>. De esta forma se contrasta que en el periodo evaluativo enero (2022) existe una reducción parcial en la concentración de dióxido de nitrógeno en todos los puntos respecto a los resultados del mes anterior.

En el estudio ejecutado por (Gutiérrez, 2021, p. 19–22) instaurar que las principales fuentes productoras de NO<sub>2</sub> son los vehículos automotores que utilizan como combustible gasolina o diésel, estos son los principales responsables del 60% de las emisiones de contaminantes a la atmosfera. A través de una comparación directa se contrasta que los principales responsables de

la contaminación que genera dióxido de nitrógeno son los automotores debido a que en determinadas zonas el abroquelamiento vehicular genera elevadas descargas de gases contaminantes los cuales degradan la calidad del aire ambiente y afectan la salud de la población aledaña.

**3.5.4. Variación de la concentración promedio ambiente final corregida de NO<sub>2</sub> con biomonitores de la especie *Rhaphidorrhynchium***



**Gráfico 13-3:** Concentración promedio final de NO<sub>2</sub> con biomonitores *Rhaphidorrhynchium*

Realizado por: Castillo, Luis, 2022.

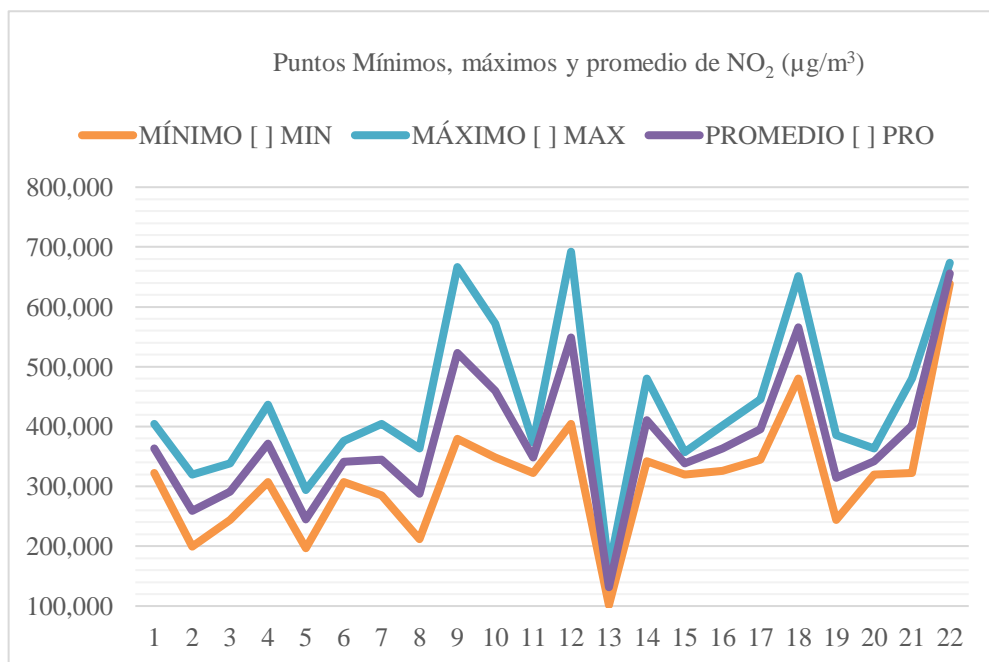
Dentro del gráfico 13-3 se resumen los niveles de NO<sub>2</sub> promedio evaluados con briofitas de la especie *Rhaphidorrhynchium* en el Mercado Mayorista de Ambato en el periodo evaluativo diciembre (2021) y enero (2022). Los resultados señalan que el punto más contaminado con NO<sub>2</sub> es el punto número 22 con un valor de 655,914 µg/m<sup>3</sup> los niveles de polución en este punto son consecuente a su ubicación ya que en la zona se genera una elevada aglomeración de vehículos automotores. Por el otro extremo el punto menos contaminado con NO<sub>2</sub> es el punto 13 con un valor de 131,433 µg/m<sup>3</sup>, los bajos índices de contaminación en este punto se deben primordialmente a su ubicación ya que se sitúa ampliamente apartados del abroquelamiento vehicular los cuales generan las mayores emisiones de contaminantes en la zona de estudio.

Los mayores niveles de contaminación por NO<sub>2</sub> se sitúan en los puntos 2, 3, 5, 13, 15, 19 y 20

estos valores son consecuentes al elevado tráfico vehicular y las continuas emisiones de contaminantes. Los bajos índices de contaminación por NO<sub>2</sub> se sitúan en los puntos 9, 10, 12, 16, 17, 18 y 22 estos valores son consecuente ya que en la zona no existe tráfico vehicular y la concurrencia de automotores es limitada, también se reflejan pequeñas zonas con vegetación urbana en sus cercanías.

El estudio ejecutado por (Noriega, et al. 2008, p. 10) insta a las briofitas como un nuevo camino en la evaluación de la polución en el aire contratando los resultados expresados en este proyecto puesto que se trabajó con briofitas de diferentes especies para absorber contaminantes como el dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) obteniendo buenos resultados. En base a los datos recopilados se instaurar que en el mes de diciembre se generó mayores niveles de contaminación de NO<sub>2</sub> respecto al mes de enero. En virtud de ello en el mes enero se bioacumuló una mayor cantidad de contaminantes por parte de las briofitas o en su momento se generó un incremento exponencial del abroquelamiento vehicular en la zona de estudio, elevado así los índices de contaminación.

### 3.5.5. Puntos mínimos, máximos y promedios de concentración de NO<sub>2</sub> con biomonitores de la especie *Rhaphidorrhynchium*



**Gráfico 14-3:** Puntos mínimos, máximos y promedios de NO<sub>2</sub> con biomonitores *Rhaphidorrhynchium*  
 Realizado por: Castillo, Luis, 2022.

Dentro del gráfico 14-3 se visualizan los puntos mínimos, máximos y promedios evaluados con briofitas de la especie *Rhaphidorrhynchium* en el Mercado Mayorista de Ambato en el periodo evaluativo diciembre (2021) y enero (2022). Conforme al gráfico como puntos mínimos tenemos

los puntos 1, 2, 3, 13, 15 en estos puntos los niveles de contaminación por NO<sub>2</sub> son leves y desde un punto de vista adverso estos puntos también corresponden a las zonas más limpias y libres de contaminantes atmosféricos. Los puntos máximos registrados en el estudio son los puntos 9, 10, 12, 16, 17, 18 y 22 en estos puntos los niveles de contaminación por NO<sub>2</sub> son altos y en conjunto constituyen la zona más contaminada en el Mercado Mayorista de la ciudad de Ambato.

Los niveles de contaminación por NO<sub>2</sub> presentan dos extremos bien definidos por un lado el punto con mayor índice de contaminación es el punto 12 con un valor de 692,176 µg/m<sup>3</sup>, debido al elevado abroquelamiento vehicular en la zona, lo que se ratifica con el estudio ejecutado por (Orozco y Romaña, 2018, p. 52–53) el cual explica que se obtiene mayor generación de NO<sub>2</sub> por medio de fuentes automovilísticas debido a que el proceso de combustión de la gasolina o del diésel son una fuente de emisión directa de NO<sub>2</sub> vehicular en el otro extremo se ubica el punto con menor índice de contaminación es el punto 3 con un valor de 101,431 µg/m<sup>3</sup>, este valor es consecuente ya que en la zona no existe tráfico vehicula y la concurrencia de automotores es limitada, también se reflejan pequeñas zonas con vegetación urbana en sus cercanías.

### 3.5.6. *Concentración promedio ambiental de SO<sub>2</sub> con biomonitores de la especie Rhaphidorrhynchium*

**Tabla 17-3:** Concentraciones de SO<sub>2</sub> analizadas con biomonitores *Rhaphidorrhynchium*

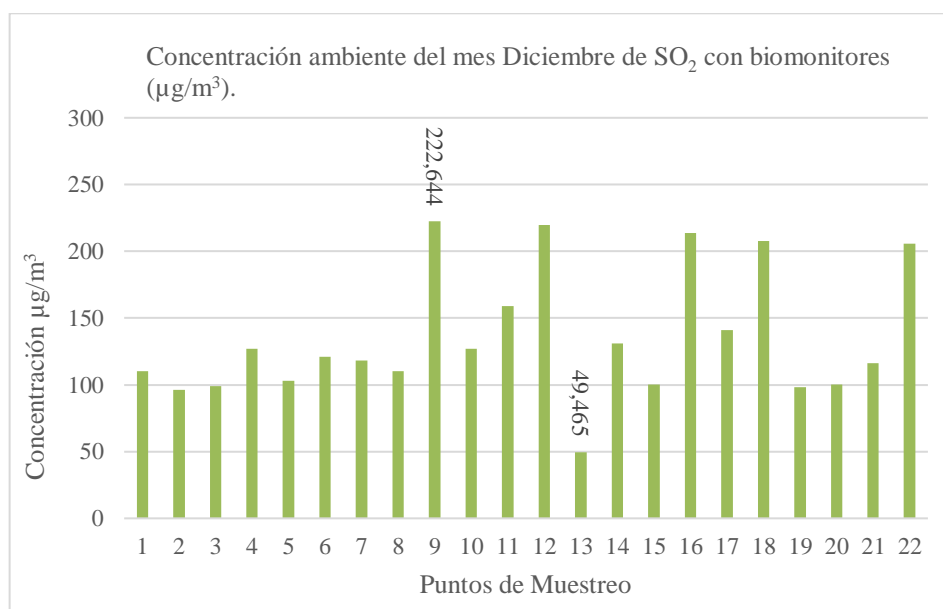
<b>Puntos de Muestreo</b>	<b>Concentración de SO<sub>2</sub> Ambiente de Diciembre Corregida (µg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Concentración de SO<sub>2</sub> Ambiente de Enero Corregida (µg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Concentración de SO<sub>2</sub> Ambiente Promedio Final Corregida (µg/m<sup>3</sup>)</b>
1	110,178	90,291	100,235
2	96,244	74,363	85,304
3	99,229	72,372	85,801
4	127,097	100,246	113,672
5	103,211	95,269	99,240
6	121,126	101,242	111,184
7	118,14	105,224	111,682
8	110,178	96,264	103,221
9	222,644	169,931	196,288
10	127,097	102,237	114,667
11	158,946	119,161	139,054
12	219,658	174,908	197,283
13	49,465	25,584	37,525
14	131,078	110,201	120,640
15	100,225	80,336	90,281
16	213,687	185,859	199,773

17	141,031	108,21	124,621
18	207,715	171,922	189,819
19	98,234	61,422	79,828
20	100,225	75,359	87,792
21	116,149	85,314	100,732
22	205,725	170,926	188,326

Realizado por: Castillo, Luis, 2022.

Dentro de la tabla 17-3 se enmarcan los niveles de dióxido de azufre cuantificados en el aire ambiente a través de briofitas de la especie *Rhaphidorrhynchium* en los 22 puntos de análisis establecidos en la zona de estudio durante el periodo evaluativo diciembre (2021) y enero (2022). Los niveles de SO<sub>2</sub> en el aire ambiente cuantificados durante el mes de diciembre presentaron como valor más alto 222,644 (µg/m<sup>3</sup>) y como valor más bajo 49,465 (µg/m<sup>3</sup>), a su vez en el mes de enero los niveles de SO<sub>2</sub> presentaron una reducción leve ya que, como valor más alto se obtuvo 185,859 (µg/m<sup>3</sup>) y como valor más bajo 25,584 (µg/m<sup>3</sup>), en función de los resultados anteriores se establecieron las concentraciones ambientales promedio de SO<sub>2</sub> obteniendo como valor más alto 199,773 (µg/m<sup>3</sup>) y como valor más bajo 37,525 (µg/m<sup>3</sup>).

### 3.5.7. Variación de la concentración ambiente del mes de diciembre corregida de SO<sub>2</sub> con biomonitores de la especie *Rhaphidorrhynchium*



**Gráfico 15-3:** Concentración del mes Diciembre de SO<sub>2</sub> con biomonitores *Rhaphidorrhynchium*

Realizado por: Castillo LL, Luis D, 2022.

Dentro del gráfico 15-3 se resume los niveles de SO<sub>2</sub> evaluados con briofitas de la especie *Rhaphidorrhynchium* en el Mercado Mayorista de Ambato en el periodo evaluativo diciembre

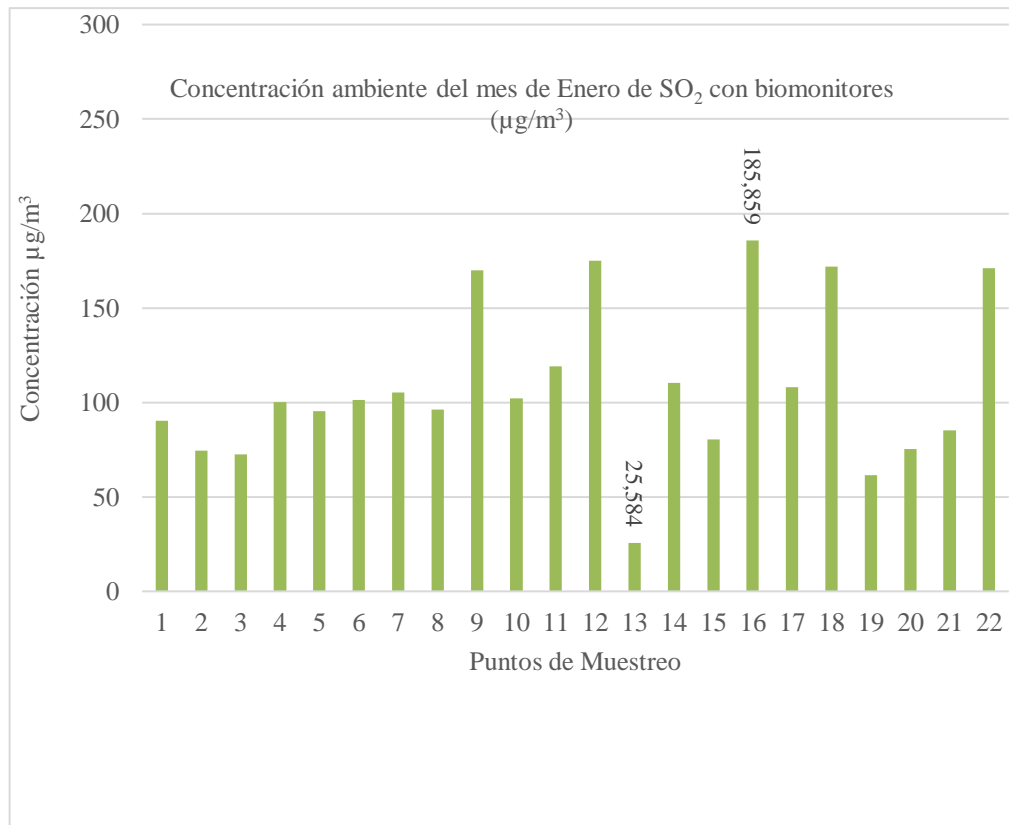
2021. Los resultados señalan que el punto más contaminado con SO<sub>2</sub> es el punto 9 con un valor de 222,644 µg/m<sup>3</sup> los niveles de polución en este punto son consecuentes de la ubicación ya que, se encuentra en el acceso principal de ingreso de automotores al mercado, además está conectado con 2 avenidas con amplio abroquelamiento vehicular. Por el otro extremo el punto menos contaminado con SO<sub>2</sub> es el punto 13 con un valor 49,465 µg/m<sup>3</sup>, los bajos índices de contaminación en este punto se deben primordialmente a su ubicación ya que se sitúa ampliamente apartado de las emanaciones generados por el masivo abroquela miento de automotores.

Entre tanto los demás puntos presentan valores medianamente altos porque están ubicados en zonas abroqueladas con automotores en un diámetro que cubre el acceso al mercado donde por lo general los automotores se abroquelan hasta esperar su turno de ingreso al mercado.

En base a los resultados se puede decir que según los valores recopilados en el periodo evaluativo de diciembre con briofitas de la especie *Metzgeriaceae* se acumuló una mayor cantidad de dióxido de nitrógeno SO<sub>2</sub>, conforme el estudio ejecutado por (Orozco y Romaña, 2018, p. 52–53) ya que, en los días de feria del mercado la generación de dióxido de azufre se eleva debido al aumento significativo de vehículos que transitan e ingresan al mercado, de esta forma los puntos más contaminados serán aquellos donde la concurrencia de automotores es alta y prolonga ya que la quema de combustibles es elevada.

En base a los resultados se puede decir que según los valores obtenidos en el mes de diciembre los biomonitores de la especie *Rhaphidorrhynchium* acumularon una menor cantidad de dióxido de azufre SO<sub>2</sub> respecto a los biomonitores de la especie *Metzgeriaceae* conforme al estudio ejecutado por (González, 2018, p. 68) ratifica que los organismos vegetales que sirven como biomonitores demuestran su poder de bioacumulación en función de sus características morfológicas y de sus capacidades de adaptación propias de cada especie.

Variación de la concentración ambiente del mes de enero corregida de SO<sub>2</sub> con biomonitores de la especie *Rhaphidorrhynchium*



**Gráfico 16-2:** Concentración del mes Enero de SO<sub>2</sub> con biomonitores *Rhaphidorrhynchium*

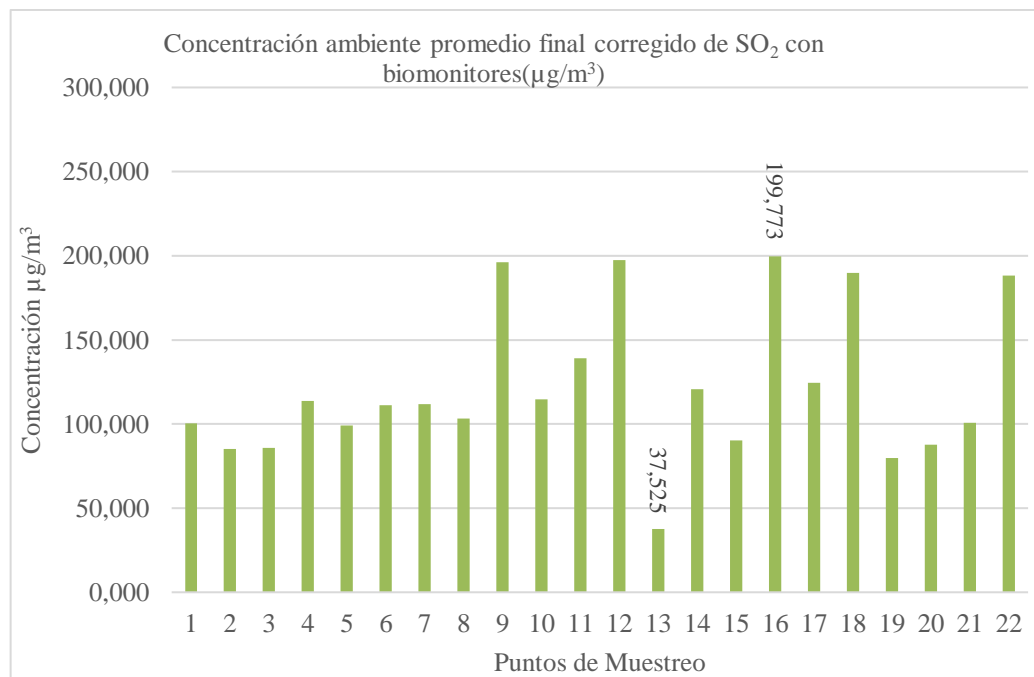
Realizado por: Castillo, Luis, 2022.

Dentro del gráfico 16-3 se resumen los niveles de SO<sub>2</sub> evaluados con briofitas de la especie *Rhaphidorrhynchium* a lo largo del periodo evaluativo enero (2022), aquí se puede visualizar una leve reducción en los niveles de contaminación respecto a los datos recopilados en diciembre. En este caso los resultados señalan que el punto más contaminado con SO<sub>2</sub> es el punto 16 con un valor de 185,859 µg/m<sup>3</sup>, por el extremo inferior el punto menos contaminado con SO<sub>2</sub> es el punto 13 con un valor de 25,584 µg/m<sup>3</sup>. De esta forma se contrasta que en el periodo evaluativo enero (2022) existe una reducción parcial en la concentración de dióxido de azufre en todos los puntos respecto a los resultados del mes anterior.

En el estudio ejecutado por (Gutiérrez, 2021, p. 19–22) instaurar que las principales fuentes productoras de SO<sub>2</sub> son los vehículos automotores que utilizan como combustible gasolina o diésel, estos son los principales responsables del 60% de las emisiones de contaminantes a la atmosfera. A través de una comparación directa se contrasta que los principales responsables de la contaminación que genera dióxido de azufre son los automotores debido a que en determinadas zonas el abroquela miento vehicular genera elevadas descargas de gases contaminantes los cuales degradan la calidad del aire ambiente y afectan la salud de la población aledaña.



### 3.5.8. Variación de la concentración promedio ambiente final corregida de SO<sub>2</sub> con biomonitores de la especie *Rhaphidorrhynchium*



**Gráfico 17-3:** Concentración promedio final de SO<sub>2</sub> con biomonitores *Rhaphidorrhynchium*

Realizado por: Castillo, Luis, 2022.

Dentro del gráfico 17-3 se resumen los niveles de SO<sub>2</sub> promedio evaluados con briofitas de la especie *Rhaphidorrhynchium* en el Mercado Mayorista de Ambato en el periodo evaluativo diciembre (2021) y enero (2022). Los resultados señalan que el punto más contaminado con SO<sub>2</sub> es el punto número 16 con un valor de 199,773  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  los niveles de polución en este punto son consecuentes a su ubicación ya que en la zona se genera una elevada aglomeración de vehículos automotores. Por el otro extremo el punto menos contaminado con SO<sub>2</sub> es el punto 13 con un valor de 37,525  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , los bajos índices de contaminación en este punto se deben primordialmente a su ubicación ya que se sitúa ampliamente apartados del abroquelamiento vehicular los cuales generan las mayores emisiones de contaminantes en la zona de estudio.

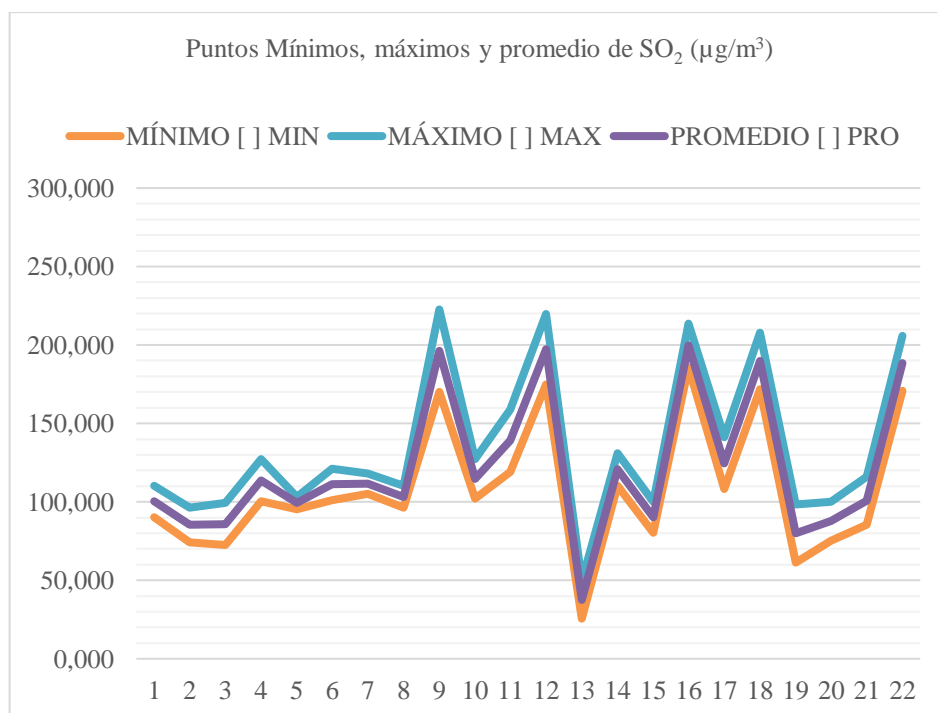
Los mayores niveles de contaminación por SO<sub>2</sub> se sitúan en los puntos 2, 3, 5, 13, 15, 19 y 20 estos valores son consecuentes al elevado tráfico vehicular y las continuas emisiones de contaminantes. Los bajos índices de contaminación por SO<sub>2</sub> se sitúan en los puntos 9, 10, 12, 16, 17, 18 y 22 estos valores son consecuentes ya que en la zona no existe tráfico vehicular y la concurrencia de automotores es limitada, también se reflejan pequeñas zonas con vegetación urbana en sus cercanías.

El estudio ejecutado por (Noriega, et al. 2008, p. 10) insta a las briofitas como un nuevo camino en

la evaluación de la polución en el aire contrastando los resultados expresados en este proyecto puesto que se trabajó con briofitas de diferentes especies para absorber contaminantes como el dióxido de nitrógeno (SO<sub>2</sub>) obteniendo buenos resultados. En base a los datos recopilados se instaaurar que en el mes de diciembre se generó mayores niveles de contaminación de SO<sub>2</sub> respecto al mes de enero. En virtud de ello en el mes enero se bioacumuló una mayor cantidad de contaminantes por parte de las briofitas o en su momento se generó un incremento exponencial del abroquelamiento vehicular en la zona de estudio, elevado así los índices de contaminación. Desde un punto de vista adverso al comparar los valores obtenidos en las concentraciones de SO<sub>2</sub> con los valores obtenidos en las concentraciones de NO<sub>2</sub> se pueden observar un menor porcentaje de absorción.

Existen valores significativamente altos un claro ejemplo son los puntos 9, 10, 12, 18, 21 y 22 los cuales están ubicados en tres avenidas principales que rodean la zona de estudio, estas tres avenidas presentan aglomeración vehicular masiva.

### 3.5.9. Puntos mínimos, máximos y promedios de concentración de SO<sub>2</sub> con biomonitores de la especie *Rhaphidorrhynchium*



**Gráfico 18-3:** Puntos mínimos, máximos y promedios de SO<sub>2</sub> con biomonitores *Rhaphidorrhynchium*

**Realizado por:** Castillo, Luis, 2022.

Dentro del gráfico 18-3 se visualizan los puntos mínimos, máximos y promedios evaluados con briofitas de la especie *Rhaphidorrhynchium* en el Mercado Mayorista de Ambato en el periodo

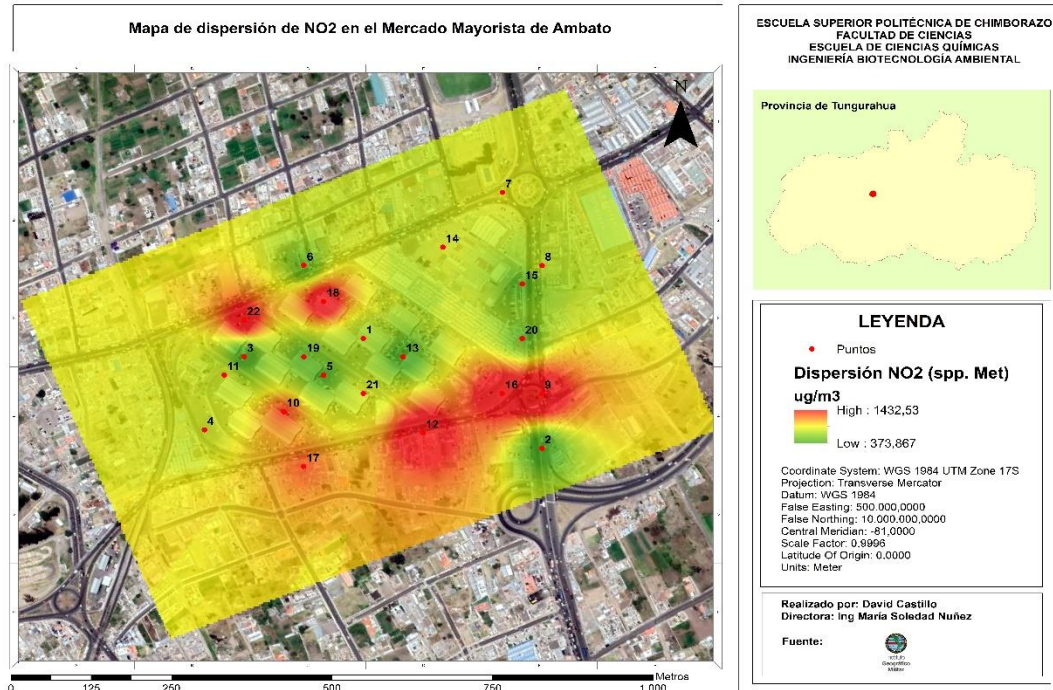
evaluativo diciembre (2021) y enero (2022). Conforme al gráfico como puntos mínimos tenemos los puntos 1, 2, 3, 13, 15 en estos puntos los niveles de contaminación por SO<sub>2</sub> son leves y desde un punto de vista adverso estos puntos también corresponden a las zonas más limpias y libres de contaminantes atmosféricos. Los puntos máximos registrados en el estudio son los puntos 9, 10, 12, 16, 17, 18 y 22 en estos puntos los niveles de contaminación por SO<sub>2</sub> son altos y en conjunto constituyen la zona más contaminada en el Mercado Mayorista de la ciudad de Ambato.

Los niveles de contaminación por SO<sub>2</sub> presentan dos extremos bien definidos por un lado el punto con mayor índice de contaminación es el punto 9 con un valor de 222,644 µg/m<sup>3</sup>, debido al elevado abroquelamiento vehicular en la zona, lo que se ratifica con el estudio ejecutado por (Orozco y Romaña, 2018, p. 52–53) el cual explica que se obtiene mayor generación de SO<sub>2</sub> por medio de fuentes automovilísticas debido a que el proceso de combustión de la gasolina o del diésel son una fuente de emisión directa de SO<sub>2</sub> vehicular en el otro extremo se ubica el punto con menor índice de contaminación es el punto 13 con un valor de 25,584 µg/m<sup>3</sup>, este valor es consecuente ya que en la zona no existe tráfico vehicular y la concurrencia de automotores es limitada, también se reflejan pequeñas zonas con vegetación urbana en sus cercanías.

Lo que se ratifica con el estudio ejecutado por (Caiza, 2020, p. 13) el cual insta que las briofitas empleadas como biomonitores indican la presencia de contaminantes o perturbaciones en el aire ambiente de forma cualitativa y cuantitativa en base a ello en puntos o zonas donde exista un alto índice vehicular se obtendrá una mayor generación de SO<sub>2</sub> consecuentes a la combustión y a las emisiones que estos generan en el ambiente. De igual modo en el punto 3 tiene el valor más bajo de concentración por ser un punto apartado del abroquelamiento vehicular ya que en este punto la circulación vehicular es baja y existe la presencia de vegetación urbana la cual disminuye la absorción de este contaminante por parte de las briofitas.

### 3.6. Análisis de las concentraciones de NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> empleando el software ArcGIS

#### 3.6.1. Concentración promedio final de NO<sub>2</sub> con biomonitores de la especie *Metzgeriaceae*



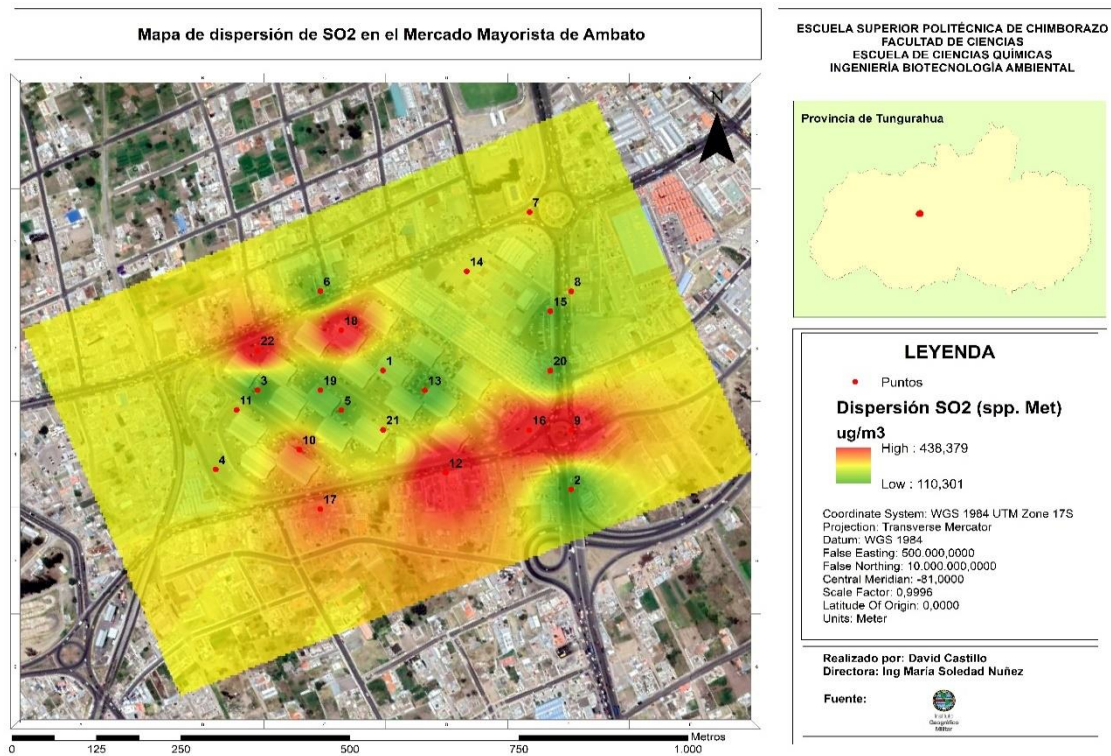
**Figura 8-3:** Concentraciones promedio finales de NO<sub>2</sub> analizadas con biomonitores *Metzgeriaceae*  
Realizado por: Castillo, Luis, 2022.

Dentro de la figura 8-3 se representan los niveles de contaminación de NO<sub>2</sub> bioanalizados con briofitas de la especie *Metzgeriaceae* en los 22 puntos de análisis a lo largo de todo el periodo evaluativo.

En el mapa de dispersión de NO<sub>2</sub> se representa gráficamente todos los niveles de contaminación dentro de un área de análisis que engloba todo el Mercado Mayorista de Ambato. En la gráfica se perciben diversas zonas coloreadas con un color representativo en función de la cantidad de contaminante cuantificado en cada punto. Con un color rojizo se representan los puntos 9, 10, 12, 16, 17, 18 y 22 estos son los más contaminados, a su vez la cercanía entre estos puntos permite la formación de una nube rojiza de contaminantes. De un color amarillo se representan los puntos parcialmente contaminados, y de color verde se representan los puntos 2, 3, 5, 13, 15, 19, y 20 estos son los puntos menos contaminados.

Estableciendo una comparación directa con el estudio ejecutado por (Pardo, 2019, p. 58) se determina que los altos niveles de NO<sub>2</sub> repercuten negativamente en la salud de la población aledaña y encaminan a un rápido deterioro del ambiente sino son regulados a tiempo.

### 3.6.2. Concentración promedio final de SO<sub>2</sub> con biomonitores de la especie *Metzgeriaceae*

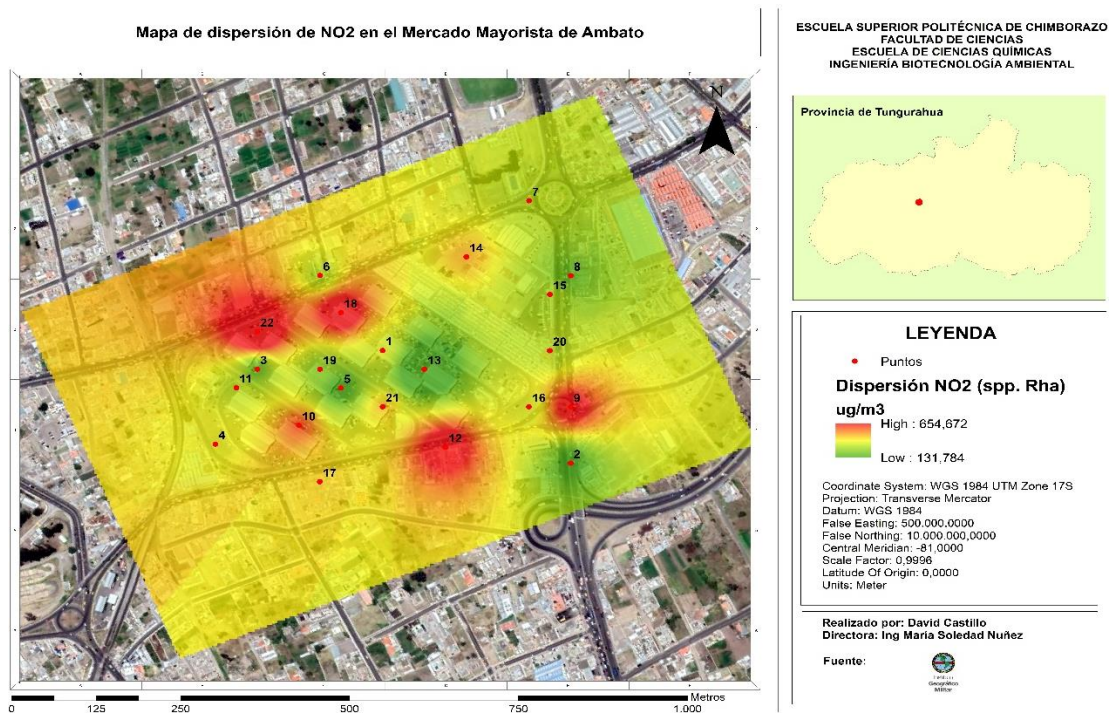


**Figura 9-3:** Concentraciones promedio finales de SO<sub>2</sub> analizadas con biomonitores *Metzgeriaceae*  
Realizado por: Castillo, Luis, 2022.

Dentro de la figura 9-3 se representan los niveles de contaminación de SO<sub>2</sub> bioanalizados con briofitas de la especie *Metzgeriaceae* en los 22 puntos de análisis a lo largo de todo el periodo evaluativo. En el mapa de dispersión de SO<sub>2</sub> se representa gráficamente todos los niveles de contaminación dentro de un área de análisis que engloba todo el Mercado Mayorista de Ambato. En la gráfica se perciben diversas zonas coloreadas con un color representativo en función de la cantidad de contaminante cuantificado en cada punto. Con un color rojizo se representan los puntos 9, 10, 12, 16, 17, 18 y 22 estos son los más contaminados, a su vez la cercanía entre estos puntos permite la formación de una nube rojiza de contaminantes los cuales rodean los principales accesos de vehículos al mercado. De un color amarillo se representan los puntos parcialmente contaminados, y de color verde se representan los puntos 2, 3, 5, 13, 15, 19, y 20 estos son los puntos menos contaminados.

Conforme el estudio ejecutado por (Gutiérrez, 2021, p. 19–22) señala que el dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) tiene una dependencia directa con abroquelamiento vehicular, mientras mayor tiempo circulen los automotores sin ninguna medida restrictiva mayores niveles de contaminantes se generan en la zona.

### 3.6.3. Concentración promedio final de NO<sub>2</sub> con biomonitores de la especie *Rhaphidorrhynchium*

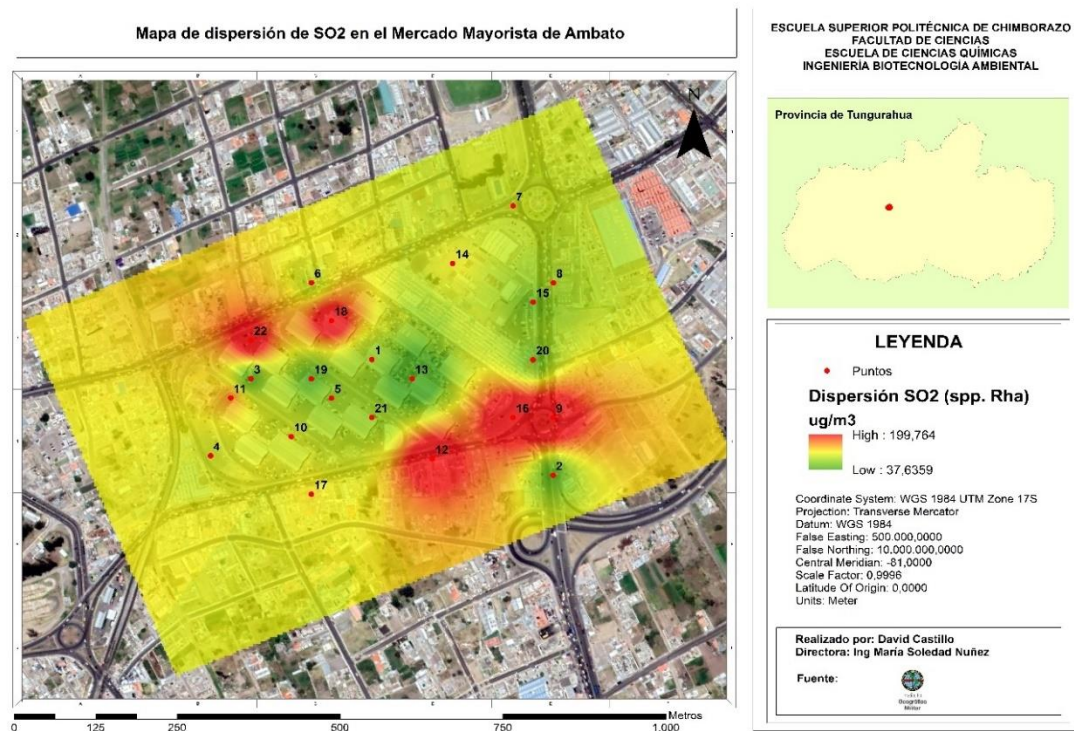


**Figura 10-3:** Concentraciones promedio finales de NO<sub>2</sub> analizadas con biomonitores *Rhaphidorrhynchium*  
Realizado por: Castillo, Luis, 2022.

Dentro de la figura 10-3 se representan los niveles de contaminación de NO<sub>2</sub> bioanalizados con briofitas de la especie *Rhaphidorrhynchium* a lo largo de todo el periodo evaluativo. En el mapa de dispersión de NO<sub>2</sub> se representa gráficamente todos los niveles de contaminación dentro de un área de análisis que engloba todo el Mercado Mayorista de Ambato. En la gráfica a simple vista se perciben una disminución significativa en la concentración de contaminantes atmosféricos respecto al mes anterior, en diversas zonas coloreadas con un color representativo en función de la cantidad de contaminante cuantificado en cada punto. Se puede apreciar que con un color rojizo se representan los puntos 9, 10, 12, 18 y 22 estos son los más contaminados, a su vez la cercanía entre estos puntos permite la formación de pequeñas nubes rojizas de contaminantes. De un color amarillo se representan los puntos parcialmente contaminados, y de color verde se representan los puntos 2, 3, 5, 13, 15, 19, y 20 estos son los puntos menos contaminados.

Estableciendo una comparación directa con el estudio ejecutado por (Pardo, 2019, p. 58) se determina que los altos niveles de NO<sub>2</sub> repercuten negativamente en la salud y encaminan a un rápido deterioro del ambiente sino son regulados a tiempo. Afortunadamente en este periodo evaluativo se generó una reducción significativa del contaminante en función del mes anterior.

### 3.6.4. Concentración promedio final de SO<sub>2</sub> con biomonitores de la especie *Rhaphidorrhynchium*



**Figura 11-3:** Concentraciones promedio finales de SO<sub>2</sub> analizadas con biomonitores *Rhaphidorrhynchium*

Realizado por: Castillo, Luis, 2022.

Dentro de la figura 11-3 se representan los niveles de contaminación de SO<sub>2</sub> bioanalizados con briofitas de la especie *Rhaphidorrhynchium* a lo largo de todo el periodo evaluativo. En el mapa de dispersión de SO<sub>2</sub> se representa gráficamente todos los niveles de contaminación dentro de un área de análisis que engloba todo el Mercado Mayorista de Ambato. En la gráfica a simple vista se perciben una disminución significativa en la concentración de contaminantes atmosféricos respecto al mes anterior, en diversas zonas coloreadas con un color representativo en función de la cantidad de contaminante cuantificado en cada punto. Se puede apreciar que con un color rojizo se representan los puntos 9, 10, 12, 16, 17, 18 y 22 estos son los más contaminados, a su vez la cercanía entre estos puntos permite la formación de una nube rojiza de contaminantes los cuales rodean los principales accesos de vehículos al mercado. De un color amarillo se representan los puntos parcialmente contaminados, y de color verde se representan los puntos menos contaminados.

Conforme el estudio ejecutado por (Gutiérrez, 2021, p. 19–22) señala que el dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) tiene una dependencia directa con abroquelamiento vehicular, mientras mayor tiempo circulen los automotores sin ninguna medida restrictiva mayores niveles de contaminantes se generan en la zona.

### 3.7. Normativa de la calidad del Aire

**Tabla 18-3:** Concentraciones de NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> transformadas para comparación con los límites permisibles.

PUNTOS	Biomonitoreo con briofitas especie <i>Metzgeriaceae</i>		Biomonitoreo con briofitas especie <i>Rhaphidorrhynchium</i>	
	Concentración de NO <sub>2</sub> en una hora en el mes de diciembre (µg/m <sup>3</sup> )	Concentración de SO <sub>2</sub> en 24 horas en el mes de enero (µg/m <sup>3</sup> )	Concentración de NO <sub>2</sub> en una hora en el mes de diciembre (µg/m <sup>3</sup> )	Concentración de SO <sub>2</sub> en 24 horas en el mes de enero (µg/m <sup>3</sup> )
1	0,926	6,327	0,505	3,341
2	0,531	3,673	0,360	2,843
3	0,516	3,690	0,404	2,860
4	1,025	7,240	0,516	3,789
5	0,630	4,619	0,341	3,308
6	0,733	5,365	0,474	3,706
7	1,098	8,086	0,479	3,723
8	0,986	7,057	0,400	3,441
9	1,977	14,506	0,727	6,543
10	1,541	10,707	0,639	3,822
11	1,038	7,505	0,483	4,635
12	1,990	14,622	0,911	6,576
13	0,556	3,822	0,183	1,251
14	1,058	7,837	0,571	4,021
15	0,689	4,851	0,470	3,009
16	1,975	13,627	0,505	6,576
17	1,486	10,840	0,549	4,154
18	1,916	14,456	0,786	6,327
19	0,674	4,635	0,437	2,661
20	0,694	4,718	0,474	2,926
21	1,060	7,588	0,558	3,358
22	1,859	13,411	0,911	6,278

Realizado por: Castillo, Luis, 2022.

Dentro de la tabla 18-3 se muestran los resultados recopilados en el estudio luego de la transformación de la concentración de NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> obtenidas con las briofitas *Metzgeriaceae* y *Rhaphidorrhynchium*. Esta concentración se refleja desarrollada en un periodo de un mes por lo que es propicio transformarla a un lapso de horas acorde con la normativa nacional vigente y a los límites permisibles establecidos en el REGISTRO OFICIAL EDICIÓN ESPECIAL N.º 387 para la calidad del aire. La transformación se la realizo con la finalidad de trabajar bajo las mismas unidades conforme la normativa ambiental lo establece y de tal forma verificar si los valores cuantificados en el estudio cumplen con la normativa legal establecida (Ministerio del Ambiente, 2015, p. 55).

En función de los resultados recopilados en el estudio la concentración de NO<sub>2</sub> bioanalizada con briofitas de la especie *Metzgeriaceae* y briofitas *Rhaphidorrhynchium* cumple con los límites permisibles según la normativa ambiental ecuatoriana.



El bioanálisis recabo datos sumamente bajos en comparación con los máximos valores permitidos. El valor de NO<sub>2</sub> más alto registrado en el proyecto con briofitas *Metzgeriaceae* fue de 1,990 µg/m<sup>3</sup> cuantificados en una hora y el valor de SO<sub>2</sub> más alto registrado en el proyecto con briofitas *Metzgeriaceae* fue de 14,622 µg/m<sup>3</sup> cuantificados en veinte y cuatro horas. Con briofitas *Rhaphidorrhynchium* el valor de NO<sub>2</sub> más alto registrado fue de 0,911 µg/m<sup>3</sup> cuantificados en una hora y el valor SO<sub>2</sub> más alto registrado en el proyecto con briofitas *Rhaphidorrhynchium* fue de 6,57 µg/m<sup>3</sup> cuantificados en veinte y cuatro horas. Estos valores obtenidos se justifican debido a la excesiva cantidad de gases provenientes de los automotores acumulados en la zona, la cual aumentan progresivamente el nivel de contaminación. En base a los resultados recopilados los niveles de contaminación de NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> en el aire ambiente bioanalizados con briofitas de la especie *Metzgeriaceae* y *Rhaphidorrhynchium* cumplen a cabalidad con los límites permisibles establecidos por normativa ambiental ecuatoriana.

## CONCLUSIONES

Para determinar la presencia de contaminantes atmosféricos en el sector del Mercado Mayorista de la ciudad de Ambato, se empleó briofitas *Metzgeriaceae* y *Rhaphidorrhynchium* como biomonitores. El estudio reveló que la presencia de estos contaminantes en el sector se debe principalmente al elevado tránsito vehicular que existe en determinadas zonas del sector donde la aglomeración y frecuencia de vehículos es elevada, entre ellos resaltan los contaminantes NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> productos de la combustión interna de los motores los cuales generan emisiones directas de contaminantes al aire ambiente debió a la quema de combustibles fósiles como la gasolina o diésel.

Se evaluó la concentración en el aire ambiente de NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> a través de los biomonitores establecidos en cada uno de los puntos de monitoreo en un área total de 2000 (m<sup>2</sup>) los cuales abarcan todo el sector del Mercado Mayorista de la ciudad de Ambato. El análisis de éstos biomonitores se realizó por espectrofotometría UV- Visible y cálculos matemáticos mediante los cuales se obtuvo que en los biomonitores de la especie *Metzgeriaceae*, el punto que refleja mayor concentración de contaminantes NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> es el punto número 12, el cual se ubica en la puerta de ingreso al mercado y en el existe una elevada aglomeración de automotores por estar ubicado en una de las principales arterias viales de circulación. Mientras que por otra parte el punto que refleja menor grado de concentración de contaminantes NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> es el punto 3 este punto tiene el valor más bajo de concentración por ser el punto más alejado de la congestión vehicular y por qué en los alrededores del punto existen pequeñas zonas verdes las cuales disminuyen la concentración de contaminantes en la zona. Por otro lado, los resultados obtenidos con los biomonitores de la especie *Rhaphidorrhynchium* son mucho menores que los obtenidos con los de la especie anterior, aquí el punto que refleja mayor concentración de contaminantes NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> es el punto número 22, el cual pertenece a la puerta de salida del mercado, en el existe una elevada aglomeración de automotores ya que aquí se ubica una casata de pago que detiene a los vehículos y genera tráfico vehicular. Mientras que por otra parte el punto que refleja menor grado de concentración de contaminantes NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> es el punto 13 este punto tiene el valor más bajo de concentración por ser el punto más alejado de la congestión vehicular.

A través de los mapas temáticos se puede apreciar las zonas con mayor presencia de NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>, se obtiene que los contaminantes tienden a estar dispersos en mayor concentración en los puntos 9, 12 y 16 los cuales se ubican en la rotonda que conecta 2 amplias arterias viales como la Av. Julio Jaramillo y la Av. Bolivariana y a su vez están en la cercanía de la puerta de entrada de vehículos al Mercado Mayorista, por ende la zona tiene alto grado de circulación vehicular y una masiva generación de emisiones de contaminantes. Existe una tendencia promedio de

contaminantes en la puerta de salida del Mercado Mayorista en los puntos 18 y 22 debido a que aquí se ubica una casata de pago que detiene a los vehículos y genera tráfico vehicular. En las zonas de color verde se ubican los puntos con menor concentración de contaminantes, aquí la circulación vehicular es baja y existe la presencia de pequeñas áreas verdes que disminuyen la absorción de contaminantes por parte de los biomonitores.

Luego de evaluar las diferentes especies de briofitas recolectadas, se determinó que las briofitas de la especie *Metzgeriaceae* y las briofitas de la especie *Rhaphidorrhynchium* presentaron buenos resultados respecto a las otras especies recolectadas luego de ser sometidas a la inyección directa de contaminantes atmosféricos ya que, estas especies no se encontraban secas, muchas de ellas presentaban aun una coloración verdosa lo que indica que las plantas lograron adaptarse al nuevo ambiente y tolerar las perturbaciones generadas por los agentes contaminantes en su estructura, de esta manera se puede establecer que estas especies presentan una mayor resistencia y un menor grado de sensibilidad por tanto son aptas para ser empleadas como biomonitores en el estudio de contaminantes atmosféricos generados por las fuentes móviles en el sector “Mercado Mayorista” del cantón Ambato.

Finalmente, al evaluar la calidad del aire ambiente a través de biomonitores en el sector del Mercado Mayorista de la ciudad de Ambato se determinó que todos los valores obtenidos en el estudio se encuentran dentro de los límites permisibles establecido por el Ministerio del Ambiente del Ecuador, y por la Organización Mundial de la Salud. 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 1,99 (µg/m<sup>3</sup>) en una hora. Para el SO<sub>2</sub>, según la normativa ecuatoriana, el límite es de 125 (µg/m<sup>3</sup>) en 24 horas, mientras que el límite de la OMS es de 20 (µg/m<sup>3</sup>) en 24 horas, el valor máximo obtenido en este estudio fue de 14,622 (µg/m<sup>3</sup>) en 24 horas. Los valores obtenidos se encuentran dentro de los límites permisibles según la normativa de calidad nacional e internacional pero siempre son bienvenidas todas las soluciones e ideas innovadoras que permitan reducir la contaminación, preservar el ambiente y brindar una mejor calidad de vida para la población aledaña.

## **RECOMENDACIONES**

Utilizar con mayor frecuencia los biomonitores para la determinación de la calidad del aire ambiente ya que son elementos propios de la naturaleza y plantean una excelente alternativa desde el punto de vista económico y técnico. Estos biomonitores abren una nueva alternativa a la hora de determinar la calidad del aire dentro de una zona de estudio en un periodo establecido obteniendo buenos resultados.

Abarcar un área de estudio más extensa y aumentar los puntos de muestreo para constatar de mejor manera la calidad del aire y la dispersión de los contaminantes atmosféricos que presenta la zona de estudio en este caso el Mercado Mayorista de la ciudad de Ambato.

Realizar un estudio exploratorio a fin de determinar nuevas especies endémicas de briofitas en la provincia de Tungurahua, con la finalidad de emplearlas como biomonitores en la determinación de la calidad del aire ambiente a fin obtener biomonitores con un mejor rendimiento a nivel general y con mejores condiciones y capacidades de adaptación.

Incorporar información del estudio a realizar en cada punto de muestreo a fin de informar a los usuarios y evitar la manipulación o la sustracción de las muestras por parte de personas ajenas, para evitar alteraciones en los resultados y proporcionar valores más confiables y óptimos.

Fomentar en la población la importancia de la calidad del aire ambiente y generar nuevas alternativas de movilidad dentro en el Mercado Mayorista de la ciudad de Ambato a fin reducir las emisiones de contaminantes atmosféricos generados mayormente por los automotores.

## BIBLIOGRAFÍA

**ÁLVARO, W., BECERRA, D. y CÁRDENAS, K.** Catálogo comentado de musgos, hepáticas y antoceros acuáticos del río Teatinos (Boyacá, Colombia). MUTIS [en línea], 2019, (Colombia) vol. 9, no. 2, pp. 49–61. [Citado el: 18 Abril de 2022]. ISSN 9998-1564. Disponible en: <https://revistas.utadeo.edu.co/index.php/mutis/article/view/1564/1556>.

**ATSDR**, 2016. Óxidos de nitrógeno. Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades [en línea]. [Citado el: 12 Enero de 2022]. Disponible en: [https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es\\_tfacts175.html](https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts175.html).

**BERMEO, Jairon. y VEGA, Denis.**, 2018. Evaluación de Contaminantes Atmosféricos en los principales mercados de la ciudad de Riobamba [en línea]. (Trabajo de titulación). (Pregrado) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2018. pp. 37-54. [Citado el: 27 Abril de 2022]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/8948/1/236T0345.pdf>.

**CABAÑA, A. y ELLENA, M.** Briofitas. [en línea]. Corrientes-Argentina: FACENA (UNNE), 2015. [Citado el: 13 Abril de 2022]. Disponible en: <https://exa.unne.edu.ar/carreras/docs/estudio%20BRIOFITOS.pdf>.

**CAIZA, Stephanie.**, 2020. Análisis de la Información Científica de Líquenes (Cup Lichen) y Musgo (Bryophyta Sp) Utilizados como Bioindicadores de Calidad de Aire [en línea]. (Trabajo de Titulación). (Pregrado) Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, Ecuador. 2020. pp. 13-14. [Citado el: 18 Diciembre 2021]. Disponible en: <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/7081/1/PC-001022.pdf>.

**CAMILLONI, I. y VERA, C.** La Atmósfera Ciencias Naturales. EXPLORA LAS CIENCIAS EN EL MUNDO CONTEMPORÁNEO [en línea], 2019, (México) vol. 1, no. 1, pp. 1–4. [Citado el: 15 Diciembre de 2021]. Disponible en: <http://www.bnm.me.gov.ar/giga1/documentos/EL002316.pdf>.

**CARRALES, B. y HERNANDEZ, I.** Metodologías para el Muestreo de la Calidad del Aire. Vidsupra (Visión Científica) [en línea], 2019, (México) vol. 11, no. 1, pp. 8–10. [Citado el: 16 Mayo de 2022]. Disponible en: <https://www.ciidirdurango.ipn.mx/assets/files/ciidirdurango/docs/VIDSUPRA/REVISTAS/VS->

V11N1.pdf#page=11.

**CHUET-MISSÉ, J.**, 2017. NO<sub>2</sub>, el peligroso contaminante que afecta a la capacidad de atención de los niños. [en línea], [Citado el: 4 Abril de 2022]. Disponible en: <https://www.lavanguardia.com/natural/20170226/42280025427/no2-dioxido-de-nitrogeno-peligroso.html>.

**CIRES, E.**, 2018. Manual para la Recolección de Plantas y su Herborización. [en línea]. [Citado el: 24 Abril de 2022]. Disponible en: <https://herbario.uniovi.es/>.

**COMISIÓN NACIONAL DE ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS**, 2018. El aire: elemento de vida en la Tierra. [en línea]. [Citado el: 4 Enero de 2022]. Disponible en: <https://www.gob.mx/conanp/articulos/el-aire-elemento-de-vida-en-la-tierra>.

**ECHEVERRI, A.** Contaminación atmosférica [en línea]. Bogotá-Colombia: Ediciones de la U, 2019. [Citado el: 15 Diciembre de 2021]. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/epoch/127067?page=5>.

**EP-EMA**, 2021. Mayorista Revista Informativa. [en línea]. [Citado el: 15 Diciembre de 2021]. Disponible en: <http://ambato-ema.gob.ec/wp-content/uploads/2021/06/REVISTA-DIGITAL-MERCADO-MAYORISTA-AMBATO.pdf>. **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**, 1995. Datos Generales [en línea]. [Citado el: 9 Enero de 2022]. Disponible en: <http://www.epoch.edu.ec>

**FONSECA, Franklin.**, 2021. Evaluación de la calidad de aire mediante la aplicación de biomonitores en el terminal Inter cantonal de la ciudad de Riobamba [en línea]. (Trabajo de Titulación). (Pregrado) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2021. pp. 85-86. [Citado el: 3 Enero de 2022]. Disponible en: <http://dspace.epoch.edu.ec/bitstream/123456789/14675/1/236T0532.pdf>.

**GALAGOVSKY, L., DI GIACOMO, M. y SALVADOR, A.** Estequiometría y ley de conservación de la masa: lo que puede ocultar la simplificación del discurso experto. Ciencia & Educação [en línea], 2015, (Argentina) vol. 21, no. 2, pp. 351–360. [Citado el: 4 Junio de 2022]. ISSN 1516-7313. Disponible en: <https://www.scielo.br/j/ciedu/a/R95LksJgPFPJBWCf3pDxZqf/?format=pdf&lang=es>.

**GARCÍA, Aida.**, 2018. Estudio Sobre la Reducción de Emisiones NOx y SOx [en línea]. (Trabajo de Titulación). (Pregrado) Universidad de Cantabria, Santander, España. 2018. pp. 52-54. [Citado el: 12 Enero de 2022]. 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) vol. 7, no. 1, pp. 142. [Citado el: 25 Abril de 2022]. ISSN 1697-011. Disponible en: <https://revistas.uca.es/index.php/eureka/article/view/2634>.

**PEÑA, J., SARMIENTO, L., RODRÍGUEZ, M. y PORRAS, L.** Uso de bioindicadores para la evaluación de la calidad del agua en ríos: aplicación en ríos tropicales de alta montaña. UG Ciencia [en línea], 2016, (Colombia) vol. 23, pp. 47–62. [Citado el: 18 Diciembre de 2021]. Disponible en: <http://10.18634/ugcj.23v.Oi.659>.

**GBIF SECRETARIAT**, 2021. Metzgeriaceae Taxonomy. [en línea]. [Citado el: 17 Abril de 2022]. Disponible en: <https://www.gbif.org/es/species/2274>.

**GONZÁLEZ, Andrea.**, 2018. 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). (Pregrado) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2018. pp. 68-69. [Citado el: 25 Abril de 2022]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/10244/1/236T0381.pdf>.

**GONZÁLEZ, C., VALLARINO, A., PÉREZ, J. y LOW, A.** Bioindicadores Guardianes de Nuestro Futuro Ambiental [en línea]. Ciudad de México-México: El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR), 2017. [Citado el: 18 Diciembre de 2021]. Disponible en: <https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2017/11/Bioindicadores-Guardianes-de-nuestro-futuro-ambiental.pdf>.

**GUTIÉRREZ, Aldair.**, 2021. Monitoreo de SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> y CO para estimar la calidad del aire en la ciudad de Montería [en línea]. (Trabajo de Titulación). (Pregrado) Universidad de Córdoba, Córdoba, España. 2021. pp. 19-22. [Citado el: 5 Junio de 2022]. Disponible en: <https://repositorio.unicordoba.edu.co/handle/ucordoba/4290>.

**INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA**, 2015. Principios de Medición de la Calidad del Aire [en línea]. 2015. México. [Citado el: 6 Abril de 2022]. Disponible en: <https://sinaica.inecc.gob.mx/archivo/guias/1%20Principios%20de%20Medici%C3%B3n%20de%20la%20Calidad%20del%20Aire.pdf>.

**INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO**, 2014. DOCUMENTACIÓN TOXICOLÓGICA PARA EL ESTABLECIMIENTO DEL LÍMITE DE EXPOSICIÓN PROFESIONAL DEL DIÓXIDO DE AZUFRE. [en línea]. 2014. [Citado el: 25 Abril de 2022]. Disponible en: <https://www.insst.es/documents/94886/431980/DLEP+86+DIOXIDO+DE+AZUFRE.pdf/d339b938-aa66-4f09-a056-39c2866676af?version=1.0&t=1531400826114>.

**JIMÉNEZ, M.** Bioindicadores de la Contaminación Atmosférica. MoleQla: Revista de Ciencias de la Universidad de Pablo Olavide [en línea], 2020, ( España) vol. 39. pp. 8 [Citado el: 18 Diciembre de 2021]. Disponible en: <https://www.upo.es/cms1/export/sites/upo/moleqla/documentos/Numero39/Destacado-2.pdf>.

**MINISTERIO DEL AMBIENTE**, 2011. Norma De Calidad Del Aire Ambiente [en línea]. 7 Junio de [Citado el: 4 Enero de 2022]. Disponible en: <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu112183.pdf>.

**MINISTERIO DEL AMBIENTE**, 2015. Registro Oficial N°387. [en línea].4 de Noviembre de 2015. [Citado el: 15 Diciembre de 2021]. Disponible en: [https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018-09/Documento\\_Registro-Oficial-No-387-04-noviembre-2015\\_0.pdf](https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018-09/Documento_Registro-Oficial-No-387-04-noviembre-2015_0.pdf).

**MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE**, 2016. Guía de Calidad del Aire y Educación Ambiental. [en línea]. Santiago de Chile: [Citado el: 16 Diciembre de 2021]. Disponible en: <https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2018/08/Guia-para-Docentes-Sobre-Calidad-del-Aire-003.pdf>.

**NATURALISTEC**, 2014. Género Rhabdiorrhynchium. [en línea]. [Citado el: 15 Mayo de 2022]. Disponible en: <https://ecuador.inaturalist.org/taxa/272785-Rhabdiorrhynchium>.

**NIETO, Jessica.**, 2019. Evaluación de contaminantes atmosféricos provenientes del sector automotriz en la avenida 9 de Octubre de la ciudad de Riobamba [en línea]. (Trabajo de



Titulación). (Pregrado) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2019. pp. 40. [Citado el: 5 Junio de 2022]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/11164/1/236T0448.pdf>.

**NORIEGA, P.** Biomonitorio 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. [Citado el: 15 Mayo de 2022]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/6095/1/Biomonitorio%20de%20contaminantes%20mediante%20el%20uso%20de%20briofitas%20como%20muestreadores%20biologicos%20para%20el%20aire%20de%20la%20Ciudad%20de%20Quito.pdf>.

**NORIEGA, P., MEDICI, A., MURILLO, A., BEDÓN, J., HARO, F. y GALECIO, G.** Estudio de la concentración de Cadmio y plomo en el aire de la ciudad de Quito, empleando briofitas como biomonitores. LA GRANJA. Revista de Ciencias de la Vida [en línea], 2008, (Ecuador) vol. 8, no. 2, pp. 17–24. [Citado el: 15 Mayo de 2022]. ISSN 1390-3799. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=476047392004>.

**ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD, 2021.** Calidad del aire ambiente (exterior) y salud. [en línea]. [Citado el: 9 Junio de 2022]. 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).

**ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD, 2021.** Calidad del aire - OPS. [en línea]. [Citado el: 15 Diciembre de 2021]. Disponible en: <https://www.paho.org/es/temas/calidad-aire>.

**OROZCO, R. y ROMAÑA, J., 2018.** Estimación de las concentraciones de los contaminantes atmosféricos, criterio: MP10, SO<sub>2</sub>, CO, COVs, NO<sub>x</sub> emitidos por las fuentes móviles en las principales vías de la ciudad de Barranquilla [en línea]. (Trabajo de Titulación). (Pregrado) Universidad de la Costa, Barranquilla, Colombia. 2018. pp. 52-53 [Citado el: 31 Mayo de 2022]. Disponible en: <https://repositorio.cuc.edu.co/bitstream/handle/11323/2983/1045719569%20-%201047217982.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

**PARDO, Miguel., 2019.** 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). (Pregrado) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2019. pp. 58. [Citado el: 7 Junio de 2022]. Disponible en:

<http://dspace.esepoch.edu.ec/bitstream/123456789/11128/1/236T0435.PDF>.

**POBLANO, Josefina.**, 2013. Uso de briofitas como indicadores atmosféricos de metales pesados en la zona metropolitana del Valle de Toluca [en línea]. (Trabajo de Titulación). (Pregrado) Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, México. 2013. pp. 33-34. [Citado el: 26 Abril de 2022]. Disponible en: [https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/\\_Public/45/089/45089744.pdf](https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/45/089/45089744.pdf).

**PORTA, A., SANCHEZ, E. y COLMAN LERNER.** Calidad del aire, Monitoreo y modelado de contaminantes atmosféricos [en línea]. Buenos Aires-Argentina: Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP), 2018. [Citado el: 16 Diciembre de 2021]. Disponible en: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/73756>.

**PRTR**, 2017. Óxidos de azufre. Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes [en línea]. [Citado el: 16 Enero de 2022]. Disponible en: <https://prtr-es.es/SOx-oxidos-de-azufre,15598,11,2017.html>.

**RODRÍGUEZ, J.** 2020. El dióxido de azufre SO<sub>2</sub>. Instituto para la Salud Geo ambiental [en línea]. [Citado el: 4 Abril de 2022]. Disponible en: <https://www.saludgeoambiental.org/dioxido-azufre-so2>.

**RODRÍGUEZ, J.** 2021. Dióxido de nitrógeno NO<sub>2</sub>. Instituto para la Salud Geo ambiental [en línea]. [Citado el: 4 Abril de 2022]. Disponible en: <https://www.saludgeoambiental.org/dioxido-nitrogeno-no2>.

**SAMANIEGO, J.** 2020. Se puede medir la contaminación ambiental empleando seres vivos. Cultura Científica UTPL [en línea]. [Citado el: 18 Diciembre de 2021]. Disponible en: <https://culturacientifica.utpl.edu.ec/?p=4019>.

**SHARMILAA, G. y ILANGO, T.** Contaminación del aire vehicular basada en la densidad del tráfico: Un estudio de caso. ScienceDirect [en línea], 2021, (India) vol. 2, pp. 532–536. [Citado el: 15 Octubre de 2021]. ISSN 2214-7853. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785321061459>.

**SPEEDING, D.** Contaminación Atmosférica [en línea]. Barcelona-España: REVERTÉ, S.A, 2017. [Citado el: 15 Diciembre de 2021]. Disponible en:

<https://elibro.net/es/ereader/epoch/183524?page=13>.

**TERRADAS, J.** Ecología, Cambio Climático. [en línea]. Barcelona-España: RUBES, 2021. [Citado el: 16 Diciembre de 2021]. Disponible en: <https://www.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448169816.pdf>.

**TOAPANTA, E.** Checklist de Musgos del Ecuador. Herbario Escuela Superior Politécnica del Chimborazo y Museo Ecuatoriano de Ciencias Naturales [en línea], 2011, (Ecuador) pp. 1–9. [Citado el: 4 Junio de 2022]. Disponible en: [http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/501/1/CHECKLIST\\_DE\\_MUSGOS\\_DEL\\_ECUADOR.pdf](http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/501/1/CHECKLIST_DE_MUSGOS_DEL_ECUADOR.pdf).

**UNICEF**, 2019. El Aire que Respiramos. Los efectos de la contaminación del aire y del cambio climático en la salud de la niñez en el Ecuador [en línea], [Citado el: 16 Diciembre de 2021]. Disponible en: [www.unicef.org/ecuador](http://www.unicef.org/ecuador).

**VICENTE-MARTÍNEZ, Y.** Balanceo de ecuaciones químicas. Con-Ciencia Serrana Boletín Científico de la Escuela Preparatoria Ixtlahuaco [en línea], 2022, (México) vol. 4, no. 7, pp. 27–29. [Citado el: 5 Junio de 2022]. Disponible en: <https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/ixtlahuaco/article/view/8455/8728>.

**WALSH, M.** Contaminación del aire relacionada con fuentes móviles: efectos sobre la salud y el medio ambiente. Encyclopedia of Environmental Health [en línea], 2019, (Estados Unidos de América) vol. 2, no.1, pp. 436–442. [Citado el: 15 Diciembre de 2021]. ISSN 9780-4446. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780124095489116616>.

## ANEXOS

### ANEXO A. RECOLECCIÓN DE LOS BIOMONITORES



**Fotografía 1:** Recolección de briofitas  
*Metzgeriaceae.*



**Fotografía 2:** Especie de briofitas recolectadas.



**Fotografía 3:** Recolección de briofitas.

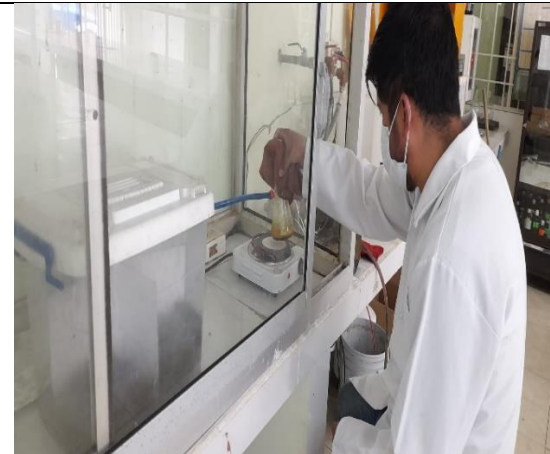


**Fotografía 4:** Transporte de muestras de briofitas

**ANEXO B. PREPARACIÓN Y ADECUACIÓN DE LOS BIOMONITORES**



**Fotografía 5:** Inyección directa de contaminantes en las especies de briofitas.



**Fotografía 6:** Pruebas de tolerancia en biomonitores.



**Fotografía 7:** Preparación de los biomonitores.



**Fotografía 8:** Muestras de biomonitores.

ANEXO C. MUESTREO

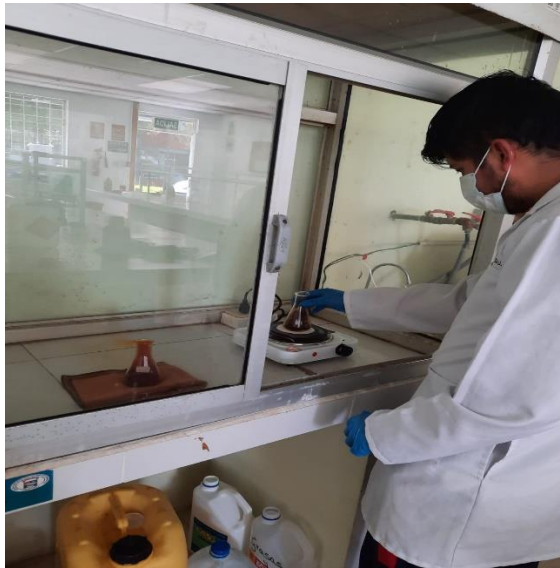


**Fotografía 9:** Colocación de los biomonitores en los puntos de muestreo.

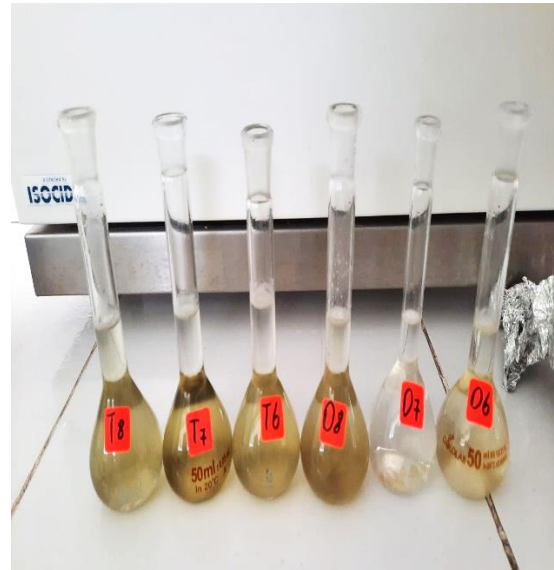


**Fotografía 10:** Colocación de los biomonitores en el Mercado Mayorista de la ciudad de Ambato.

## ANEXO D: ANÁLISIS Y RESULTADOS



**Fotografía 11:** Preparación para análisis de biomonitores.



**Fotografía 12:** Soluciones resultantes de las muestras de biomonitores.



**Fotografía 13:** Análisis de las muestras de biomonitores en el espectrofotómetro UV-Visible



**Fotografía 14:** Medición de la absorbancia en las muestras de biomonitores.







epoch

Dirección de Bibliotecas y  
Recursos del Aprendizaje

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y  
DOCUMENTAL

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 12 / 10 / 2022

**INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)**

**Nombres – Apellidos:** Luis David Castillo Lluquay

**INFORMACIÓN INSTITUCIONAL**

**Facultad:** Ciencias

**Carrera:** Ingeniería en Biotecnología Ambiental

**Título a optar:** Ingeniero en Biotecnología Ambiental

**f. Analista de Biblioteca responsable:** Ing. Leonardo Medina Ñuste MSc.

1849-DBRA-UTP-2022