



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

## **FACULTAD DE CIENCIAS**

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

# **EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE AIRE MEDIANTE LA APLICACIÓN DE BIOMONITORES EN EL TERMINAL CHAMBO-LICTO DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA**

## **Trabajo de Titulación**

**Tipo:** Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

## **INGENIERA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL**

**AUTORA:** RUBI ALEJANDRINA ARMIJOS SANTANA

**DIRECTORA:** Ing. MARÍA RAFAELA VITERI UZCÁTEGUI MSc.

Riobamba – Ecuador

2021

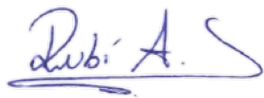
**©2021, Rubi Alejandrina Armijos Santana**

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, RUBI ALEJANDRINA ARMIJOS SANTANA declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autora 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, 14 de septiembre de 2021

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Rubi A. S.', with a horizontal line underneath.

**Rubi Alejandrina Armijos Santana**

**172223329-1**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**ESCUELA DE CIENCIAS QUIMICAS**

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El Trabajo de Titulación: Tipo: Proyecto de Investigación **EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE AIRE MEDIANTE LA APLICACIÓN DE BIOMONITORES EN EL TERMINAL CHAMBO-LICTO DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA**, realizado por la señorita: **RUBI ALEJANDRINA ARMIJOS SANTANA**, 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.

	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Ing. Juan Carlos González García MSc. <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>	_____	2021-09-14
Ing. María Rafaela Viteri Uzcátegui MSc. <b>DIRECTORA DEL TRABAJO DE TITULACION</b>	_____	2021-09-14
Ing. María Soledad Núñez Moreno MSc. <b>MIEMBRO DE TRIBUNAL</b>	_____	2021-09-14

## **DEDICATORIA**

Este trabajo de titulación está dedicado con todo mi amor a Dios que nos ha dado la fortaleza para superar todas las adversidades pues gracias a él hoy me encuentro con vida. A mi familia, en especial a mis padres, gracias a ellos puedo cumplir esta meta, por ser ejemplo de lucha y superación.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a mi familia, principalmente a mis padres por toda la confianza, el apoyo, esfuerzo en todo momento y por ser la guía para culminar esta etapa.

A la Ing. Rafaela Viteri, directora de este trabajo por la asesoría y apoyo brindados que han tenido resultados positivos tanto en mi formación académica como en actividades extracurriculares y en la realización de este estudio.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por la aceptación para ser parte de la institución, así como a su personal docente por los conocimientos impartidos formando un profesional de calidad.

A David Fonseca, por su compañía, apoyo y paciencia durante la realización de este estudio, así como en el proceso de formación académica. A todas las personas que en el camino han aportado para mi crecimiento personal y profesional.

**Rubi Armijos Santana**

## TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiii
RESUMEN .....	xiv
SUMMARY .....	xv
INTRODUCCIÓN .....	1

## CAPÍTULO I

<b>1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....</b>	<b>3</b>
1.1. Antecedentes .....	3
1.2. Atmósfera.....	4
1.3. Aire .....	4
1.4. Contaminación del aire .....	4
1.5. Contaminante del aire .....	4
1.5.1. <i>Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>)</i> .....	4
1.5.2. <i>Dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>)</i> .....	5
1.5.3. <i>Norma de calidad de aire ambiente</i> .....	5
1.6. Métodos de medición de la calidad del aire .....	6
1.6.1. <i>Muestreadores pasivos</i> .....	6
1.6.2. <i>Muestreadores activos</i> .....	7
1.6.3. <i>Biomonitores</i> .....	7
1.7. Briofitas.....	7
1.7.1. <i>Briofitas como biomonitores</i> .....	7
1.7.1.1. <i>Breutelia trianae</i> .....	8
1.7.1.2. <i>Bazzania breuteliana</i> .....	8
1.7.1.3. <i>Metzgeriaceae</i> .....	9
1.7.1.4. <i>Pleurozium schreberi</i> .....	9
1.7.1.5. <i>Dicranaceae</i> .....	10
1.8. Variables meteorológicas .....	10
1.8.1. <i>Temperatura</i> .....	10
1.8.2. <i>Presión</i> .....	11

## CAPÍTULO II

2.	MARCO METODOLÓGICO.....	12
2.1.	Diseño de la investigación .....	12
2.2.	Localización del proyecto.....	12
2.3.	Población de estudio y tamaño de la muestra.....	12
2.3.1.	<i>Puntos de monitoreo</i> .....	13
2.4.	Metodología para la selección del agente biológico.....	14
2.4.1.	<i>Recolección de briofitas</i> .....	14
2.4.2.	<i>Pruebas de tolerancia a contaminantes</i> .....	15
2.5.	Metodología para preparación de biomonitores .....	17
2.5.1.	<i>Preparación del biomonitor</i> .....	17
2.5.2.	<i>Preparación de muestreadores pasivos</i> .....	17
2.5.2.1.	<i>Preparación de la solución captadora para los tubos de muestreo</i> .....	18
2.5.2.2.	<i>Exposición y recolección de los tubos</i> .....	18
2.6.	Análisis .....	19
2.6.1.	<i>Análisis de muestreadores pasivos</i> .....	19
2.6.2.	<i>Preparación para análisis por espectrofotometría de biomonitores</i> .....	21
2.7.	Cálculos para la obtención de concentración de contaminantes.....	24
2.7.1.	<i>Concentración de NO<sub>2</sub></i> .....	24
2.7.2.	<i>Concentración de SO<sub>2</sub></i> .....	25
2.7.3.	<i>Corrección de las concentraciones</i> .....	26
2.8.	Análisis estadístico.....	26
2.9.	Elaboración de mapas .....	26

## CAPÍTULO III

3.	MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	28
3.1.	Pruebas de tolerancia a briofitas.....	28
3.1.1.	<i>Método cualitativo</i> .....	28
3.1.2.	<i>Método cuantitativo</i> .....	29
3.2.	Datos meteorológicos.....	30
3.3.	<i>Concentración de contaminantes por muestreadores pasivos</i> .....	30
3.3.1.	<i>Concentración promedio semanal de dióxido de nitrógeno</i> .....	30
3.3.2.	<i>Concentración promedio semanal de dióxido de azufre</i> .....	33



<b>3.4.</b>	<b>Concentración de contaminantes por biomonitoreo con la especie Metzgeriaceae</b>	
	.....	35
<b>3.4.1.</b>	<i>Concentración de NO<sub>2</sub> en biomonitores</i>	35
<b>3.4.2.</b>	<i>Concentración de SO<sub>2</sub> en biomonitores</i>	37
<b>3.5.</b>	<b>Análisis comparativo entre los métodos aplicados</b>	39
<b>3.5.1.</b>	<i>Comparación de absorción de NO<sub>2</sub></i>	39
<b>3.5.2.</b>	<i>Comparación de absorción de SO<sub>2</sub></i>	43
<b>3.6.</b>	<b>Análisis estadístico</b>	47
	<b>CONCLUSIONES</b>	49
	<b>RECOMENDACIONES</b>	51
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
	<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-1:</b> Concentraciones de contaminantes en el aire para criterios de alerta, alarma y emergencia. ....	6
<b>Tabla 1-2:</b> Coordenadas de los puntos de monitoreo.....	14
<b>Tabla 2-2:</b> Codificación de las especies recolectadas .....	15
<b>Tabla 3-2:</b> Datos utilizados para la curva de calibración. Relación entre absorbancia y concentración de NO <sub>2</sub> .....	20
<b>Tabla 4-2:</b> Datos utilizados para la curva de calibración. Relación entre absorbancia y concentración de SO <sub>2</sub> .....	21
<b>Tabla 5-2:</b> Datos utilizados para la curva de calibración. Relación entre absorbancia y concentración de NO <sub>2</sub> en la briofita.....	23
<b>Tabla 6-2:</b> Datos utilizados para la curva de calibración. Relación entre absorbancia y concentración de SO <sub>2</sub> en la hepática.....	23
<b>Tabla 1-3:</b> Registro fotográfico de la marchitez por NO <sub>2</sub> y SO <sub>2</sub> en briofitas. ....	28
<b>Tabla 2-3:</b> Absorbancia de NO <sub>2</sub> y SO <sub>2</sub> por briofitas. ....	29
<b>Tabla 3-3:</b> Promedio semanal de datos meteorológicos utilizados para corrección de las concentraciones. ....	30
<b>Tabla 4-3:</b> Concentración promedio semanal de dióxido de nitrógeno.....	31
<b>Tabla 5-3:</b> Concentración promedio semanal de dióxido de azufre .....	33
<b>Tabla 6-3:</b> Concentración promedio mensual de dióxido de nitrógeno en biomonitores .....	35
<b>Tabla 7-3:</b> Concentración promedio mensual de dióxido de azufre en biomonitores .....	37
<b>Tabla 8-3:</b> Concentración promedio horaria de dióxido de nitrógeno para comparación con los límites permisibles .....	39
<b>Tabla 9-3:</b> Concentración promedio mensual de NO <sub>2</sub> para determinar la validez de biomonitores. ....	41
<b>Tabla 10-3:</b> Diferencia y porcentaje de absorción de NO <sub>2</sub> de biomonitores respecto a captadores pasivos. ....	42
<b>Tabla 11-3:</b> Concentración promedio diaria de dióxido de azufre para comparación con los límites permisibles .....	43
<b>Tabla 12-3:</b> Concentración promedio de SO <sub>2</sub> para determinar la validez de biomonitores.....	45
<b>Tabla 13-3:</b> Diferencia y porcentaje de absorción de SO <sub>2</sub> de biomonitores respecto a captadores pasivos .....	46
<b>Tabla 14-3:</b> Análisis de correlación de NO <sub>2</sub> por metodología de captadores pasivos y biomonitores .....	47

<b>Tabla 15-3:</b> Análisis de correlación de SO <sub>2</sub> por metodología de captadores pasivos y biomonitores .....	48
--	----

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-1:</b> Colonia de <i>Breutelia trianae</i> .....	8
<b>Figura 1-2:</b> Detalle de colonia de <i>Bazzania breuteliana</i> .....	9
<b>Figura 1-3:</b> Detalle de <i>Metzgeriaceae</i> .....	9
<b>Figura 1-4:</b> Detalle de un ápice de rama.....	9
<b>Figura 1-5:</b> Detalle de ápice de <i>P. schreberi</i> .....	10
<b>Figura 1-6:</b> Colonia de <i>Dicrnaceae</i> . .....	10
<b>Figura 1-2:</b> Delimitación de la zona de estudio.....	13
<b>Figura 2-2:</b> Ubicación de los puntos de monitoreo.....	13
<b>Figura 3-2:</b> Ubicación de la zona de recolección de briofitas.....	15

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-2:</b> Curva de calibración para NO <sub>2</sub> .....	20
<b>Gráfico 2-2:</b> Curva de calibración para SO <sub>2</sub> .....	21
<b>Gráfico 4-2:</b> Curva de calibración para NO <sub>2</sub> en la briofita. ....	23
<b>Gráfico 5-2:</b> Curva de calibración para SO <sub>2</sub> en la briofita. ....	24
<b>Gráfico 1-3:</b> Mapa de concentración promedio mensual de dióxido de nitrógeno por captadores pasivos en el terminal Chambo-Licto de la ciudad de Riobamba. ....	32
<b>Gráfico 2-3:</b> Mapa de concentración promedio mensual de dióxido de azufre por captadores pasivos en el terminal Chambo-Licto de la ciudad de Riobamba. ....	34
<b>Gráfico 3-3:</b> Mapa de concentración promedio mensual de dióxido de nitrógeno por biomonitores en el terminal Chambo-Licto de la ciudad de Riobamba. ....	36
<b>Gráfico 4-3:</b> Mapa de concentración promedio mensual de dióxido de azufre por biomonitores en el terminal Chambo-Licto de la ciudad de Riobamba. ....	38
<b>Gráfico 5-3:</b> Representación de concentraciones de NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> ) por punto de monitoreo. Determinación de límite máximo permisible.....	40
<b>Gráfico 6-3:</b> Representación de concentraciones de SO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> ) por punto de monitoreo. Determinación de límite máximo permisible.....	44

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

**ANEXO A: PREPARACIÓN DE BIOMONITOR Y CAPTADORES PASIVOS**

**ANEXO B: MUESTREO**

**ANEXO C: ANÁLISIS DE RESULTADOS**

## RESUMEN

El objetivo de este estudio fue determinar la calidad del aire ambiente en el terminal Chambo-Licto de la ciudad de Riobamba mediante la aplicación de biomonitores, para lo cual se seleccionaron cinco especies de briofitas que fueron sometidas a pruebas de tolerancia a los contaminantes dióxido de nitrógeno y dióxido de azufre. Se realizaron pruebas cualitativas verificadas a través del punto de marchitez y cuantitativas determinando la absorbancia de cada especie. Para determinar la eficacia de este método se fue necesario realizar una comparación con el método tradicional a través de captadores pasivos. Los biomonitores y captadores pasivos fueron colocados en 25 puntos seleccionados aleatoriamente alrededor del terminal Chambo-Licto, la exposición se realizó por un periodo de dos meses, el análisis se realizó por espectrofotometría UV-Visible permitiendo obtener la concentración de los contaminantes. Para el análisis estadístico se utilizó el software SPSS donde se realizó un análisis correlacional. Se determinó a la especie *Metzgeriaceae* apta para su uso como biomonitor por su capacidad de bioacumulación de contaminantes. Los resultados que se obtuvieron determinan que los niveles de contaminación en el terminal Chambo-Licto de la ciudad de Riobamba se encuentran dentro de los límites permisibles establecidos por el Ministerio del Ambiente del Ecuador, además la absorción de contaminantes resulta de 22% más de absorción de NO<sub>2</sub> por parte de los biomonitores respecto a captadores pasivos y en el SO<sub>2</sub> los captadores pasivos muestran un 86% más de absorción que los biomonitores. Se concluye que la especie *Metzgeriaceae* utilizada como biomonitor es útil para determinar dióxido de nitrógeno más no para determinación de dióxido de azufre por lo cual se recomienda realizar este estudio para la determinación de otros contaminantes del aire y un estudio fisiológico por su potencial uso como biomonitor.

**Palabras clave:** <BRIOFITAS >, <CALIDAD DEL AIRE>, <HEPÁTICA (*Metzgeriaceae*)>, <LÍMITES PERMISIBLES>, <CONTAMINACIÓN>.



1866-DBRA-UTP-2021

## SUMMARY

The aim of the research was to determine the environment air quality at Chambo-Licto bus terminal located in Riobamba city through the application of biomonitors for which, five species of bryophytes were selected, they were tested on tolerance for pollutants like carbon dioxide, nitrogen and sulfur dioxide. Qualitative verified tests were carried out through the wilting point as well as quantitative tests to determine the absorbance of each species. To determine the effectiveness of this method, it was necessary to compare it with the traditional method through passive sensors. The biomonitors and passive sensors were placed in 25 randomly selected points around the Chambo-Licto bus terminal, the exposure process lasted two months and the analysis was carried out through UV-Visible spectrophotometry allowing to obtain the concentration of pollutants. SPSS software was used for the statistical analysis, where a correlational analysis was performed. Metzgeriaceae species was used as a biomonitor due to the ability it has for the bioaccumulation of pollutants. The results obtained determined that the contamination levels at Chambo-Licto bus terminal from Riobamba are within the permissible limits established by the Ecuadorian Ministry of the Environment. In addition, the pollutant absorption is 22% more NO<sub>2</sub> absorption by biomonitors compared to passive sensors. SO<sub>2</sub> passive sensors reflect 86% more absorption than biomonitors. It is concluded that the Metzgeriaceae species used as a biomonitor is useful only to detect nitrogen dioxide but it does not detect sulfur dioxide, therefore it is recommended to carry out this study to

determine other air pollutants as well as a physiological study due to its potential use as a biomonitor.

**Keywords:** <BRYOFITES>, <AIR QUALITY>, <HEPATIC (Metzgeriaceae)>, <PERMISSIBLE LIMITS>, <CONTAMINATION>.



## **INTRODUCCIÓN**

### **Identificación del problema**

La ciudad de Riobamba al ser una urbe de crecimiento en el sector automovilístico, para este caso de estudio se evalúa una zona específica de gran afluencia vehicular, este es el terminal Chambo-Licto, en la zona se genera una serie de contaminantes provenientes de las emisiones vehiculares que poseen motores de combustión interna teniendo como fuente de combustible gasolina o diésel. Respecto a la calidad del aire, ya que en la ciudad no cuentan con un programa para prevenir o mitigar la contaminación del aire en esta zona, es importante brindar a la ciudadanía en general información real y actual y con ello tomar las medidas correctivas necesarias para mejorar la calidad de vida local.

La ciudad de Riobamba y su notable crecimiento poblacional en los últimos años, han acarreado un aumento de las necesidades de transporte público y privado a nivel provincial, conocemos que en el país aquellos buses que ya son considerados obsoletos e incumplen con estándares de calidad ambiental pasan a formar parte de las líneas intercantonales e interparroquiales, el parque automotor que mencionamos corresponde al de funcionamiento mediante diésel, éste al no tener un mantenimiento adecuado con el aumento de kilómetros recorridos aumenta también sus niveles de contaminación, es por ello que esta investigación se realiza en un centro con afluencia de este tipo de vehículos donde a la vez hay concurrencia de personas, los resultados deben reflejar de forma precisa los niveles registrados para poder validar la eficacia del método usado.

### **Justificación**

Esta investigación tiene como propósito determinar la calidad del aire en una zona de afluencia vehicular de la ciudad de Riobamba a través de un método biológico basado en la aplicación de biomonitores con el fin de verificar el cumplimiento de los límites de concentración de los contaminantes y comprobar la eficacia del método haciendo una comparación entre el método biológico y el método químico.

Las briofitas al tener como ventaja su fácil reproducción, manipulación y tamaño serán usadas como prototipo de biomonitor y de esta manera demostrar la validez del uso de este organismo en análisis de calidad del aire para determinación de dióxido de nitrógeno y dióxido de azufre. Estudios realizados en Portugal y China demuestran el uso briofitas para medir los niveles de contaminación mediante acumulación, del mismo modo, en Kenia y Lituania han sido útiles para la monitorización de contaminantes; en ellos se valida el uso de este organismo como biomonitores. (Xiaoli, y otros, 2017: p.430).

La aplicación de briofitas como biomonitores para medir contaminantes presentes en el aire

constituye una propuesta ecológica, económica y totalmente transformadora ante métodos tradicionales de monitoreo ambiental ya que éstos requieren elevados costos de mantenimiento y utilización de los equipos necesarios. (García, y otros, 2016: p.189-196).

## **OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **Objetivo General**

Analizar la calidad de aire ambiente en el terminal Chambo-Licto de la ciudad de Riobamba mediante la aplicación de biomonitores.

### **Objetivos Específicos**

- Identificar los agentes biológicos que puedan determinar adecuadamente la calidad del aire en las zonas de estudio.
- Determinar la efectividad del uso de agentes biológicos (briofitas) para la medición de contaminación del aire mediante comparaciones entre métodos establecidos y aplicados en el terminal Chambo-Licto de la ciudad de Riobamba.
- Evaluar a través de los resultados obtenidos la situación actual de la calidad de aire que presenta el terminal Chambo-Licto de la ciudad de Riobamba.

## CAPÍTULO I

### 1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

#### 1.1. Antecedentes

La contaminación ambiental representa uno de los problemas latentes de mayor relevancia en el mundo, se define como la presencia de agentes físicos, químicos o biológicos ajenos o superiores a las cantidades propias de su composición natural. Estos cambios se atribuyen, principalmente, a las actividades antropogénicas, por el crecimiento económico y la globalización que si bien originan beneficios a la vez suponen la generación de nuevos riesgos en el ámbito ambiental. (Organización Mundial de la Salud, 2018).

Según la (OPS/OMS, 2019) la contaminación del aire representa el mayor riesgo ambiental teniendo un impacto directo a la salud y por lo tanto calidad de vida del ser humano. La preocupación radica en que al ser el aire una composición de gases, la contaminación del mismo no muestra variación en el aspecto, además de que en todo el mundo los contaminantes tóxicos sobrepasan los valores límites anuales recomendados por la OMS en las directrices de la calidad del aire (Organización Mundial de la Salud, 2018).

Se ha determinado como principal causa de la contaminación del aire la quema de combustibles fósiles, mismo que también contribuye significativamente al cambio climático. La OMS explica: “La excesiva contaminación atmosférica es a menudo una consecuencia de políticas que no son sostenibles en sectores como el del transporte, la energía, la gestión de desechos y la industria pesada” (OPS/OMS Ecuador, 2015).

En Ecuador, entre los principales problemas relacionados a la contaminación del aire están los impactos generados por la actividad hidrocarburífera, derrames de petróleo, minería no metálica, en la Amazonía la incineración del gas que emanan los yacimientos, y la generación de energía en plantas termoeléctricas, además, la región costa de Ecuador también se ve afectada por fumigaciones aéreas efectuadas principalmente en bananeras. (GeoEcuador, 2008: p.9).

El sector automotor, en el país, es el principal causante de la contaminación atmosférica urbana, dado que las emisiones vehiculares contienen los principales contaminantes que son liberados al aire, esto radica en que una cantidad representativa de vehículos activos en el país funcionan por la combustión de hidrocarburos relacionando de esta manera a los combustibles fósiles, por lo tanto, las ciudades más pobladas y zonas urbanas del país se ven más afectadas por este tipo de contaminación. (Ministerio del Ambiente, 2012: pp.1-2).

## **1.2. Atmósfera**

Constituye una fina capa de gases que recubren el planeta tierra. Tiene una importante función protectora ya que ésta filtra y absorbe la radiación ultravioleta del sol, sin esta capa de protección la vida en la tierra no sería posible, además de esta función mantiene y regula la temperatura en la superficie de la tierra. (Manahan, 2007: p.353).

La atmósfera está compuesta por 5 capas: exosfera, termosfera, mesosfera, estratósfera y troposfera; siendo la tropósfera la más cercana a la tierra y la capa en donde se producen todos los cambios climáticos, conocida también como baja atmósfera (Leal, 2018).

## **1.3. Aire**

Se conoce como aire a cualquier segmento no confinado de la atmósfera, llamado también aire ambiente, según (Ministerio del Ambiente, 2015: p.55) el aire es una mezcla gaseosa, normalmente compuesta por oxígeno ( $O_2$ ), nitrógeno ( $N_2$ ) y dióxido de carbono ( $CO_2$ ) en porcentajes de veinte por ciento (20%), setenta y nueve por ciento (79%) y uno por ciento (1%), respectivamente, además, se consideran proporciones variables mínimas de gases inertes y vapor de agua. (Ministerio del Ambiente, 2015: p.55).

## **1.4. Contaminación del aire**

Se define a la contaminación del aire como la presencia de sustancias, ajenas a su composición normal en la atmósfera, que provienen de procesos naturales o producto de las actividades humanas, en concentración y tiempo suficiente y bajo la particularidad que afecta el confort, bienestar o salud del ambiente o seres humanos.

## **1.5. Contaminante del aire**

De acuerdo al glosario de (Técnicos DIEA, 2009) un contaminante del aire es cualquier sustancia o material perteneciente a emisiones al aire, ya sea producto de la actividad humana o procesos naturales que afectan al ambiente o al ser humano.

### **1.5.1. Dióxido de azufre ( $SO_2$ )**

El dióxido de azufre es un gas estable, hidrosoluble, no inflamable e incoloro. Este gas cuando se encuentra en concentraciones altas posee un olor fuerte e irritante.

Entre las consecuencias a la salud humana se encuentran que, en altas concentraciones puede afectar directamente la salud de las personas, provocando como primer síntoma irritación de las mucosas y piel, provoca debilidad del sistema inmunológico que se agrava en el caso particular de presentarse el gas con emisiones de partículas. (Santacatalina, y otros, 2012: p.9).

Constituye uno de los principales contaminantes del aire. Su presencia en altas concentraciones en la zona urbana provoca daños en materiales como metales ya sea aluminio, acero, cobre, zinc o níquel, metales que comúnmente forman parte de diferentes estructuras de casco urbano, además, puede dañar la vegetación existente.

Cuando existe una emisión elevada de  $SO_2$ , una vez presente en la atmósfera se transforma en ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) y éste en presencia de álcalis es neutralizado a sales como sulfato de amonio ( $(NH_4)_2SO_4$ ) y sulfato de calcio  $CaSO_4$ . Como consecuencia al reaccionar con el oxígeno presente en el aire se da la formación de la lluvia ácida. (Santacatalina, y otros, 2012: p.9).

### **1.5.2. Dióxido de nitrógeno ( $NO_2$ )**

El dióxido de nitrógeno es un gas de color pardo rojizo, se origina a partir de la oxidación, en procesos de combustión tanto de vehículos y fábricas, del nitrógeno atmosférico. (Ministerio del Ambiente, 2015: p.55).

El dióxido de nitrógeno un contaminante secundario tóxico, y por lo tanto peligroso para la salud teniendo efectos directos en el tracto respiratorio tanto de los seres humanos como de animales provocan irritación bronquial y nasal y agravan los cuadros de asma. (Centro de información tecnológica, 2001: p.32).

### **1.5.3. Norma de calidad de aire ambiente**

Se establecen los valores máximos o límites permisibles de concentración de un contaminante en el aire. Se establece con el objetivo de salvaguardar la salud de los seres vivos y el ambiente. (Ministerio del Ambiente, 2015: p.55).

Dióxido de azufre ( $SO_2$ )

*La concentración  $SO_2$  en 24 horas no deberá exceder ciento veinticinco microgramos por metro cúbico ( $125 \mu g/m^3$ ), la concentración de este contaminante para un periodo de diez minutos, no debe ser mayor a quinientos microgramos por metro cúbico ( $500 \mu g/m^3$ ). 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 ( $60 \mu g/m^3$ ). (Ministerio del Ambiente, 2015: p.55).*

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).*

Además de los límites máximos permisibles se han estipulado los niveles que sobrepasan estas cantidades.

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

<b>CONTAMINANTE Y PERIODO DE TIEMPO</b>	<b>ALERTA</b>	<b>ALARMA</b>	<b>EMERGENCIA</b>
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 veinticuatro horas	200	1000	1800

Fuente: (Ministerio del Ambiente, 2015: p.55).

## 1.6. Métodos de medición de la calidad del aire

Existen varios métodos con los cuales se puede lograr la medición de los contaminantes del aire, clasificados de acuerdo a los principios de medición, se mencionan los muestreadores pasivos, activos y muestreo con bioindicadores.

### 1.6.1. Muestreadores pasivos

Los captadores pasivos se han convertido en una alternativa viable en la medición de la calidad del aire para estudios ambientales. La medición se basa en la absorción o adsorción del contaminante a través de un medio químico seleccionado luego de un periodo determinado de exposición. Usados mayoritariamente para análisis en determinación de los principales gases contaminantes, una de las ventajas de su uso es que resulta económico y es simple su operación (Instituto Nacional de Ecología, 2015).

Una de las desventajas del uso de los captadores pasivos se presenta al momento de querer analizar una amplia variedad de contaminantes, ya que éstos están desarrollados para contaminantes específicos, brindan valores promedios en periodos de tiempo semanal o mensual por lo tanto se menciona que no son un método con gran exactitud, su aplicación sirve más como un valor referencial (Canciano, y otros, 2017: pp. 113-121.).

### **1.6.2. Muestreadores activos**

Este tipo de muestreadores a pesar de la facilidad de uso y ser muy confiables requieren de electricidad para poder succionar la muestra de aire, esta se colecta en un medio físico o químico, con este tipo de muestreador se pueden realizar mediciones diarias promedio. Existen diferentes tipos de muestreadores activos, entre ellos están los burbujeadores usados para gases y los impactadores utilizados para análisis de partículas. Entre las desventajas se puede mencionar que no van a existir valores máximos o mínimos dado que arroja un valor promedio al día y por lo tanto análisis diarios de laboratorio (Instituto Nacional de Ecología, 2015).

### **1.6.3. Biomonitores**

El método de biomonitores implica el uso de organismos vivos, usualmente especies vegetales en donde la superficie de éstas recibe y absorbe los contaminantes presentes en el aire. Dada su poco estudio aún hay una brecha en cuanto a su uso, debido a que no existe una estandarización de los métodos o técnica a usarse (Carrales, Chairez2019: pp.7-11).

Existe gran interés en el estudio de la del aire a través de los organismos vivos, los biomonitores, en este caso se puede conocer la capacidad de acumulación del organismo a usar o se puede evaluar los efectos del contaminante sobre el mismo, ya sea en apariencia o metabolismo, el uso de los biomonitores tiene una gran ventaja que es económicamente bajo, pero una de las desventajas es que no existe metodologías estandarizadas para los análisis requeridos. (Instituto Nacional de Ecología, 2015).

## **1.7. Briofitas**

El segundo grupo más diverso de plantas es el de las briofitas, su término hace referencia a la capacidad de revivir una vez hidratadas, 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. Existen 3 tipos de briofitas que son las hepáticas (*marchantiophyta*), antocerotas (*anthocerotophyta*) y los más conocidos los musgos (*bryophyte*). Son consideradas importantes debido a papel que juegan en la transición de la vida fotosintética (Cabaña, y otros, 2015).

### **1.7.1. Briofitas como biomonitores**

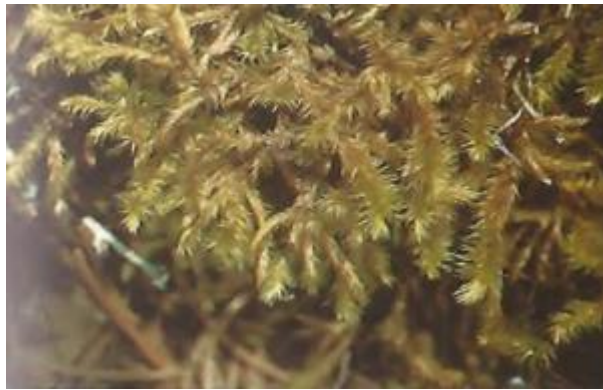
Una de las múltiples ventajas que tienen las briofitas frente a otros organismos y por la cual ha ganado terreno en el biomonitorio es que ante cualquier cambio en el aire presenta una reacción. Desde su taxonomía son fáciles de reconocer, su medio para sobrevivir es relativamente simple

debido a que solo necesitan agua, pueden habitar en diversas zonas climáticas con variaciones atmosféricas, gracias a esta particularidad pueden ser usadas también como indicadores (Noriega, 2008: pp.4-11).

El biomonitoreo a través de briofitas se da analizando las concentraciones de los contaminantes que el organismo ha absorbido, esta técnica permite confiabilidad en la medición de la contaminación atmosférica y su costo de implementación es bajo. Considerados aptos para la absorción de contaminantes encontramos:

#### *1.7.1.1. Breutelia trianae*

Este tipo de musgo posee hojas alargadas tipo triangular que miden de 2 a 2,5 mm de largo. Presentan un color verde amarillento. Sus ramas permanecen erectas.



**Figura 1-1.** Colonia de *Breutelia trianae*

**Fuente:** (Parra, y otros, 1999: pp.84-144).

#### *1.7.1.2. Bazzania breuteliana*

Estas plantas son de color verde claro que en estado seco se vuelven opacas, pueden medir hasta 7 cm de largo y de 2 a 3 mm de ancho, presentan hojas laterales de forma plana y extendida. Generalmente se encuentra en bosques naturales, crecen en ramas y troncos de los árboles donde retienen el agua como sustrato para sobrevivir.





**Figura 1-2:** Detalle de colonia de *Bazzania breuteliana*

**Fuente:** (Parra, y otros, 1999:pp.84-144).

#### 1.7.1.3. Metzgeriaceae

Este tipo de plantas no presentan hojas, su forma es similar a pequeñas cintas de color verde, translúcidas, forman una red ya sea sueltas o apretadas que puede llegar a medir hasta 20 cm, individualmente sus dimensiones son de 1 mm de ancho y hasta 2,4 cm de largo. Características por una vena media que se extiende por todo el cuerpo.



**Figura 1-3:** Detalle de *Metzgeriaceae*

**Fuente:** (Parra, y otros, 1999: pp.84-144).



**Figura 1-4:** Detalle de un ápice de rama

**Fuente:** (Parra, y otros, 1999: pp.84-144).

#### 1.7.1.4. Pleurozium schreberi

Este tipo de musgo se encuentra comúnmente en espacios abiertos, poseen gran capacidad de retención de agua, este tipo de musgo es característico por la tolerancia a la deshidratación. Son plantas amplias de altura pequeña, al igual que los otros musgos.



**Figura 1-5.** Detalle de ápice de *P. schreberi*

**Fuente:** (Montenegro, 2011: pp.23-35).

#### 1.7.1.5. *Dicranaceae*

Este tipo de musgo presenta hojas estrechas y unicostadas, presenta peristoma haplolepido y caliptra cuculada. (Luizi-Ponzo y Ortrud, 2010: pp, 42-49).



**Figura 1-6.** Colonia de *Dicranaceae*.

**Fuente:** (Parra, y otros, 1999: pp.84-144).

### 1.8. Variables meteorológicas

Tanto la temperatura y presión son variables que, en determinación de nitritos y sulfitos, sirven para realizar una corrección de los datos obtenidos de acuerdo a los parámetros climáticos en los tiempos de medición.

#### 1.8.1. *Temperatura*

Es una medida que determina el promedio de la energía cinética en las partículas de la materia. Es decir, existe una relación entre las partículas que conforman la materia y el movimiento que generan, por lo tanto, a mayor movimiento de las partículas se dará una mayor temperatura (Túrqueres, 2017).

### **1.8.2. Presión**

La presión atmosférica es la fuerza que ejerce el peso de una columna de atmósfera en una superficie. Por lo tanto, a mayor altura se tiene mayor presión. Los movimientos del aire en los diferentes niveles de igual manera provocan un constante cambio en la presión atmosférica. (Viñas, 2012: pp. 54-57).

## **CAPÍTULO II**

### **2. MARCO METODOLÓGICO**

#### **2.1. Diseño de la investigación**

Esta investigación se realizó en base a un diseño no experimental de tipo correlacional, en el cual una vez obtenidos los resultados de los métodos de monitoreo a aplicar se comparan para verificar si el uso de briofitas es factible en la evaluación de nitritos y sulfitos del aire. Es una investigación no experimental debido a que no se manipulan las variables, en este caso se observa el comportamiento de las briofitas ante los contaminantes.

#### **2.2. Localización del proyecto**

Se consideró el terminal Chambo-Licto como el punto apto para realizar esta investigación debido a que se encuentra en una zona céntrica de la ciudad de Riobamba, ubicado en las calles 10 de agosto y Puruhá mismas que permiten la circulación de transporte público tanto urbano e intercantonal además del transporte privado, por lo tanto, supone un lugar con altos índices de contaminación atmosférica.

#### **2.3. Población de estudio y tamaño de la muestra**

La población de estudio abarcó un radio de 175 m a la redonda del terminal Chambo-Licto, por lo cual se determina un tamaño de muestra de 25 puntos de monitoreo. Se determinó una frecuencia de análisis semanal para captadores pasivos y mensual en los biomonitores, se estableció un periodo de dos meses para la investigación.





**Figura 1-2.** Delimitación de la zona de estudio

**Fuente:** (Google Earth, 2021).

**Realizado por:** Armijos, Rubi, 2021.

### 2.3.1. *Puntos de monitoreo*

El método utilizado para la selección de los puntos de monitoreo fue el método aleatorio estratificado, en este, se realiza una división homogénea en la zona y luego los puntos se eligen al azar por medio de una lista predeterminada de las secciones a estudiar, finalmente se determinó las coordenadas de georreferenciación de cada punto establecido:



**Figura 2-2.** Ubicación de los puntos de monitoreo

**Fuente:** (Google Earth, 2021)

**Realizado por:** Armijos, Rubi, 2021.

**Tabla 1-2.** Coordenadas de los puntos de monitoreo

<b>PUNTO</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>PUNTO</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>
<b>1</b>	762474.61	9814167.42	<b>14</b>	762309.04	9814063.97
<b>2</b>	762448.93	9814214.80	<b>15</b>	762345.83	9814108.62
<b>3</b>	762473.91	9814256.07	<b>16</b>	762370.70	9814148.86
<b>4</b>	762513.15	9814300.13	<b>17</b>	762400.45	9814172.05
<b>5</b>	762469.45	9814338.35	<b>18</b>	762424.98	9814202.11
<b>6</b>	762397.85	9814321.40	<b>19</b>	762384.61	9814236.79
<b>7</b>	762342.28	9814303.76	<b>20</b>	762368.94	9814262.80
<b>8</b>	762300.02	9814339.66	<b>21</b>	762353.55	9814234.28
<b>9</b>	762215.80	9814291.53	<b>22</b>	762353.84	9814196.33
<b>10</b>	762202.15	9814237.23	<b>23</b>	762319.00	9814203.23
<b>11</b>	762169.07	9814222.89	<b>24</b>	762282.47	9814187.57
<b>12</b>	762251.49	9814164.27	<b>25</b>	762270.18	9814244.56
<b>13</b>	762302.72	9814092.08			

Realizado por: Armijos, Rubi, 2021.

## **2.4. Metodología para la selección del agente biológico**

La metodología utilizada para la determinación de la absorción de contaminantes por biomonitores consistió en 5 fases principales que son la recolección de briofitas, determinación de tolerancia a contaminantes, preparación del biomonitor, exposición-recolección de biomonitores y por último los análisis mediante espectrofotometría UV-Visible.

Las pruebas de tolerancia y preparación para los análisis de los biomonitores se realizaron en el Laboratorio de Bromatología de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH.

### **2.4.1. Recolección de briofitas**

La recolección de briofitas se realizó en la parroquia Río Negro del cantón Baños de Agua Santa, en las coordenadas X=808655.00 Y=9839973.00. Seleccionada por ser una zona de gran humedad donde se desarrolla una gran variedad de briofitas y por su ubicación se encuentra libre de contaminación.

Para la extracción se utilizó guantes y bisturí estéril, las especies se extrajeron con parte de la corteza donde crecen, de manera íntegra y se colocaron en recipientes plásticos estériles que se codificaron para su transporte. (Noriega, 2008: pp.4-11).



**Figura 3-2.** Ubicación de la zona de recolección de briofitas

**Fuente:** (Google Earth, 2021).

**Realizado por:** Armijos, Rubi, 2021.

Las especies recolectadas se codificaron como se indica en la tabla 2-2:

**Tabla 2-2.** Codificación de las especies recolectadas

Código	Tipo de briofita	Especie
A1	Musgo	<i>Breutelia trianae</i>
B1	Hepática	<i>Bazzania breuteliana</i>
C1	Hepática	<i>Metzgeriaceae</i>
D1	Musgo	<i>Pleurozium schreberi</i>
E1	Musgo	<i>Dicranaceae</i>

**Realizado por:** Armijos, Rubi, 2021.

#### 2.4.2. Pruebas de tolerancia a contaminantes

Para determinar el tipo de briofita con mejor capacidad de absorción de los contaminantes a evaluar se realizó una prueba de tolerancia. Estas pruebas se realizaron de manera simultánea, con todas las especies recolectadas, sometiénolas a una concentración baja y aumentando paulatinamente por 5 ocasiones por cada contaminante, para realizarla se colocaron todas las clases de briofitas en un recipiente de cierre hermético. Estas pruebas son necesarias realizar en una Sorbona debido a la toxicidad de los gases que se producen.

- *Prueba de tolerancia a SO<sub>2</sub>*

La prueba de tolerancia a SO<sub>2</sub> se realizó calentando el azufre, este procedimiento se debe realizar en una Sorbona por la toxicidad del gas.

Los materiales, equipos y reactivos necesarios para realizar este proceso son:

- Sorbona
- Balanza digital
- Vaso de precipitación
- Reverbero
- Recipiente de cierre hermético
- Azufre

Procedimiento:

Se pesa 0.5 g de azufre en un vaso de precipitación y se calentó en un reverbero hasta que se el azufre se diluya y empieza a emanar gas, de inmediato se coloca el vaso dentro del recipiente que contiene los agentes biológicos (briofitas) y se cerró herméticamente, esto evita que el gas se escape y las briofitas al estar en contacto directo en el medio puedan recibirlo. Una vez que se observa que ya no existe emanación de gas y se ha consumido todo se destapa y retira el vaso de precipitación del recipiente con briofitas (Aulamax, 2019).

Este procedimiento se realizó durante 5 días, usando 0.5 g de azufre el primer día, 1 el siguiente y para los días restantes añadiendo un gramo más. El primer día se produjeron alrededor de 380.2 mL de SO<sub>2</sub>, 760.5 mL el segundo día, el tercero, cuarto y quinto día se produjo un volumen de 1140.68 mL, 1520.91 mL y 1901.14 mL de SO<sub>2</sub> respectivamente.

La reacción que se produce se describe en la ecuación 1-2:



- *Prueba de tolerancia a NO<sub>2</sub>*

Esta prueba se realizó seguida a la prueba de tolerancia a SO<sub>2</sub>. Para esta prueba se necesita conectar una manguera al recipiente que contiene las briofitas y mantener el cierre hermético.

Los materiales, equipos y reactivos necesarios para realizar este proceso son:

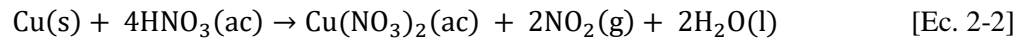
- Sorbona
- Balanza digital
- Matraz kitasato
- Manguera
- Recipiente de cierre hermético
- Cobre
- Ácido nítrico

Procedimiento:



Se pesó 0.76 g de cobre y se colocaron en un matraz Kitasato, mismo que se conectó a la manguera del recipiente, se vertió 1 mL de ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>) y se tapó rápidamente el matraz Kitasato, automáticamente se genera un gas de color pardo-rojizo como resultado de la reacción producida, el cobre queda disuelto como una solución verdosa. (García, 2010: pp. 142-150).

La reacción química que se produce se describe en la ecuación 2-2:



De esta manera se genera aproximadamente 380.38 mL de NO<sub>2</sub> el primer día, 760.4 mL el segundo día, 1140.63 mL NO<sub>2</sub>, 1520.8 mL y 1901.1 mL de NO<sub>2</sub> para el tercero, cuarto y quinto día respectivamente.

Esta prueba se realiza durante 5 días incrementando el peso del valor inicial, es decir el segundo día se realizó con 1.52 g de cobre, el tercer día 2.28 y así sucesivamente.

## **2.5. Metodología para preparación de biomonitores**

### **2.5.1. Preparación del biomonitor**

Una vez realizadas las pruebas de tolerancia se selecciona aquella briofita que presentó mayor absorción a los contaminantes, es decir, aquella que presente una mayor absorbancia en los análisis realizados en el espectrofotómetro.

Procedimiento:

Dado que la especie se encuentra libre de contaminantes se realizó un lavado con agua destilada en secuencias de 2, 5, 15 y 20 minutos. Se elaboraron bolsas de malla de tela de dimensiones aproximadamente de 6 cm por 8cm. Se pesó 2000 mg de la hepática ya lavada y se colocaron dentro de las bolsas de tela. Para el transporte hasta los puntos de muestreo se colocan dentro de bolsas plásticas nuevas, estériles, con el objetivo de evitar algún tipo de contaminación, los biomonitores se colocaron, bajo cubierta, en cada punto de muestro seleccionado a una altura de 2,5 m del nivel del suelo. (Poblano, 2013: p.34).

Una vez que el tiempo de exposición concluye los biomonitores se retiraron de cada punto, se etiquetaron y se colocaron nuevamente en bolsas plásticas completamente limpias hasta ser transportados nuevamente al laboratorio para sus análisis.

### **2.5.2. Preparación de muestreadores pasivos**

El monitoreo de los captadores pasivos se realizó durante 8 semanas en periodos de 7 días, en los meses de enero y febrero del 2021.

El muestreo pasivo consta de 3 fases que son:

### *2.5.2.1. Preparación de la solución captadora para los tubos de muestreo*

Esta preparación se realizó en el Laboratorio de Bromatología, en la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. La solución utilizada, al contener trietanolamina, absorbe tanto el dióxido de azufre como el dióxido de nitrógeno. (Bermeo, y otros, 2018: pp.25-43).

Los materiales y equipos usados en este procedimiento son:

- Balanza digital
- Frasco ámbar 1 L
- Balón de aforo 500 mL
- Pipeta 10mL
- Trietanolamina
- N-butanol
- Agua destilada

Procedimiento:

Para la preparación de 500 mL de solución captadora se pesó 7.5 gramos de trietanolamina mismos que se diluyeron en 250 mL de agua destilada, a esta solución resultante se le añadió 1.5 mL de N-butanol y se mezcló hasta obtener una solución homogénea, finalmente se aforó a 500 mL. Se trasvasó 8 mL de la solución captadora a tubos estériles y sin aditivos, utilizados para muestras de sangre (VanTubo Non Coagulation) de 10 mL, forrados externamente de cinta negra con el objetivo de evitar el paso de la luz. El restante de solución se colocó en la botella ámbar y se mantiene un mes refrigeración con una durabilidad de máximo un mes. (Bermeo, y otros, 2018: pp.25-43).

### *2.5.2.2. Exposición y recolección de los tubos*

Una vez preparados los tubos son tapados y éstos se deben transportar en una hielera hasta su colocación en los puntos de monitoreo, una vez en el punto se destapan y se colocan a una altura de 1.5 a 4 m sobre el nivel del suelo (Bermeo, y otros, 2018: pp.25-43). Los tubos se colocaron bajo cubierta a una altura de 2.5 m sobre el nivel del suelo.

Una vez transcurrido el periodo de monitoreo, para retirar los tubos de cada punto se taparon nuevamente y se colocaron en la hielera para evitar cambios o modificaciones en los valores de los contaminantes hasta realizar los análisis. Al retirar cada tubo se etiqueta con la fecha y el punto de muestreo del cual se retira.

## 2.6. Análisis

### 2.6.1. Análisis de muestreadores pasivos

Finalizado el periodo de muestreo, es decir, cada 7 días los tubos recogidos se analizan para obtener los resultados para cada contaminante. La preparación de las muestras se realizó en el laboratorio de Bromatología y el análisis por espectroscopía se realizaron en el Laboratorio de Investigación en la Facultad de Ciencias de la ESPOCH.

Previo a la preparación de las soluciones para los análisis, la mitad del contenido de cada tubo se transfirió a otro de las mismas características, pero sin forrar, esto nos permite observar los cambios de coloración en la solución, y se los etiquetó con el punto de muestreo y el contaminante a analizar.

- *Análisis de NO<sub>2</sub>*

Los materiales y equipos necesarios para realizar la solución son:

- Balanza digital
- 2 pipetas 1 mL
- 2 probetas 50mL
- Espectrofotómetro UV-Visible
- Agitador magnético.
- Muestras recogidas
- Ácido acético
- Agua destilada
- Ácido sulfanílico
- Naftalamina

Procedimiento:

Para el análisis de dióxido de nitrógeno se realizó una prueba colorimétrica, la cual indica la presencia de este contaminante en las muestras.

Se preparan dos reactivos:

1. Reactivo A: Esta solución se preparó diluyendo 0,1 de naftalamina en 20 mL de ácido acético.
2. Reactivo B: Para este reactivo se diluyó 0,16 g de ácido sulfanílico en 20 mL de ácido acético. (Bermeo, y otros, 2018: pp.25-43). La disolución de estos compuestos puede tardar por lo cual se puede usó un agitador magnético para acelerar el proceso. (Bermeo, y otros, 2018: pp.25-43).

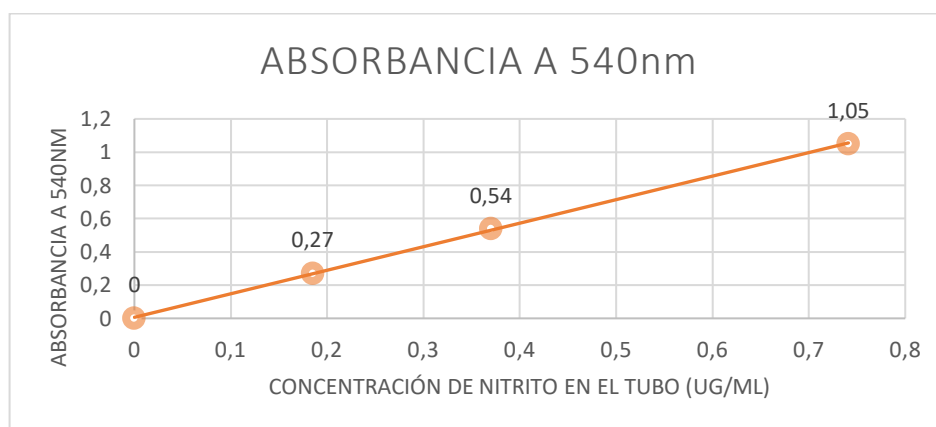
Se añadió 0.5 mL de cada reactivo, empezando por el reactivo B y luego el reactivo A, en cada tubo que contiene la solución expuesta. Si existe presencia de dióxido de nitrógeno se presentará

una coloración rosada, la intensidad puede variar en cada tubo debido a la cantidad del contaminante que contiene. Finalmente se miden las absorbancias en el espectrofotómetro UV-Visible, a longitud de onda de 540 nm. (Bermeo, y otros, 2018: pp.25-43).

**Tabla 3-2:** Datos utilizados para la curva de calibración. Relación entre absorbancia y concentración de NO<sub>2</sub>

DISOLUCIÓN ESTANDAR	CONCENTRACIÓN DE CALIBRACIÓN ESTÁNDAR (ug/mL)	CONCENTRACIÓN DE NITRITO EN EL TUBO (ug/mL)	ABSORBANCIA A 540nm
A	60	0.741	1.05
B	30	0.37	0.54
C	15	0.185	0.27
BLANCO	0	0	0

Fuente: (Bermeo, y otros, 2018: pp.25-43).



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

Fuente: (Bermeo, y otros, 2018: pp.25-43).

Realizado por: Armijos, Rubi, 2021.

- *Análisis de SO<sub>2</sub>*

Los materiales y equipos necesarios para realizar la solución son:

- Balanza digital
- 2 pipetas 10 mL
- Balón de aforo 25 mL
- Espectrofotómetro UV-Visible
- Muestras recogidas
- Ácido clorhídrico
- Agua destilada
- Cloruro de bario

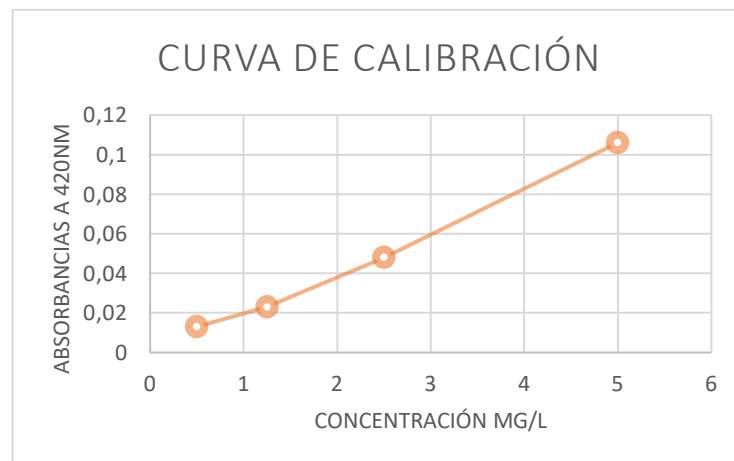
Procedimiento:

Para el análisis de dióxido de azufre se preparó una solución sobresaturada de cloruro de bario, para esta solución se pesó 6 g de cloruro de bario, este se aforó a 25 mL con agua destilada. Se añadió 1 mL de esta solución en cada tubo de muestreo recolectado de SO<sub>2</sub>, al mezclarse la solución del tubo y la solución sobresaturada se genera sulfato de bario. Para eliminar interferencias se agrega 0.5 mL de ácido clorhídrico, una vez que se añade el ácido se deja reposar por 5 min. Finalmente se miden las absorbancias a 420 nm en el espectrofotómetro UV-Visible. (Cifuentes, 2014: pp.22-43).

**Tabla 4-2:** Datos utilizados para la curva de calibración. Relación entre absorbancia y concentración de SO<sub>2</sub>

Concentración teórica de sulfatos (mg/L)	Promedios de las Absorbancias
0.5	0.013
1.25	0.023
2.5	0.048
5	0.106

Fuente: (Cifuentes, 2014: pp.22-43).



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

Fuente: (Cifuentes, 2014: pp.22-43).

Realizado por: Armijos, Rubi, 2021.

### 2.6.2. Preparación para análisis por espectrofotometría de biomonitores

Con la muestra ya en el laboratorio, se preparó el medio para su respectivo análisis.

Los materiales, equipos y reactivos necesarios son:

- Balanza digital

- Reverbero
- Sorbona
- Espectrofotómetro UV-Visible
- Matraz Erlenmeyer 100 mL
- Balón de aforo 50 mL
- Muestra recogida.
- Ácido nítrico concentrado
- Peróxido de hidrógeno al 30%
- Ácido clorhídrico
- Agua destilada

Procedimiento:

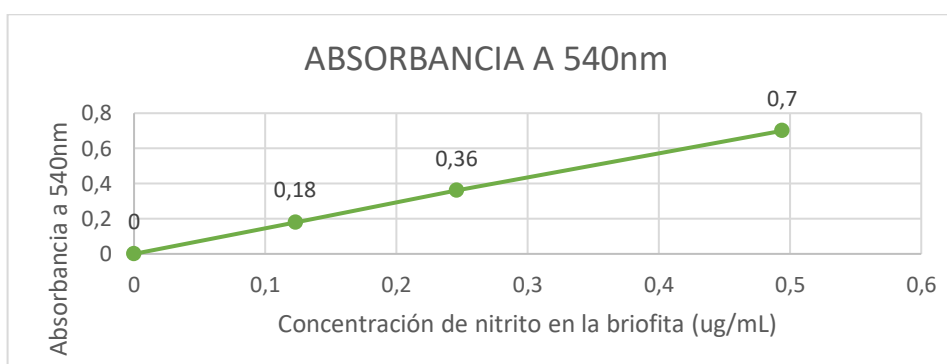
Dado que las muestras se encuentran completamente secas ya que se encontraban bajo cubierta y por en un periodo de exposición extenso, se procede a pesar directamente 500 mg, la muestra pesada se colocó en un Erlenmeyer de 100 mL y se vertió en ella 10 mL de ácido nítrico concentrado ( $\text{HNO}_3$ ) para luego calentar en un reverbero a alta temperatura, se mantuvo hasta que se la coloración de la solución se tornó naranja-marrón, una vez alcanzada esta coloración se retiró del calor y se dejó enfriar a temperatura ambiente, se agregó 5 mL de ácido nítrico concentrado y se calentó una vez más, esta solución tiene la misma reacción que la anterior, por lo tanto, cuando se dé la coloración marrón, nuevamente se retiró y dejó enfriar a temperatura ambiente. Se añadió 2 mL de ácido nítrico concentrado, se calentó en el reverbero hasta que la solución tenga un volumen entre 5 a 10 mL, este nuevamente se retira del calor y se dejó enfriar a temperatura ambiente. (González, 2018: pp.32-40).

A la solución resultante se agregó 2 mL de peróxido de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) al 30%, se volvió a calentar esta solución hasta que el volumen nuevamente sea de 5 a 10 mL. Este paso se lo realizó hasta que la solución tuvo una coloración clara. Una vez culminado el paso anterior se añadió 2 mL de ácido clorhídrico concentrado ( $\text{HCl}$ ) y se calentó en el reverbero hasta conseguir un volumen de 5 mL. La solución resultante se colocó en balones aforados de 50 mL y se aforó con agua destilada (transferencia a forma cuantitativa). La lectura en el espectrofotómetro se realiza a 540 nm para detectar  $\text{NO}_2$  y a 571 nm para  $\text{SO}_2$  (González, 2018: pp.32-40).

**Tabla 5-2:** Datos utilizados para la curva de calibración. Relación entre absorbancia y concentración de NO<sub>2</sub> en la briofita.

<b>VOLUMEN (mL)</b>	<b>CONCENTRACIÓN DE NITRITO EN LA BRIOFITA (ug/mL)</b>	<b>ABSORBANCIA A 540nm</b>
40	0.494	0.7
20	0.246	0.36
10	0.123	0.18
0	0	0

Realizado por: Armijos, Rubi, 2021.



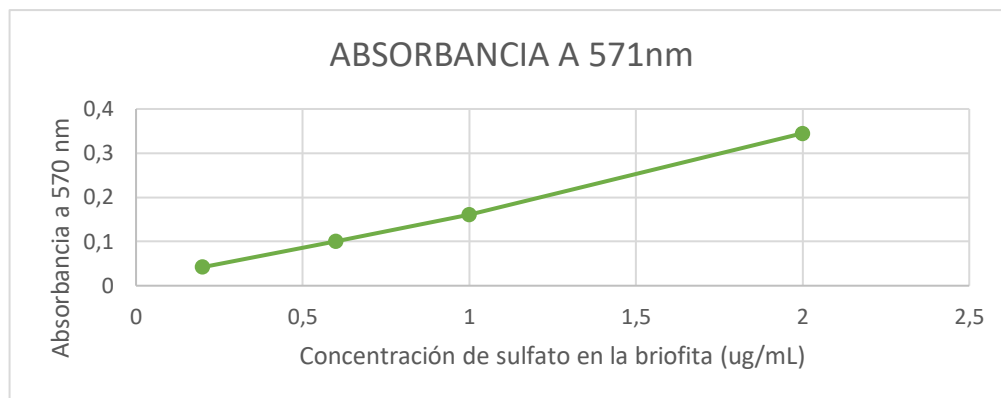
**Gráfico 4-2:** Curva de calibración para NO<sub>2</sub> en la briofita.

Realizado por: Armijos, Rubi, 2021.

**Tabla 6-2:** Datos utilizados para la curva de calibración. Relación entre absorbancia y concentración de SO<sub>2</sub> en la hepática

<b>VOLUMEN</b>	<b>CONCENTRACIÓN DE SULFATO EN LA BRIOFITA (ug/mL)</b>	<b>ABSORBANCIA A 571 nm</b>
10	2	0.345
5	1	0.161
3	0.6	0.101
1	0.2	0.042

Realizado por: Armijos, Rubi, 2021.



**Gráfico 5-2:** Curva de calibración para SO<sub>2</sub> en la briofita.

Realizado por: Armijos, Rubi, 2021.

## 2.7. Cálculos para la obtención de concentración de contaminantes

Una vez obtenidas las absorbancias se calcula las concentraciones de los contaminantes, las ecuaciones a utilizadas se aplican tanto para el método biológico como para el método químico, es decir, se aplican para los resultados de biomonitores como los de muestreadores pasivos.

### 2.7.1. Concentración de NO<sub>2</sub>

El cálculo inicia con la concentración de nitrito en el tubo, se realizó mediante una regla de tres, esta relaciona la absorbancia obtenida de la muestra con la curva de calibración. (Bermeo, y otros, 2018: pp.25-43).

$$C_{NO_2} = \frac{C_1 + Abs_2}{Abs_1} \quad [\text{Ec. 3-2}]$$

Donde:

$C_1$ =Concentración en la absorbancia 1. Curva de calibración.

$Abs_1$ = Absorbancia correspondiente a la curva de calibración.

$Abs_2$ = Absorbancia obtenida de la muestra

$C_{NO_2}$ = Valor correspondiente a la concentración en µg/mL de nitritos en el tubo.

Posterior a esto se calculó la masa de los nitritos, para ello se usa la concentración que se calculó anteriormente. (Bermeo, y otros, 2018: pp.25-43).

$$m = C_{NO_2} * V_{Rx} \quad [\text{Ec. 4-2}]$$

Donde:

$C_{NO_2}$ = Concentración de nitritos en el tubo. (µg/mL)

$V_{Rx}$ = Volumen de los reactivos de color añadidos en cada tubo (mL)

m= masa de nitritos (µg)



El tercer paso corresponde al cálculo de la concentración de NO<sub>2</sub> en el ambiente, para esto se utilizó ecuación 5-2:

$$C_a = \frac{m \cdot L}{D_{12} \cdot t \cdot A} \quad [\text{Ec. 5-2}]$$

Donde:

m= masa de nitritos (µg)

L = longitud de tubo usado para el muestreo (m)

D<sub>12</sub> = Coeficiente de difusión (m<sup>2</sup>/s) del aire y NO<sub>2</sub>

t = tiempo de muestreo (s)

A = área transversal del tubo (m<sup>2</sup>)

C<sub>a</sub> = concentración ambiente de NO<sub>2</sub> (µg/m<sup>3</sup>)

### 2.7.2. Concentración de SO<sub>2</sub>

Para determinar el contenido de sulfatos el cálculo de igual manera que en NO<sub>2</sub> se realizó mediante una regla de tres, relacionando la absorbancia obtenida de la muestra con la curva de calibración. (Bermeo, y otros, 2018: pp.25-43).

$$C_{SO_2} = \frac{C_1 + Abs_2}{Abs_1} \quad [\text{Ec. 6-2}]$$

Donde:

C<sub>1</sub>= Concentración en la absorbancia 1. Curva de calibración.

Abs<sub>1</sub>= Absorbancia correspondiente a la curva de calibración.

Abs<sub>2</sub>= Absorbancia obtenida de la muestra

C<sub>SO<sub>2</sub></sub>= Valor correspondiente a la concentración de sulfatos en el tubo en µg/mL.

Luego se determina la masa de sulfatos contenida en el tubo mediante la fórmula. (Bermeo, y otros, 2018: pp.25-43).

$$m_{SO_2} = C_{SO_2} \cdot V_{Rx} \quad [\text{Ec. 7-2}]$$

Donde:

C<sub>SO<sub>2</sub></sub>= Concentración de sulfatos en el tubo. (µg/mL)

V<sub>Rx</sub>= Volumen de los reactivos de color añadidos en cada tubo (mL)

m<sub>SO<sub>2</sub></sub> = masa de nitritos (µg)

Posterior a esto se determinó la concentración ambiente de SO<sub>2</sub> aplicando la ecuación 8-2:

$$C_{aSO_2} = \frac{m_{SO_2}}{Q_k \cdot t} \cdot 10^6 \quad [\text{Ec. 8-2}]$$

Donde:

m<sub>SO<sub>2</sub></sub> = masa de sulfatos (µg)

Q<sub>k</sub> = Frecuencia de muestreo (119 min/mL)

t = periodo de muestreo (min)

$C_{aSO_2}$  = concentración ambiente de  $SO_2$  ( $\mu g/m^3$ )

### 2.7.3. Corrección de las concentraciones

Finalmente, se corrigieron los datos de las concentraciones obtenidas tanto de  $NO_2$  como de  $SO_2$ , en base a la temperatura promedio del periodo de muestreo y de la presión promedio del periodo de muestreo, como se menciona en la normativa ecuatoriana “Las mediciones observadas de concentraciones de contaminantes criterio del aire deberán corregirse de acuerdo a las condiciones de la localidad en que se efectúen dichas mediciones, para lo cual se utilizará la siguiente ecuación:” (Ministerio del Ambiente, 2015: p.55).

$$C_c = C_a * \frac{760 \text{ mmHg}}{P_{prom}} * \frac{T_{prom}}{298 \text{ } ^\circ K} \quad [\text{Ec. 9-2}]$$

Donde:

$C_a$  = Concentración ambiente del contaminante

$P_{prom}$  = Presión promedio durante el periodo de muestreo

$T_{prom}$  = Temperatura promedio durante el periodo de muestreo

$C_c$  = Concentración del contaminante corregida

## 2.8. Análisis estadístico

Se aplicó un análisis estadístico correlacional, debido a que es necesario relacionar las variables de análisis para poder obtener resultados significativos, este nos ayuda a aceptar o rechazar las hipótesis planteadas sobre la efectividad del uso de briofitas como biomonitores. El programa que se utilizó es SPSS debido a su capacidad de trabajar con grandes bases de datos y consta de una interfaz adecuada para obtener resultados concretos, en éste a través de la función correlaciones bivariadas las variables que se analizan son el promedio mensual por cada punto de captadores pasivos con el promedio mensual por cada punto de monitoreo de los biomonitores, por cada contaminante estudiado.

## 2.9. Elaboración de mapas

Una vez definidas las concentraciones de cada contaminante por los dos tipos de muestro, se utilizó el software ArcGis, en el cual se añadió el mapa de la zona de estudio, georreferenciado, y posteriormente se importaron las coordenadas de los puntos y las concentraciones obtenidas, mismas que bajo la herramienta “IDW” interpola estos datos y de acuerdo a la concentración presenta variación de colores en cada punto. Se elaboró un mapa por cada contaminante y cada

método evaluado donde, se utilizó como referencia las concentraciones promedio obtenidas, transformadas para comparación con los límites permisibles. (Nieto, 2019: pp.33-40).

## CAPÍTULO III

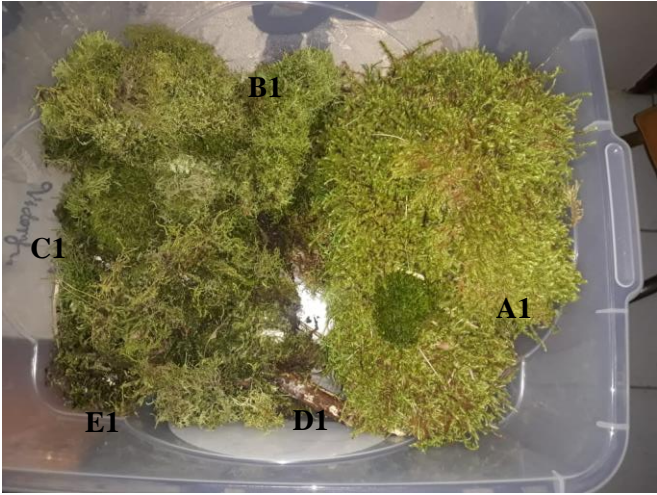

### 3. MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

#### 3.1. Pruebas de tolerancia a briofitas

##### 3.1.1. Método cualitativo

Durante los días de prueba, se verificó la capacidad de tolerancia de acuerdo al cambio en la pigmentación o marchitamiento que presentaron las especies sometidas al contacto con NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> (Poblano, 2013: p.34). Tras una exposición constante en volúmenes elevados de estos contaminantes provocan una degeneración en la clorofila además inhiben la reproducción (Bahuguna, Yateesh, y otros, 201: pp. 279-296).

**Tabla 1-3:** Registro fotográfico de la marchitez por NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> en briofitas.

REGISTRO FOTOGRÁFICO	DESCRIPCIÓN
	<p><b>DÍA 1:</b> Primer día expuestos a 380,2 mL de SO<sub>2</sub> y 380,38mL de NO<sub>2</sub>.</p> <p>A1: <i>Breutelia trianae</i>                      B1: <i>Bazzania breuteliana</i>                      C1: <i>Metzgeriaceae</i>                      D1: <i>Pleurozium schreberi</i>                      E1: <i>Dicranaceae</i></p>
	<p><b>DÍA 3:</b> Volumen de contaminantes: 1140.68 mL de SO<sub>2</sub>; 1140.63 mL de NO<sub>2</sub></p> <p>A1: <i>Breutelia trianae</i>                      B1: <i>Bazzania breuteliana</i>                      C1: <i>Metzgeriaceae</i>                      D1: <i>Pleurozium schreberi</i>                      E1: <i>Dicranaceae</i></p>



**DÍA 5:** Volumen de contaminantes: 1901.14 mL de SO<sub>2</sub> y 1901.1 mL de NO<sub>2</sub>  
 A1: *Breutelia trianae*  
 B1: *Bazzania breuteliana*  
 C1: *Metzgeriaceae*  
 D1: *Pleurozium schreberi*  
 E1: *Dicranaceae*

Realizado por: Armijos, Rubi, 2021.

Al finalizar el periodo de prueba, como se muestra en la tabla 1-3, la especie que no se encontraba marchita en su punto máximo fue la hepática *Metzgeriaceae*, mientras el resto de especies evaluadas ya se encontraban marchitas, además el musgo *Breutelia trianae* tras este periodo de prueba terminó completamente seco. La respuesta de las plantas, en este caso las briofitas evaluadas, van a depender de cada especie esto se debe a la sensibilidad entre las distintas variedades existentes mismos que a la vez van a estar influenciados por las condiciones ambientales (Castillo, 1982: pp. 75-88). Por este motivo se realizó una prueba cuantitativa que determina la cantidad de contaminante presente en cada especie.

### 3.1.2. Método cuantitativo

Las pruebas de tolerancia resultaron efectivas para determinar la especie con la cual se obtendría un mejor resultado debido a la capacidad de absorción que presentaba a dióxido de nitrógeno y dióxido de azufre, las especies utilizadas, expuestas por 5 ocasiones al contacto directo de estos contaminantes presentaron diferentes absorbancias, presentadas en la tabla 2-3.

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

Código	Tipo de briofita	Especie	(NO <sub>2</sub> ) 540 nm	(SO <sub>2</sub> ) 571 nm
A1	Musgo	<i>Breutelia trianae</i>	0.017	0.021
B1	Hepática	<i>Bazzania breuteliana</i>	0.016	0.032
C1	Hepática	<i>Metzgeriaceae</i>	0.044	0.067
D1	Musgo	<i>Pleurozium schreberi</i>	0.034	0.045
E1	Musgo	<i>Dicranaceae</i>	0.031	0.037

Realizado por: Armijos, Rubi, 2021.

Se conoce que la absorbancia resulta de la concentración de la solución, si existen más moléculas, en este caso de contaminantes, existirá mayor interacción de ellas con la luz y por lo tanto una mayor absorbancia (Díaz, y otros, 2008: p. 16). En base a esta teoría se seleccionó la briofita que mayor absorbancia presenta, tanto para sulfatos como para nitritos la especie que mayor absorbancia presentó es *Metzgeriaceae* correspondiente a una hepática, la absorbancia para NO<sub>2</sub> resultó de 0.044, mientras que para SO<sub>2</sub> de 0.067 motivo por el cual se la eligió para realizar los biomonitores.

### 3.2. Datos meteorológicos

Para determinar la concentración real en el aire los datos se corrigieron de acuerdo a la presión y temperatura de los días de muestreo (Bermeo, y otros, 2018: pp.25-43) los datos se obtuvieron a través de INAMHI de la estación meteorológica Riobamba Politécnica, de los cuales se realizó un promedio semanal, en base al periodo de muestreo, esto se muestra en la tabla 3-3.

**Tabla 3-3:** Promedio semanal de datos meteorológicos utilizados para corrección de las concentraciones.

<b>Promedio semanal de datos meteorológicos</b>		
<b>Semanas</b>	<b>Temperatura (K)</b>	<b>Presión (mmHg)</b>
1	286.359	546.162
2	287.560	545.824
3	286.424	545.889
4	287.284	545.756
5	287.522	546.347
6	287.546	545.983
7	286.337	546.538
8	286.007	545.695

Fuente: (INAMHI, 2021).

Realizado por: Armijos, Rubi, 2021.

### 3.3. Concentración de contaminantes por muestreadores pasivos

#### 3.3.1. Concentración promedio semanal de dióxido de nitrógeno

La tabla 4-3 indica los promedios de las concentraciones de dióxido de nitrógeno, medidas por el método de muestreadores pasivos, monitoreadas durante 8 semanas, correspondiente a los meses de enero y febrero del 2021.

**Tabla 4-3:** Concentración promedio semanal de dióxido de nitrógeno

<b>Concentración de NO<sub>2</sub> (µg/m<sup>3</sup>)</b>			
<b>Punto de monitoreo</b>	<b>Enero</b>	<b>Febrero</b>	<b>Promedio semanal</b>
1	68.99	82.16	75.58
2	77.26	91.52	84.39
3	70.32	74.13	72.23
4	68.75	77.64	73.20
5	70.55	75.85	73.20
6	68.75	73.18	70.97
7	74.60	83.03	78.82
8	75.78	88.73	82.26
9	67.74	77.64	72.69
10	66.41	70.07	68.24
11	70.70	71.30	71.00
12	73.10	93.70	83.40
13	68.21	74.13	71.17
14	72.89	78.74	75.82
15	73.35	77.41	75.38
16	69.85	80.30	75.08
17	75.47	73.89	74.68
18	78.82	82.95	80.89
19	71.95	69.28	70.62
20	72.89	75.29	74.09
21	69.07	74.12	71.60
22	67.42	68.73	68.08
23	70.55	72.48	71.52
24	72.81	78.02	75.42
25	74.37	72.72	73.55

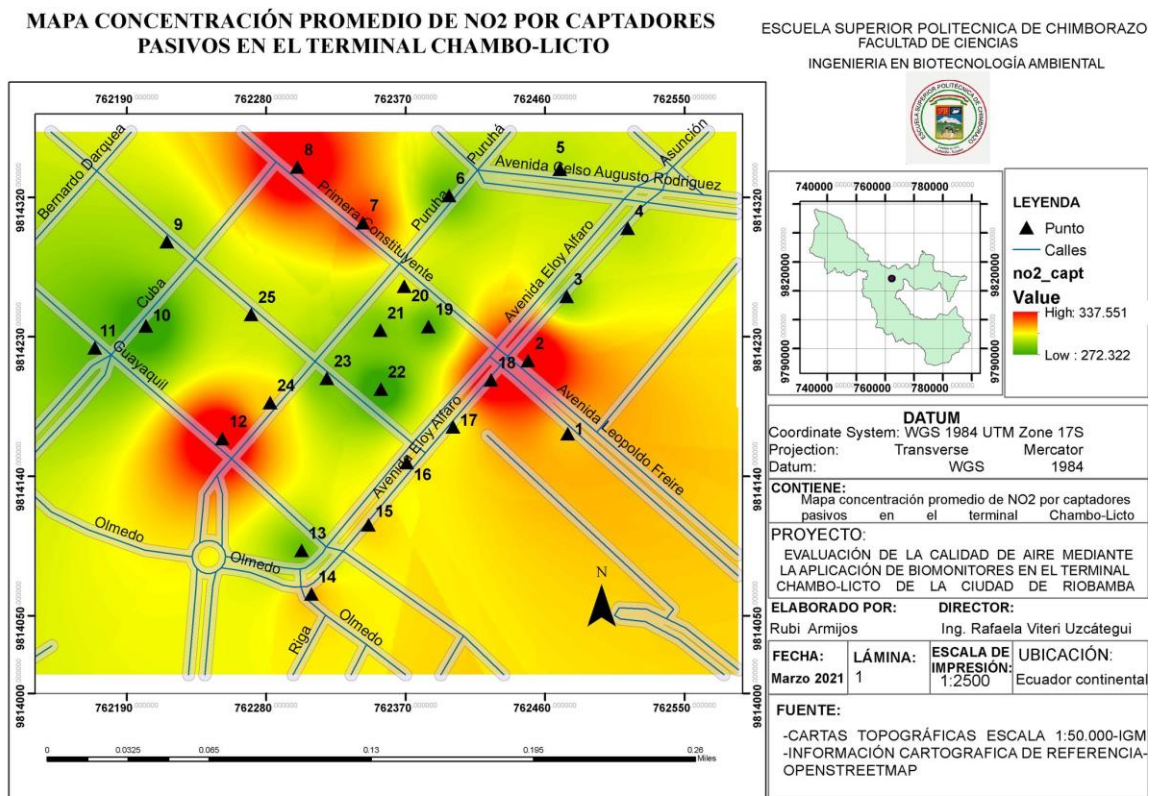
Realizado por: Armijos, Rubi, 2021.

La concentración promedio semanal mínima que se registró en el mes de enero corresponde al punto de monitoreo 22, en este punto durante el mes de febrero de igual manera presenta la concentración más baja de todos los puntos, siendo ésta de 67.42 µg/m<sup>3</sup> y de 68.73 µg/m<sup>3</sup> respectivamente, esto se debe a que este punto se encuentra en una zona abierta del terminal Chambo-Licto cuyos límites son una cancha de vóley y el estacionamiento de los buses por lo tanto no existe una circulación cercana de vehículos y un flujo de aire constante, lo cual se corrobora en el promedio total que es de 68.08 µg/m<sup>3</sup>.

La concentración máxima registrada en el mes de enero corresponde al punto de monitoreo 18 con una concentración de 78.82 µg/m<sup>3</sup>, este punto se ubica la avenida Eloy Alfaro, que al ser de doble vía cuenta con una circulación continua de los vehículos; en el mes de febrero se registra



en el punto de monitoreo 12 la concentración más alta, siendo ésta de  $93.70 \mu\text{g}/\text{m}^3$  la razón de esta elevada concentración se debe a que este punto corresponde a una parada de buses por lo tanto, se concentran los contaminantes de los vehículos que circulan en esta calle y de los buses que se encuentran detenidos pero mantienen su funcionamiento durante su espera de pasajeros mismos que al usar diésel como combustible tienen mayor emisión de este contaminante debido a que la cantidad de aire es más alta para que se produzca la combustión (Castillo, Mendoza y Caballero, 2012: pp. 293-306). Además, es notable que en las semanas del mes de febrero se presentaron concentraciones más altas en el las semanas del mes de enero.



**Gráfico 1-3:** Mapa de concentración promedio mensual de dióxido de nitrógeno por captadores pasivos en el terminal Chambo-Licto de la ciudad de Riobamba.

**Realizado por:** Armijos, Rubi, 2021.

De acuerdo al gráfico 1-3, realizado en base a la concentración promedio mensual de NO<sub>2</sub> por los captadores pasivos, se denota tres zonas donde las concentraciones son más altas, corresponden a la intersección de las Calles puruhá y Guayaquil, en la intersección de la avenida Eloy Alfaro y Leopoldo Freire y una zona más extensa de alta concentración que se encuentra en la Primera Constituyente y Cuba, los puntos coloreados de verde, donde se registra una concentración más baja se encuentran en zonas que corresponden a espacios abiertos y por ende existe mayor flujo de aire. De acuerdo al promedio de las concentraciones obtenidas por las 8 semanas de monitoreo del mes de enero y febrero la concentración máxima corresponde al punto de monitoreo 2 con



84.39  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  esta concentración alta se debe a que corresponde a un semáforo, ubicado en la intersección de la Avenida Leopoldo Freire y la avenida Eloy Alfaro donde existe constante flujo vehicular con emanación de estos gases. (Organización Mundial de la Salud, 2018).

### 3.3.2. Concentración promedio semanal de dióxido de azufre

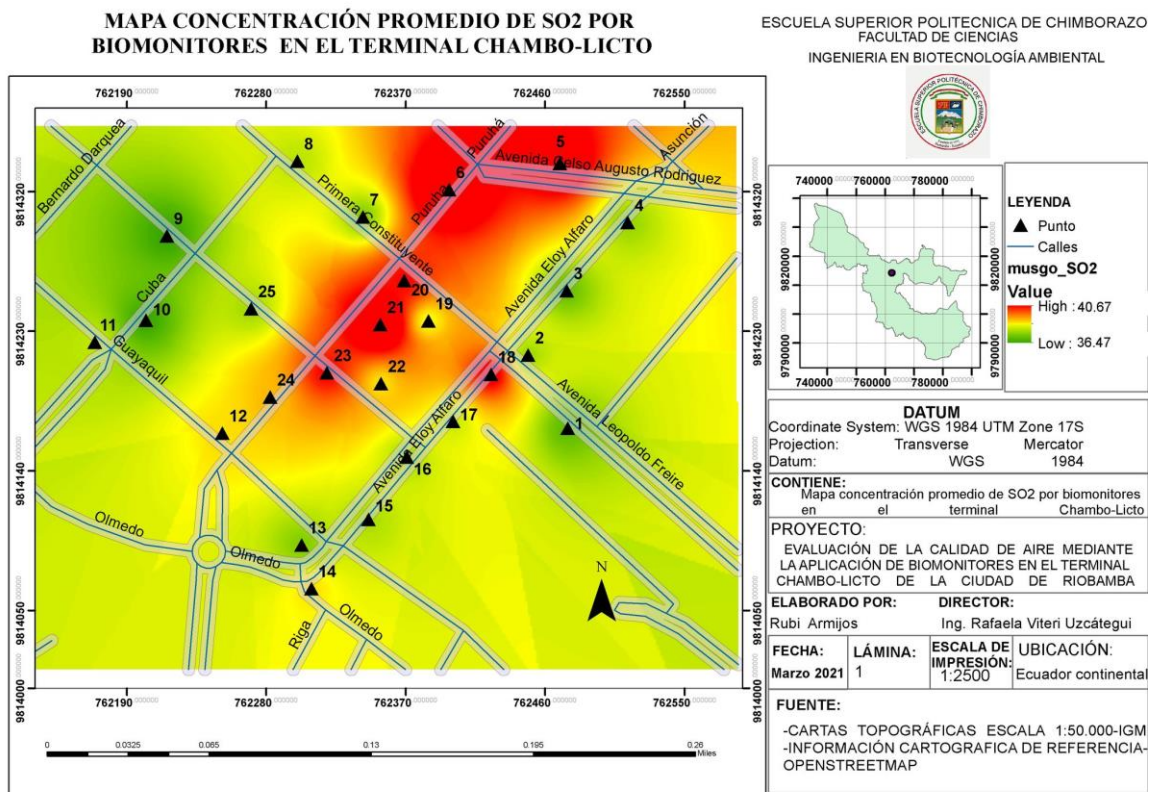
La tabla 5-3 muestra los resultados del promedio semanal de las concentraciones medidas del 4 de enero al 3 de marzo, es decir correspondientes al mes de enero y febrero del 2021, medidos a través de captadores pasivos, donde, en todos los puntos se muestran valores mayores a  $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . De acuerdo a la normativa ambiental ecuatoriana la concentración anual de  $\text{SO}_2$  no debe superar los  $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (Ministerio del Ambiente, 2015: p. 55).

**Tabla 5-3:** Concentración promedio semanal de dióxido de azufre

Concentración de $\text{SO}_2$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )			
Punto de monitoreo	Enero	Febrero	Promedio semanal
1	68.43	69.71	69.07
2	70.23	69.00	69.615
3	68.33	66.84	67.585
4	69.23	67.30	68.265
5	76.31	67.49	71.9
6	68.75	68.00	68.375
7	69.62	67.78	68.7
8	70.91	69.58	70.245
9	67.72	67.07	67.395
10	68.85	67.78	68.315
11	68.72	68.84	68.78
12	69.56	69.71	69.635
13	68.95	69.55	69.25
14	69.37	67.65	68.51
15	68.69	68.71	68.7
16	67.46	67.97	67.715
17	70.85	69.42	70.135
18	67.98	68.51	68.245
19	68.78	67.87	68.325
20	67.88	66.81	67.345
21	69.14	68.35	68.745
22	73.13	68.32	70.725
23	71.36	67.97	69.665
24	68.37	68.87	68.62
25	72.81	68.32	70.565

Realizado por: Armijos, Rubi, 2021.

Las concentraciones de dióxido de azufre obtenidas varían en cada punto de acuerdo al mes, así tenemos que las concentraciones más bajas se dieron en los puntos de monitoreo 16 y 20 en el mes de enero y febrero respectivamente, sin embargo, si obtenemos un promedio de éstas se obtiene que la concentración mínima se da en el punto 20 con  $67.34 \mu\text{g}/\text{m}^3$  mientras que en el punto 16 se obtiene una concentración de  $67.71 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , el punto 20 corresponde a una intersección poco transitada debido a que se encuentra a la salida del terminal Chambo-Licto. La concentración máxima registrada de acuerdo al promedio general corresponde al punto de monitoreo 5. Además, es notable que las concentraciones de dióxido de nitrógeno son mayores a las de dióxido de azufre, esto se debe a una mayor presencia de nitrógeno en el aire que reacciona para el funcionamiento de los motores de combustión interna que son los que comúnmente encontramos y en el caso de los vehículos a diésel esta producción es mayor (Castillo, Mendoza y Caballero, 2012: pp. 293-306).



**Gráfico 2-3:** Mapa de concentración promedio mensual de dióxido de azufre por captadores pasivos en el terminal Chambo-Licto de la ciudad de Riobamba.

**Realizado por:** Armijos, Rubi, 2021.

El gráfico 2-3 corresponde a la representación de las concentraciones promedio mensuales de SO<sub>2</sub>, medidas por captadores pasivos donde, el color rojo corresponde a zonas de mayor concentración y se degrada a verde el cual representa zonas de menor concentración; así, se denota una mayor concentración en la calle Puruhá, donde se encuentra el terminal terrestre, y a la

estación de gasolina y se representa una menor concentración en las calles Cuba y Guayaquil, el color amarillo representa una concentración media de dióxido de azufre, siendo ésta que se encuentra en mayor representación de este gráfico. La cantidad de SO<sub>2</sub> que producen los automóviles va a depender del tipo de combustible que usen ya que de acuerdo a esto será el contenido de azufre y el factor de consumo del vehículo que es la cantidad de combustible que usa para su funcionamiento.

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

#### 3.4.1. Concentración de NO<sub>2</sub> en biomonitores

La hepática de la familia *Metzgeriaceae* resultó efectiva ante el monitoreo de dióxido de nitrógeno, esta especie absorbe grandes volúmenes del contaminante. Durante el primer mes de monitoreo que corresponde del 4 de enero al 2 de febrero, se registra concentraciones menores de dióxido de nitrógeno respecto al segundo mes de monitoreo que corresponde del 2 de febrero al 3 de marzo del año 2021, al igual que con la metodología de captadores pasivos, por lo cual se presume una mayor movilización en el mes de febrero (Orozco-Picula, 2018: p-53).

La tabla 6-3 muestra las concentraciones promedio mensual obtenidas en cada punto de monitoreo durante el periodo de exposición.

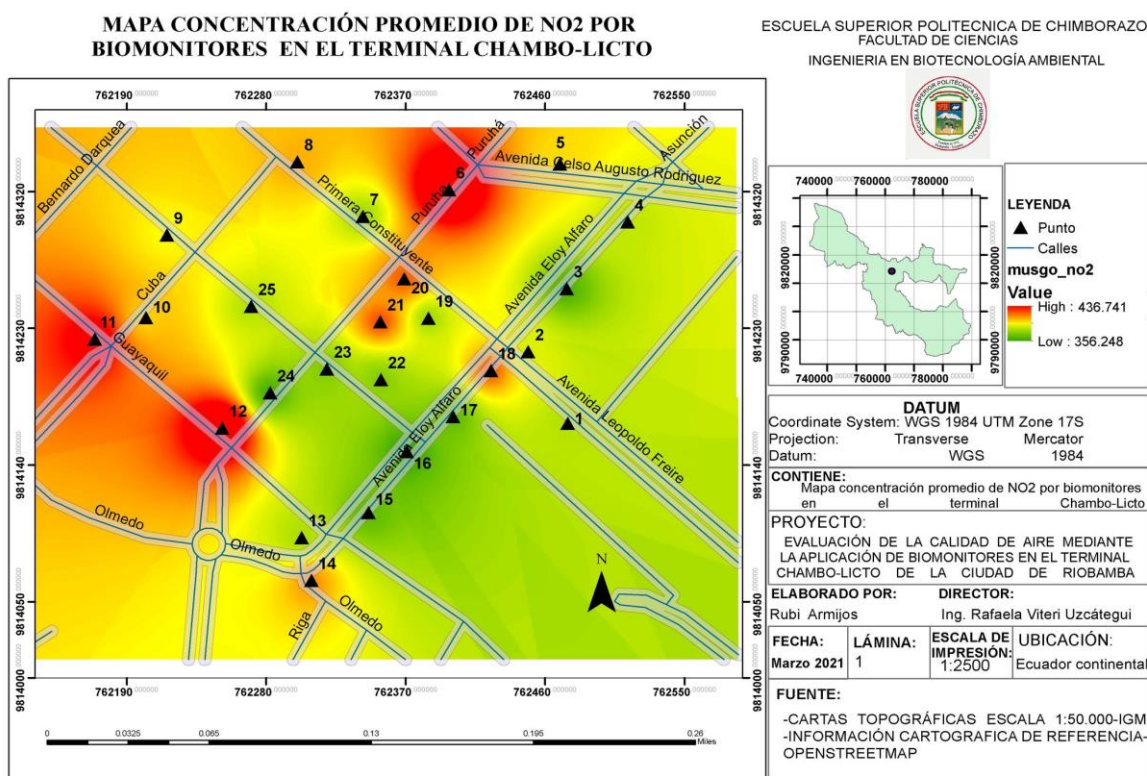
**Tabla 6-3:** Concentración promedio mensual de dióxido de nitrógeno en biomonitores

<b>Concentración de NO<sub>2</sub> en biomonitores (µg/m<sup>3</sup>)</b>			
<b>Punto</b>	<b>Enero</b>	<b>Febrero</b>	<b>Promedio mensual</b>
1	358.900	391.987	375.44
2	379.180	380.928	380.05
3	351.832	369.869	360.85
4	370.269	383.385	376.83
5	377.336	398.131	387.73
6	415.439	455.885	435.66
7	368.733	377.241	372.99
8	373.342	412.877	393.11
9	378.566	390.758	384.66
10	397.617	380.928	389.27
11	402.533	434.995	418.76
12	415.132	458.342	436.74
13	345.380	403.046	374.21
14	406.835	385.843	396.34
15	363.816	362.496	363.16

16	349.989	362.496	356.24
17	372.113	355.123	363.62
18	385.326	419.021	402.17
19	358.285	388.301	373.29
20	406.835	396.902	401.87
21	379.180	428.851	404.02
22	365.045	373.555	369.30
23	352.754	384.614	368.68
24	361.665	357.581	359.62
25	367.811	383.385	375.60

Realizado por: Armijos, Rubi, 2021.

A diferencia de los muestreadores pasivos en este caso los biomonitores arrojaron valores más altos, que guardan cierta relación de la medición en cada punto con los muestreadores pasivos. En el caso de los biomonitores la concentración más alta se registró en el punto de monitoreo 12 con un promedio mensual de  $436.74 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ubicado en una parada de buses, siendo más alta por la acumulación de gases, emitidos en mayor intensidad por este vehículo además de los que mantienen su trayecto (Orozco-Picula, 2018: p-53), mientras el más bajo se registró en el punto 16 este está ubicado en la avenida Eloy Alfaro, con una concentración de  $356.24 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , esta es una avenida más amplia, que consta de 4 carriles, 2 por cada dirección, por lo cual la dispersión de los contaminantes por el viento es mayor (Cifuentes, 2014: pp.22-43).



**Gráfico 3-3:** Mapa de concentración promedio mensual de dióxido de nitrógeno por biomonitores en el terminal Chambo-Licto de la ciudad de Riobamba.

Realizado por: Armijos, Rubi, 2021.

El gráfico 3-3 muestra las concentraciones de NO<sub>2</sub> que corresponden a las obtenidas mediante biomonitores, las zonas marcadas en rojo representan concentraciones más altas, mismas que se centran en la calle Guayaquil y en la intersección de la calle Puruhá y la avenida Augusto Rodríguez, la degradación de éste color representa una disminución de la concentración de contaminantes hasta la representación en color verde, el cual significa que muestra el mínimo de las concentraciones obtenidas, de este modo se muestra que existe una concentración baja en la correspondiente a la avenida Eloy Alfaro y Leopoldo Freire, mismas en las que se encuentran la Universidad Nacional de Chimborazo y Chanchas deportivas, estos son sitios que cuentan con espacios libres, es decir, no corresponden a sitios de acumulación de la contaminación al ser espacios abiertos, sin construcciones, por este motivo existe una mayor circulación del aire y con ello dispersión de los contaminantes (Orozco-Picula, 2018: p-53).

### 3.4.2. Concentración de SO<sub>2</sub> en biomonitores

La tabla 7-3 muestra las concentraciones obtenidas de dióxido de azufre, por *Metzgeriaceae* como biomonitor, a diferencia de los resultados obtenidos con el monitoreo de NO<sub>2</sub> en este caso la absorción de SO<sub>2</sub> fue baja en comparación con las concentraciones obtenidas por captadores pasivos.

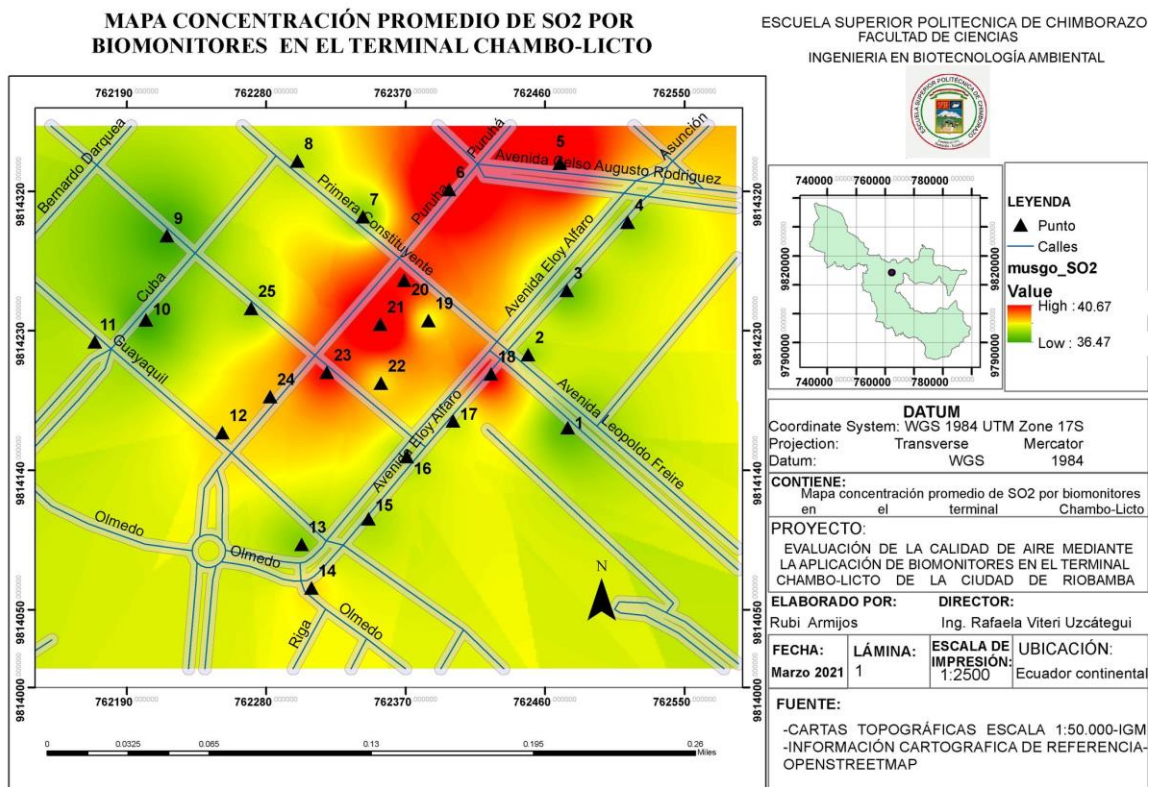
**Tabla 7-3:** Concentración promedio mensual de dióxido de azufre en biomonitores

<b>Concentración de SO<sub>2</sub> en biomonitores (µg/m<sup>3</sup>)</b>			
<b>Punto</b>	<b>Enero</b>	<b>Febrero</b>	<b>Promedio mensual</b>
1	36.593	37.034	36.814
2	37.406	37.150	37.278
3	36.593	37.208	36.901
4	36.999	37.440	37.220
5	40.179	39.472	39.826
6	39.671	41.039	40.355
7	37.173	37.034	37.104
8	37.754	37.150	37.452
9	36.317	36.628	36.473
10	36.825	36.163	36.494
11	37.057	37.905	37.481
12	37.144	38.833	37.989
13	36.868	37.266	37.067
14	37.638	38.311	37.975
15	36.999	37.672	37.336
16	36.709	37.963	37.336
17	37.725	37.324	37.525
18	39.032	39.762	39.397

19	36.883	38.717	37.800
20	38.625	39.704	39.165
21	39.903	41.445	40.674
22	38.756	37.208	37.982
23	38.509	39.878	39.194
24	37.928	38.427	38.178
25	37.580	37.034	37.307

Realizado por: Armijos, Rubi, 2021.

La absorción de dióxido de azufre por parte de los biomonitores de acuerdo a los valores registrados fue baja, obteniendo una máxima concentración promedio mensual en el punto de monitoreo 21 con 40.674  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , esta zona corresponde al punto céntrico del terminal Chambo-Licto, la zona de embarque y desembarque por tal motivo, el transporte permanece en funcionamiento durante un determinado periodo de tiempo y por esta razón en esta calle se genera congestión del tránsito ocasionado por lo angosto de la vía y la circulación con interrupción por los buses. La mínima concentración se obtuvo en el punto 9 con 36.473  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , este punto se encuentra alejado del terminal donde el tránsito vehicular es menor. La producción de este contaminante es proporcional a la afluencia de vehículos que transitan en los puntos estudiados (Orozco-Picula, 2018: p-53).



**Gráfico 4-3:** Mapa de concentración promedio mensual de dióxido de azufre por biomonitores en el terminal Chambo-Licto de la ciudad de Riobamba.

Realizado por: Armijos, Rubi, 2021.



El gráfico 4-3 corresponde a las concentraciones obtenidas mediante biomonitores, este mapa se muestra similar al obtenido por captadores pasivos en cuanto a los puntos con mayor y menor concentración, pero la diferencia de concentraciones obtenidas es muy elevada. De esta manera, se obtiene que el índice de mayor concentración de SO<sub>2</sub> se encuentra en la zona que va del terminal Chambo-Licto hasta la intersección de la calle Puruhá y avenida Augusto Rodríguez donde se ubica una gasolinera y en ésta mientras más se aleja de estas zonas las concentraciones disminuyen, debido a que existe una afluencia vehicular menor (Orozco-Picula, 2018: p-53).

### 3.5. Análisis comparativo entre los métodos aplicados

#### 3.5.1. Comparación de absorción de NO<sub>2</sub>

La tabla 8-3 muestra los resultados obtenidos luego de la transformación de la concentración en meses y días de biomonitores y captadores pasivos, respectivamente, a horas para poder comparar con los límites máximos permisibles de acuerdo a la normativa ambiental, el cual establece una concentración máxima de 200 µg/m<sup>3</sup> en un tiempo determinado que corresponde a una hora (Ministerio del Ambiente, 2015: p. 55).

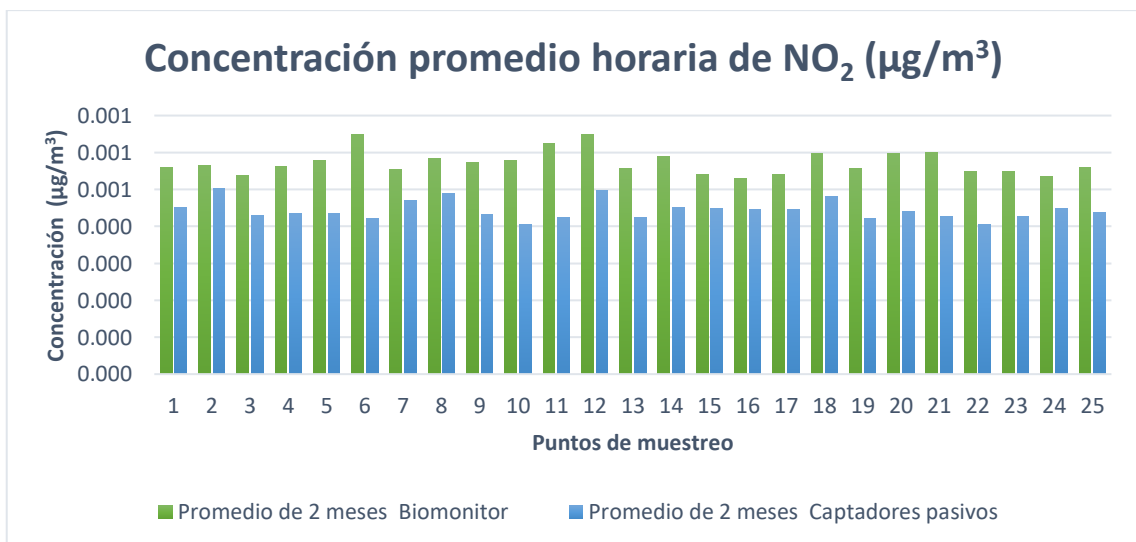
**Tabla 8-3:** Concentración promedio horaria de dióxido de nitrógeno para comparación con los límites permisibles

<b>Concentración promedio horaria de NO<sub>2</sub> (µg/m<sup>3</sup>)</b>		
Límite máximo permisible de NO <sub>2</sub>		200 µg/m <sup>3</sup>
<b>PUNTO</b>	<b>Biomonitor</b>	<b>Captadores pasivos</b>
1	0.559	0.450
2	0.566	0.502
3	0.537	0.430
4	0.561	0.436
5	0.577	0.436
6	0.648	0.422
7	0.555	0.469
8	0.585	0.490
9	0.572	0.433
10	0.579	0.406
11	0.623	0.423
12	0.650	0.496
13	0.557	0.424

14	0.590	0.451
15	0.540	0.449
16	0.530	0.447
17	0.541	0.445
18	0.598	0.481
19	0.555	0.420
20	0.598	0.441
21	0.601	0.426
22	0.550	0.405
23	0.549	0.426
24	0.535	0.449
25	0.559	0.438

Realizado por: Armijos, Rubi, 2021.

En el gráfico 5-3 muestra que, una vez transformados los datos para comparar con los límites permisibles, en el lugar la concentración originada por las emisiones de NO<sub>2</sub> en el aire se encuentran dentro de los niveles permitidos en la normativa ambiental ecuatoriana, establecido en el Acuerdo Ministerial No. 050, que es de 200 µg/m<sup>3</sup> en un periodo de 1 hora (Ministerio del Ambiente, 2015: p. 55). El punto de monitoreo número 12 es uno que presenta las concentraciones más elevadas obtenida por los dos métodos aplicados, como se menciona el NO<sub>2</sub> proviene de los gases de combustión de los vehículos (Manahan, 2007: p. 353), esto se justifica debido a que este punto corresponde a una parada de buses, por lo tanto, durante el tiempo de espera de usuarios, permanecen en el lugar por periodos de tiempo más extensos, además de que en los demás carriles los automóviles continúan circulando las emisiones de gases proveniente de estos vehículos se acumulan en el lugar, por lo tanto, existe mayor concentración de este contaminante.



**Gráfico 5-3:** Representación de concentraciones de NO<sub>2</sub> (µg/m<sup>3</sup>) por punto de monitoreo, determinación de límite máximo permisible.

Realizado por: Armijos, Rubi, 2021.



El gráfico 5-3 demuestra que por parte del biomonitor de la especie *Metzgeriaceae* los niveles de concentración son más altos que las concentraciones obtenidas con el método tradicional de captadores pasivos, además existen puntos como el 4, 5 y 6 donde no guardan una relación los métodos aplicados, es decir, mientras por biomonitores muestra concentraciones elevadas por el método de captadores pasivos se registra concentraciones más bajas, la razón de esta variación se debe a que el biomonitor al estar prácticamente descubierto pudo retener más de las partículas contaminantes que el tubo muestreador pasivo (Poblano, 2013: p. 34). Dada la variación entre los métodos se determina la diferencia y porcentajes de absorción en la tabla 10-3.

**Tabla 9-3:** Concentración promedio mensual de NO<sub>2</sub> para determinar la validez de biomonitores.

Punto	Concentración de NO <sub>2</sub>	
	Biomonitores	Captadores pasivos
1	375.443	302.295
2	380.054	337.554
3	360.851	288.891
4	376.827	292.797
5	387.734	292.803
6	435.662	283.869
7	372.987	315.260
8	393.109	329.000
9	384.662	290.757
10	389.272	272.962
11	418.764	284.009
12	436.737	333.598
13	374.213	284.671
14	396.339	303.259
15	363.156	301.529
16	356.242	300.298
17	363.618	298.720
18	402.173	323.524
19	373.293	282.475
20	401.869	296.358
21	404.016	286.373
22	369.300	272.314
23	368.684	286.063
24	359.623	301.663
25	375.598	294.191

Realizado por: Armijos, Rubi, 2021.

La tabla 9-3 muestra los resultados obtenidos de un promedio general realizado por el periodo de estudio tanto para bio-monitores como para los captadores pasivos, por lo tanto, al ser un promedio los puntos máximos y mínimos descritos de las tablas 4-3 y 6-3 se mantienen.

La determinación de este promedio sirve como base para determinar qué tan efectivo resulta el uso de la especie *Metzgeriaceae* frente a los métodos químicos en la determinación de dióxido de nitrógeno en el aire (Castillo, 1982: pp. 75-88).

**Tabla 10-3: Diferencia y porcentaje de absorción de NO<sub>2</sub> de biomonitores respecto a captadores pasivos.**

<b>PUNTO</b>	<b>Diferencia de absorción de NO<sub>2</sub> (µg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Porcentaje de absorción de NO<sub>2</sub></b>
1	73.148	19%
2	42.500	11%
3	71.960	20%
4	84.030	22%
5	94.931	24%
6	151.793	35%
7	57.728	15%
8	64.109	16%
9	93.904	24%
10	116.311	30%
11	134.755	32%
12	103.139	24%
13	89.542	24%
14	93.080	23%
15	61.627	17%
16	55.944	16%
17	64.898	18%
18	78.649	20%
19	90.818	24%
20	105.510	26%
21	117.643	29%
22	96.986	26%
23	82.621	22%
24	57.960	16%
25	81.407	22%

Realizado por: Armijos, Rubi, 2021.

En la tabla 10-3 se exponen los valores resultantes de la diferencia del promedio de las concentraciones obtenidas mediante la aplicación de biomonitores en relación a los captadores pasivos, durante el periodo de muestreo, en esta se puede comprobar que existe una diferencia significativa entre los dos métodos, se determina que la especie *Metzgeriaceae* resulta efectiva en

el uso como biomonitor para determinación de dióxido de nitrógeno, dando un promedio general de 86.6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  mayor de absorción de  $\text{NO}_2$  ante los captadores pasivos, esto equivale a un 22% más de captación de este contaminante. Se han realizado varios estudios en líquenes y diferentes briofitas para su uso como indicadores biológicos por su alta sensibilidad a los contaminantes más importante, entre ellos dióxido de azufre y óxidos de nitrógeno, su ventaja radica en que al tener una reducción de la cutícula las partículas que quedan adheridas a su superficie pasan directamente a los sitios de intercambio en la pared celular (Castillo, 1982: pp. 75-88).

### 3.5.2. Comparación de absorción de $\text{SO}_2$

La tabla 11-3 expone los resultados de las concentraciones mensuales transformadas a concentración en 24 horas para comparar con la normativa ecuatoriana la cual expone que el límite máximo permisible corresponde a 125  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . (Ministerio del Ambiente, 2015: p. 55).

**Tabla 11-3:** Concentración promedio diaria de dióxido de azufre para comparación con los límites permisibles

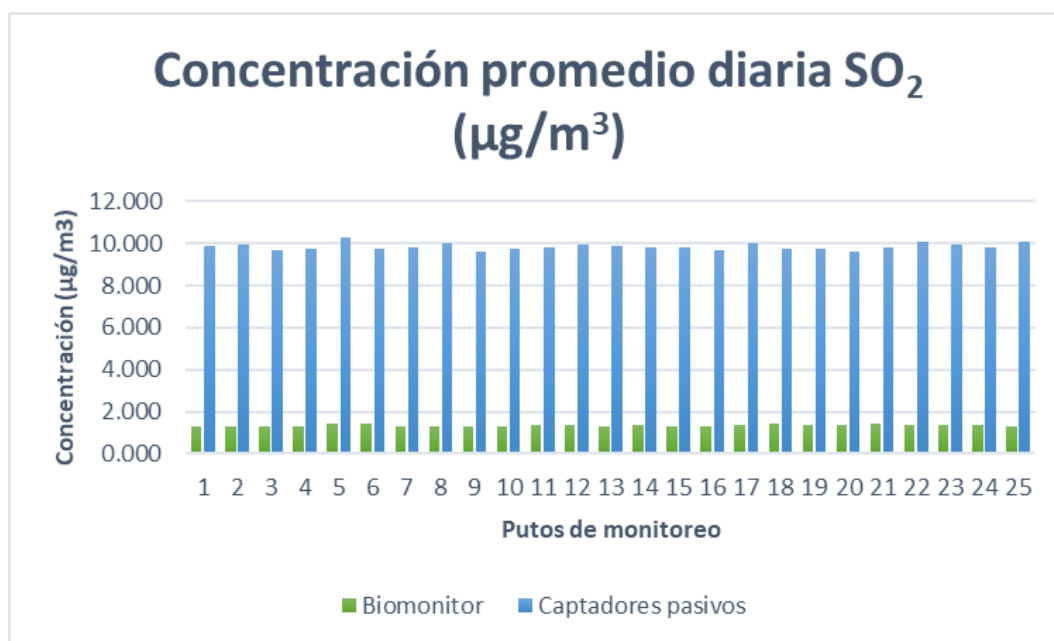
<b>Concentración promedio de <math>\text{SO}_2</math> en un día</b>		
Límite máximo permisible de $\text{SO}_2$		125 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
<b>PUNTO</b>	<b>Biomonitor</b>	<b>Captadores pasivos</b>
1	1.315	9.868
2	1.331	9.945
3	1.318	9.653
4	1.329	9.752
5	1.422	10.272
6	1.441	9.768
7	1.325	9.814
8	1.338	10.035
9	1.303	9.628
10	1.303	9.759
11	1.339	9.826
12	1.357	9.948
13	1.324	9.892
14	1.356	9.787
15	1.333	9.814
16	1.333	9.674
17	1.340	10.019
18	1.407	9.749
19	1.350	9.761

20	1.399	9.623
21	1.453	9.821
22	1.357	10.104
23	1.400	9.952
24	1.363	9.803
25	1.332	10.081

Realizado por: Armijos, Rubi, 2021.

La tabla 11-3 muestra las concentraciones promedio diarias obtenidas en cada punto de monitoreo, medidas por biomonitores y captadores pasivos, al obtenerse tras una transformación de los datos de las tablas 5-3 y 7-3, por lo tanto, las concentraciones máximas y mínimas descritas en éstas se mantienen. En todos los puntos se mantienen las concentraciones por debajo del máximo permitido que es  $125 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (Ministerio del Ambiente, 2015: p. 55).

Estos valores se representan en el gráfico 6-3.



**Gráfico 6-3:** Representación de concentraciones de SO<sub>2</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) por punto de monitoreo. Determinación de límite máximo permisible.

Realizado por: Armijos, Rubi, 2021.

En el gráfico 6-3, que representa las concentraciones medidas de SO<sub>2</sub> por método de biomonitores y captadores pasivos, se evidencia que las concentraciones resultantes por métodos de captadores pasivos resulta mayor a las concentraciones obtenidas por la aplicación de biomonitores, además la diferencia de concentración que presentan entre cada punto es baja. En este gráfico se puede evidenciar que el aire ambiente en la zona presenta concentraciones con las cuales no afecta en gran medida el medio ya que se encuentran dentro de los límites permisibles que rige la normativa ambiental ecuatoriana.

**Tabla 12-3:** Concentración promedio de SO<sub>2</sub> para determinar la validez de biomonitores.

PUNTO	Concentración de SO <sub>2</sub>	
	Promedio de 2 meses	
	Biomonitor	Captadores
1	36.813	276.295
2	37.278	278.464
3	36.900	270.286
4	37.220	273.063
5	39.826	287.605
6	40.355	273.509
7	37.104	274.801
8	37.452	280.989
9	36.472	269.580
10	36.494	273.250
11	37.481	275.127
12	37.989	278.538
13	37.067	276.989
14	37.974	274.028
15	37.336	274.800
16	37.336	270.864
17	37.525	280.531
18	39.397	272.985
19	37.800	273.310
20	39.165	269.453
21	40.674	274.984
22	37.982	282.910
23	39.194	278.663
24	38.178	274.480
25	37.307	282.267

**Realizado por:** Armijos, Rubi, 2021.

En la tabla 12-3 se muestra el promedio mensual de las concentraciones obtenidas por cada punto de monitoreo durante los dos meses de exposición, en esta se determina la efectividad del biomonitor para la determinación de SO<sub>2</sub> en el aire. La diferencia entre los promedios de cada punto por cada método aplicado es muy alta, en biomonitores las concentraciones van de 36.472 µg/m<sup>3</sup> a 40.674 µg/m<sup>3</sup>, mientras que en captadores pasivos las concentraciones se encuentran entre 269.580 µg/m<sup>3</sup> a 282.91 µg/m<sup>3</sup>; por este motivo se realizó una comparación para comprobar y determinar la absorción que se tuvo de este contaminante.

**Tabla 13-3:** Diferencia y porcentaje de absorción de SO<sub>2</sub> de biomonitores respecto a captadores pasivos.

Puntos	Diferencia de absorción de SO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	Porcentaje de absorción de NO <sub>2</sub>
1	-239.481	87%
2	-241.186	87%
3	-233.386	86%
4	-235.843	86%
5	-247.780	86%
6	-233.153	85%
7	-237.698	86%
8	-243.537	87%
9	-233.108	86%
10	-236.756	87%
11	-237.646	86%
12	-240.549	86%
13	-239.922	87%
14	-236.053	86%
15	-237.464	86%
16	-233.528	86%
17	-243.007	87%
18	-233.588	86%
19	-235.510	86%
20	-230.288	85%
21	-234.310	85%
22	-244.928	87%
23	-239.470	86%
24	-236.302	86%
25	-244.960	87%
<b>Promedio</b>	<b>-237.978</b>	<b>86%</b>

Realizado por: Armijos, Rubi, 2021.

En la tabla 13-3 se presentan los resultados obtenidos de la diferencia entre el promedio de las concentraciones de los dos métodos aplicados para determinar la efectividad de la especie *Metzgeriaceae* en la absorción del SO<sub>2</sub>, la cual de acuerdo a los valores obtenidos se evidencia que la absorción de dióxido de azufre es baja en comparación al método químico de captadores pasivos, por ello el signo del resultado, dando un promedio de -237.978 µg/m<sup>3</sup> la diferencia de concentración, es decir, la cantidad absorbida, por lo tanto resulta que el método de captadores pasivos tiene un 86% más de absorción de SO<sub>2</sub>. Por lo tanto, a pesar de existir absorción de SO<sub>2</sub>, no resulta efectivo el uso de la hepática *Metzgeriaceae* para la determinación de este contaminante.

Se han utilizado diversas especies de briofitas como bioindicadores de contaminación ambiental, aplicados con mayor frecuencia en estudios de contaminación del aire y agua por diversos contaminantes y especialmente en contaminación con metales pesados, por su capacidad de absorción o adsorción de estos compuestos (Poblano, 2013: p. 34). En este estudio se demuestra que la especie *Metzgeriaceae* presenta una gran capacidad de tolerancia y retención de altas concentraciones en sus tejidos de dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) cuyos valores incluso superan a los de la metodología tradicional de captadores pasivos, debido a que las briofitas “*No tienen una cutícula externa que les proteja de los contaminantes y por lo tanto están completamente expuestos a los mismos*” por el contrario, al realizar este estudio para evaluar la capacidad de retención de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) en el aire se determinó que esta especie no posee una afinidad de adsorción a este compuesto, las concentraciones que retiene es menor en relación al método estándar de captadores pasivos (Bahuguna, Yateesh, y otros, 201: pp. 279-296).

### 3.6. Análisis estadístico

La tabla 14-3, muestra los resultados del análisis de correlación realizado para determinar la significancia, la cual permite establecer la aceptación o rechazo de las hipótesis planteadas. El análisis se realizó entre el promedio mensual de las mediciones realizadas para dióxido de nitrógeno de cada punto realizadas durante las 8 semanas de estudio, correspondientes a los meses de enero y febrero, por el método de captadores pasivos y el promedio de cada punto obtenido a través de biomonitores, en el cual se determinó que existe una correlación mínima entre estos métodos.

**Tabla 14-3:** Análisis de correlación de NO<sub>2</sub> por metodología de captadores pasivos y biomonitores

		Concentración promedio de NO <sub>2</sub> por captadores pasivos	Concentración promedio de NO <sub>2</sub> por biomonitores
Concentración promedio de NO <sub>2</sub> por captadores pasivos	Correlación de Pearson	1	,194
	Sig. (bilateral)		,354
	N	25	25
Concentración promedio de NO <sub>2</sub> por biomonitores	Correlación de Pearson	,194	1
	Sig. (bilateral)	,354	
	N	25	25

Fuente: (IBM SPSS Statistics 21, 2021)

Realizado por: Armijos, Rubi, 2021.

La tabla 15-3 muestra los resultados de la prueba de correlación realizada entre el método de captadores pasivos y el método por biomonitores para determinar dióxido de azufre en el aire, a través de esta prueba se determina que entre los resultados de las dos metodologías utilizadas existe una correlación mínima, debido a la diferencia que existe de las concentraciones obtenidas por cada método, este análisis estadístico reafirma el resultado obtenido en la tabla 13-3 en el cual se obtuvo que los captadores pasivos absorben un 86% más de dióxido de azufre que los biomonitores.

**Tabla 15-3:** Análisis de correlación de SO<sub>2</sub> por metodología de captadores pasivos y biomonitores

		Concentración promedio de SO <sub>2</sub> por captadores pasivos	Concentración promedio de SO <sub>2</sub> por biomonitores
Concentración promedio de SO <sub>2</sub> por captadores pasivos	Correlación de Pearson Sig. (bilateral) N	1  25	,159 ,449 25
Concentración promedio de SO <sub>2</sub> por biomonitores	Correlación de Pearson Sig. (bilateral) N	,159 ,449 25	1 1 25

Fuente: (IBM SPSS Statistics 21, 2021).

Realizado por: Armijos, Rubi, 2021.

Las pruebas de correlación realizadas tanto para NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> entre los dos métodos aplicados, captadores pasivos y biomonitores, dieron como resultado una significancia mayor al 5% por tal motivo la hipótesis nula planteada se rechaza (SPSS: Un instrumento de análisis de datos cuantitativos , 2005: p. 4), estableciendo una diferencia notable en los dos métodos, mismas que se verifican al comparar los gráficos de barras, y en la determinación del porcentaje de diferencia en cuánto a mayor capacidad de retención a contaminantes, determinando mayor absorción de NO<sub>2</sub> por los biomonitores, pero una mayor absorción de SO<sub>2</sub> por el método de captadores pasivos.



## CONCLUSIONES

Para determinar la calidad de aire en el terminal Chambo-Licto de la ciudad de Riobamba, se basó en criterios de calidad de aire, considerando que es una zona de elevado tránsito vehicular, resaltan los contaminantes  $\text{NO}_2$  y  $\text{SO}_2$  teniendo como fuente de emisión los motores de combustión interna, por tal motivo se establecieron los puntos de monitoreo en un radio que abarque las zonas de mayor influencia del terminal y se determinó la concentración de dióxido de nitrógeno y dióxido de azufre. Se establecieron 25 puntos de monitoreo en las zonas de mayor influencia del terminal Chambo-Licto de la ciudad de Riobamba y un periodo de 8 semanas para evaluar la calidad del aire. En cada punto de monitoreo se colocó un muestreador pasivo y un biomonitor a una altura de 2.5 metros del nivel del suelo. El análisis a éstos se realizó por espectrofotometría y cálculos matemáticos mediante los cuales se obtuvo las concentraciones de cada punto de monitoreo.

Tras someter a 5 especies de briofitas, entre musgos y hepáticas, a pruebas cuantitativas y cualitativas de tolerancia a los contaminantes dióxido de nitrógeno y dióxido de azufre se determinó como apta para este estudio la hepática *Metzgeriaceae* al presentar mayor resistencia, siendo la única que no llegó a marchitarse completamente y mediante pruebas de espectrofotometría presentó una mayor absorbancia lo cual indica un mayor número de moléculas de contaminantes presentes en ella, la absorbancia para  $\text{NO}_2$  resultó de 0.044, mientras que para  $\text{SO}_2$  de 0.067.

Al comparar las concentraciones obtenidas mediante los métodos de muestreadores pasivos y biomonitores se determinó la efectividad de las hepáticas de la familia *Metzgeriaceae* ante el monitoreo de  $\text{NO}_2$  debido a la gran capacidad de absorción de este contaminante en el aire, dando como resultado un porcentaje de absorción del 22% mayor que el método de captadores pasivos, por el contrario, esta especie no resulta factible ante la determinación de  $\text{SO}_2$  en el aire debido a que los resultados obtenidos guardan nula relación con los resultados obtenidos por captadores pasivos, se obtuvo un porcentaje de absorción de 86.6 % mayor de los captadores pasivos ante los biomonitores aplicados mediante el análisis correlacional realizado en el programa SPSS se corrobora esta teoría en el cual en ambos casos la correlación se encuentra entre 0.1 y 0.2 por lo cual se denota una relación débil de los datos de cada caso y una significancia mayor al 5% por lo cual la hipótesis es rechazada.

Durante las 8 semanas de monitoreo en el terminal Chambo-Licto de la ciudad de Riobamba, el nivel de contaminación promedio por hora correspondiente a  $\text{NO}_2$  por el método de captadores pasivos resultó de  $0.44 \mu\text{g}/\text{m}^3$  mientras por biomonitor una concentración promedio de  $0.573 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , la concentración promedio por día de  $\text{SO}_2$  por método de captadores pasivos dio un valor de  $9.854 \mu\text{g}/\text{m}^3$  mientras por biomonitores  $1.335 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , mismos que comparados con la Norma Ecuatoria de Calidad del Aire Ambiente se encuentran dentro de los límites establecidos, estos

mencionan que para  $\text{NO}_2$  se permite una concentración máxima de  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en una hora y para el  $\text{SO}_2$  una concentración máxima de  $125 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en un periodo de 24 horas. Al encontrarse dentro de los límites permitidos no causa, directamente, daños en la salud de los habitantes y transeúntes del lugar.

## **RECOMENDACIONES**

Realizar un estudio fisiológico de la hepática *Metzgeriaceae* por su potencial uso como biomonitor, mediante el cual se pueda determinar la efectividad y comportamiento ante la determinación de otros contaminantes del aire y resulte un método más viable.

Establecer otros métodos de determinación de contaminantes con el uso de esta hepática que puedan resultar ambiental y económicamente factible con lo cual se pueda plantear una metodología estándar.

Realizar el estudio utilizando especies endémicas de la provincia de Chimborazo, con las que se pueda tener un mejor rendimiento a nivel general aprovechando las condiciones para una mejor adaptabilidad.

## **BIBLIOGRAFÍA**

**AULAMAX.** (17 de junio 2019) Obtención de dióxido de azufre y de ácido sulfuroso [Archivo de video]. Recuperado de : [youtube.com/watch?v=2sqdUwW5eu0](https://www.youtube.com/watch?v=2sqdUwW5eu0)

**BAUSELA, ESPERANZA.** "SPSS: Un instrumento de análisis de datos cuantitativos". *Revista de Informática Educativa y Medios Audiovisuales* [En línea], 2005, Argentina, Vol. 2, n° 4, pp. 62-69. ISSN 1667-8338. Disponible en:

<http://laboratorios.fi.uba.ar/lie/Revista/Articulos/020204/A3mar2005.pdf>

**BAHUGUNA, YATEESH, y otros.** "Bryophytes and ecosystem." *Biodiversity of Lower Plants*, [ed.] Rajan Kumar Gupta & Mukesh Kumar. 2013, pp. 279-296.

**BERMEO, Jairon Y VEGA, Denis.** 2018. Evaluación de contaminantes atmosféricos en los principales mercados de la ciudad de Riobamba. (Trabajo de titulación) (pregrado), Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2018. [En línea] Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/8948>.

**CABAÑA, Andrea Y ELLENA, Myriam.** 2015. Briofitas. p. 12 [En línea] Disponible en: <http://exa.unne.edu.ar/carreras/docs/estudio%20BRIOFITOS.pdf>.

**CANCIANO, Janet, y otros.** "Muestreo pasivo de contaminantes atmosfericos. Uso en cuba." *La Habana* Vol. 18. (2017) (Cuba). pp. 113-121.

**CARRALES, BÁRBARA Y CHAIREZ, ISAÍAS.** "Metodologías para el muestreo de la calidad del aire" *Vid supra* Durango, México. 2019, Vol. 11. n° 1 pp 7-11. Disponible en: <https://www.ciirdurango.ipn.mx/assets/files/ciirdurango/docs/VIDSUPRA/REVISTAS/VIDSUPRA%20DIGITAL%20VOL%2011%20NUM%201%20JUN2019.pdf>

**CASTILLO-HERNÁNDEZ, P., MENDOZA-DOMÍNGUEZ, A. Y CABALLERO-MATA, P.** "Análisis de las propiedades fisicoquímicas de gasolina y diesel mexicanos reformulados con Etanol.", *Ingeniería, investigación y tecnología*, Vol. 13, n° 3 (2012), México pp. 293-306.

**CASTILLO, LUISA.** "Indicadores biológicos de la contaminación atmosférica." 1, Julio-Diciembre de 1982, *Revista de Ciencias Ambientales*, Vols. 3-4, pp. 75-88.

**CENTRO DE INFORMACIÓN TECNOLÓGICA.** *Información Tecnológica.* [ed.] Jose Valderrama. 2001. Vol. 12, p. 32.

**CIFUENTES, CRISTINA.** Validación del método para medir gases contaminantes (SO<sub>2</sub> NO<sub>2</sub> y O<sub>3</sub>) mediante captadores pasivos incluyendo un análisis microbiológico de la calidad del aire en una fábrica industrial. (Artículo Académico). Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. (2014). pp. 22-43. [En línea] <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/9037/T-ESPE-048129.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

**DÍAZ, Nieves, y otros.** Espectrofometría: Espectros de absorción y cuantificación colorimétrica de biomoléculas. Universidad de Córdoba. Departamento de Bioquímica y Biología Molecular. (2008), p.16. [En línea]. Disponible en: [https://www.uco.es/dptos/bioquimica-biol-mol/pdfs/08\\_ESPECTROFOTOMETRIA.pdf](https://www.uco.es/dptos/bioquimica-biol-mol/pdfs/08_ESPECTROFOTOMETRIA.pdf)

**GARCÍA, DELIA.** "Un sifón a partir de una reacción química." *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, Vol. 7, n° 1 (2010) pp. 142-150.

**GARCÍA, María, y otros.** Musgos cultivados, indicadores ambientales de contaminación atmosférica. *Revista Mexicana de Agroecosistemas* [En línea] (2016). Vol. 3, no. 3, pp. 189-196.[Consulta: 11 de febrero 2021] ISSN: 2007-9559. Disponible en: <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/68675/2016-Musgos%20cultivados.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

**GEOECUADOR.** *Estado del aire.* 2008. pp. 39.

**GONZÁLEZ, ANDREA.** 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. (Trabajo de titulación) (Pregrado), Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. (2018). pp. 32-40 [En línea] Disponible en: <http://dspace.espe.edu.ec/bitstream/123456789/10244/1/236T0381.pdf>.

**GOOGLE EARTH.** [En línea] 2021. [Citado el: 23 de marzo de 2021.]

**IBM SPSS Statistics 21.** 2021.

**INAMHI.** 2021. Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. 2021.

**INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA. 2015.** *Principio de medición de la calidad del aire*. México, 2015. Manual 1.

**LEAL, EDBERTHO. 2018.** "La Atmósfera: Un sistema del planeta Tierra". [En línea] 2018. Disponible en: <https://www.uv.mx/personal/tcarmona/files/2010/08/Leal-.pdf>.

**LUIZI-PONZO, Andréa y ORTRUD, Monika.** "Spore morphology of some Dicranaceae species (Bryophyta) from Brazil". *Grana*, 5 de noviembre de 2010, pp. 42-49. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/001731300750044690>

**MANAHAN, STANLEY. 2007.** *Introducción a la Química Ambiental*. México, D.F : Reverté, (2007). p. 353. [Consulta: 20 marzo 2021] Disponible en: <http://siar.minam.gov.pe/puno/sites/default/files/archivos/public/docs/introduccion-a-la-quimica-ambiental-s.-e.-manahan2.pdf>

**MINISTERIO DEL AMBIENTE.** *Plan Nacional de la Calidad del Aire*. 2012. pp. 1-2.

**MINISTERIO DEL AMBIENTE.** *Registro Oficial - Edición Especial N° 387*. 2015. pp. 55.

**MONTENEGRO, LUIS. 2011.** Caracterización de algunos aspectos fisiológicos y bioquímicos del musgo *Pleurozium schreberi* relacionados con su capacidad de tolerancia a la deshidratación. (Trabajo de titulación) (Pregrado), Universidad Nacional de Colombia. [En línea] 2011. pp.23-35. [Consulta: 27 de marzo de 2021.] Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/11057014.pdf>.

**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. pp. 33-40. [Consulta: 2020-12-04] Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/11164>

**NORIEGA, PACO. 2008.** Biomonitorio de contaminantes, mediante el uso de briofitas como muestreadores biológicos, para el aire de la ciudad de Quito. *Abya-Yala/UPS*. [En línea] diciembre de 2008, pp.4-11- [Consulta: 2020-11-24] 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>

**OPS/OMS. 2019.** "Cuáles son las 10 principales amenazas a la salud en 2019". *Oficina Regional para las Américas de la Organización Mundial de la Salud*. 2019 [En línea] [Consulta: 2020-12-04]. Disponible en: [https://www.paho.org/hq/index.php?option=com\\_content&view=article&id=14916:ten-threats-to-global-health-in-2019&Itemid=135&lang=es](https://www.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=14916:ten-threats-to-global-health-in-2019&Itemid=135&lang=es).

**OPS/OMS Ecuador. 2015.** 7 millones de muertes ocurren cada año debido a la contaminación atmosférica, según la OMS. [En línea] 2015. [Consulta: 2021-03-12] [https://www.paho.org/ecu/index.php?option=com\\_content&view=article&id=1172:7-millones-muertes-ocurren-cada-ano-debido-contaminacion-atmosferica-segun-oms&Itemid=360](https://www.paho.org/ecu/index.php?option=com_content&view=article&id=1172:7-millones-muertes-ocurren-cada-ano-debido-contaminacion-atmosferica-segun-oms&Itemid=360).

**ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. 2018.** Cómo la contaminación del aire está destruyendo nuestra salud. [En línea] 2018. [Consulta: 2021-03-12] Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/spotlight/how-air-pollution-is-destroying-our-health>.

**OROZCO-PICULA, ROSA. 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. . Corporación Universidad de la Costa. [En línea] [En línea] (Trabajo de titulación) (Pregrado) 10 de Noviembre de 2018. p. 53 [Consulta: 23 de Abril de 2021.] Disponible en: <http://hdl.handle.net/11323/64>.

**PARRA, Juan, POSADA, José Y CALLEJAS, Ricardo.** Guía Ilustrada de los Briofitos, del Parque ARVĪ. *Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia*. [En línea] 1999. pp.84-144. [Citado el: 27 de marzo de 2021.] [https://www.corantioquia.gov.co/ciadoc/FLORA/AIRNR\\_FLORA\\_500Reg\\_1999.pdf](https://www.corantioquia.gov.co/ciadoc/FLORA/AIRNR_FLORA_500Reg_1999.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. Marzo de 2013. p. 34 [Consulta: 2021-03-17] Disponible en: [https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/\\_Public/45/089/45089744.pdf](https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/45/089/45089744.pdf)

**QUEROL, XAVIER.** "La calidad del aire en las ciudades. Un reto mundial". Barcelona: Fundación Gas Natural fenosa, 2018. Disponible en: <http://www.fundacionnaturgy.org/wp-content/uploads/2018/06/calidad-del-aire-reto-mundial.pdf>

**SANTACATALINA, Milagros y CARRATALÁ, Adoración, 2012.** *Dinámica de contaminantes. El caso del SO<sub>2</sub> en el entorno de la Universidad de Alicante.* s.l. : Universidad de Alicante, (2012). ISBN 978-84-9717-206-6 p. 9.

**Técnicos DIEA. 2009.** Encuesta de Gasto e inversión en protección ambiental. *Glosario.* [En línea] INEC, 2009.



**TÚRQUERES, ROBERT. 2017.** Estudio y análisis de las emisiones de NO<sub>2</sub> generadas por el campo automotor en el sector del Terminal Terrestre de la ciudad de Riobamba. [En línea] (Trabajo de titulación) (Pregrado), Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. 2017. [Consulta: 2021-01-04] Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/7022>.

**VIÑAS, JOSÉ.** "Presión y temperatura." *Meteo.* [En línea], 2012, n°28 pp. 54-57. Disponible en: <https://www.divulgameteo.es/uploads/Presi%C3%B3n-temperatura.pdf>

**XIAOLI, Z., y otros.** Using Moss to Assess Airborne Heavy Metal. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, (2017). Vol. 14, no. 4, pp. 430. doi: [10.3390/ijerph14040430](https://doi.org/10.3390/ijerph14040430)



## ANEXOS

	<p style="text-align: center;"><b>ANEXOS: FOTOGRAFÍAS</b></p>	
<p><b>EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE AIRE MEDIANTE LA APLICACIÓN DE BIOMONITORES EN EL TERMINAL CHAMBO-LICTO DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA</b></p>		

### ANEXO A: PREPARACIÓN DE BIOMONITOR Y CAPTADORES PASIVOS

	
<p><b>Fotografía 1:</b> Recolección de las especies de briofitas</p>	<p><b>Fotografía 2:</b> Especies recolectadas sometidas a pruebas de tolerancia.</p>
	
<p><b>Fotografía 3:</b> Preparación de captadores pasivos</p>	<p><b>Fotografía 4:</b> Biomonitor</p>

## ANEXO B: MUESTREO



**Fotografía 5:** Colocación de biomonitores y captadores pasivos en puntos los de monitoreo.

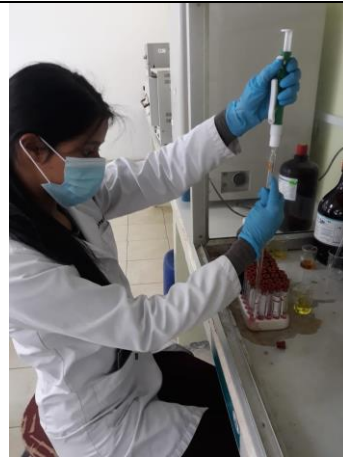


**Fotografía 6:** Secado de biomonitores luego del periodo de la exposición

## ANEXO C: ANÁLISIS DE RESULTADOS



**Fotografía 7:** Preparación para análisis de biomonitores.



**Fotografía 8:** Preparación de captadores pasivos para análisis contaminantes.



**Fotografía 9:** Solución resultante de muestras de biomonitores



**Fotografía 10:** Tubo 1: Prueba colorimétrica de captadores pasivos  
Tubo 2: Solución para análisis de biomonitores  
Tubo 3: Solución blanco.



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**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:** 04 / 11 / 2021

<b>INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)</b>
<b>Nombres – Apellidos:</b> <i>Rubi Alejandrina Armijos Santana</i>
<b>INFORMACIÓN INSTITUCIONAL</b>
<b>Facultad:</b> <i>Ciencias</i>
<b>Carrera:</b> <i>Ingeniería en Biotecnología Ambiental</i>
<b>Título a optar:</b> <i>Ingeniera en Biotecnología Ambiental</i>
<b>f. Analista de Biblioteca responsable:</b> <i>Ing. Leonardo Medina Ñuste MSc.</i>

**LEONARDO  
FABIO MEDINA  
NUSTE**

Firmado digitalmente  
por LEONARDO FABIO  
MEDINA NUSTE  
Fecha: 2021.11.04  
09:49:59 -05'00'



**1866-DBRA-UTP-2021**