



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**CARRERA INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL**

**BIOMONITOREO EMPLEANDO LÍQUENES Y BRIÓFITOS PARA  
LA EVALUACIÓN DE LA CALIDAD ATMOSFÉRICA DE LA  
CIUDAD DE CHUNCHI, PROVINCIA DE CHIMBORAZO**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL**

**AUTOR: CARLOS VLADIMIR OJEDA BUSTOS**

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

Riobamba – Ecuador

2023

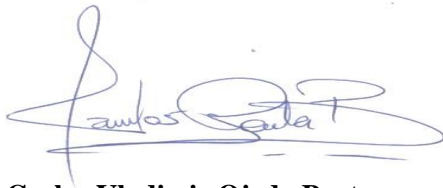
**©2023, Carlos Vladimir Ojeda Bustos**

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, Carlos Vladimir Ojeda Bustos soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en el presente documento; y el patrimonio intelectual del Trabajo de Integración Curricular pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular

Riobamba, 11 de julio de 2023

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Carlos Ojeda Bustos', with a large, stylized flourish underneath.

**Carlos Vladimir Ojeda Bustos**

**C.I. 220008019-6**

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

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto de Investigación, **BIOMONITOREO EMPLEANDO LÍQUENES Y BRIÓFITOS PARA LA EVALUACIÓN DE LA CALIDAD ATMOSFÉRICA DE LA CIUDAD DE CHUNCHI, PROVINCIA DE CHIMBORAZO**, realizado por el señor: **CARLOS VLADIMIR OJEDA BUSTOS**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, 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. Andrés Agustín Beltrán Dávalos <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>		2023-07-11
Ing. María Rafaela Viteri Uzcátegui MSc. <b>DIRECTORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>		2023-07-11
Dra. Nancy Cecilia Veloz Mayorga <b>ASESORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>		2023-07-11

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de titulación está dedicado a la bendición más grande que Dios me ha regalado, mi hijo C. Gabriel, por ser la fuente de motivación e inspiración para continuar día con día, a mi esposa Gabriela por apoyarme a concluir con mi proyecto de titulación, a mis padres Natividad Bustos y Pedro Ojeda por cada esfuerzo realizado para desarrollarme como profesional e inculcarme con cariño y disciplina los valores que un hogar brinda. Sobre todo, dedico este logro a mi persona, por seguir adelante a pesar de las adversidades, por no rendirme en el proceso de cumplir mis metas y no desistir hasta conquistar los objetivos planteados en la vida.

Carlos

## **AGRADECIMIENTO**

Con un gran sentido de agradecimiento a Dios por regalarme la vida y las situaciones presentadas día con día para formarme como persona y a la vez por las bendiciones que derrama sobre mí y mi familia, agradezco a mis padres por el apoyo incondicional prestado, la confianza depositada en mí y el esfuerzo que han realizado para que pueda llegar a obtener este título académico, a mis familiares por sus alentadoras demostraciones de afecto, al Ing. Byron Murillo F. por las oportunidades y consejos de vida brindados a lo largo de mi carrera.

A la Carrera de Ingeniería en Biotecnología Ambiental de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica De Chimborazo que a través de sus docentes y técnicos me formaron como profesional, en especial a las ingenieras Paola Chiluiza, Rafaela Pacurucu y Rafaela Viteri quienes sembraron el amor por la carrera con sus enseñanzas.

Carlos

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xii
ÍNDICE DE ANEXOS .....	xiii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT .....	xv
INTRODUCCIÓN .....	1

### CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO.....	3
1.1. Antecedentes .....	3
1.2. Atmósfera .....	4
1.3. Componentes Atmosféricos .....	4
1.4. Efecto invernadero .....	5
1.5. Capas de la Atmósfera .....	5
1.5.1. Exósfera .....	5
1.5.2. Ionósfera .....	5
1.5.3. Mesósfera .....	6
1.5.4. Estratósfera .....	6
1.5.5. Tropósfera .....	6
1.6. Importancia de la Atmósfera.....	6
1.7. Contaminante.....	7
1.8. Contaminación ambiental.....	7
1.9. Contaminación del aire .....	7
1.10. Fuentes de emisión de contaminantes del aire .....	7
1.11. Tipos de contaminantes.....	7
1.12. NO <sub>x</sub> (Óxidos de nitrógeno) .....	8
1.12.1. Dióxido de nitrógeno (NO <sub>2</sub> ) .....	8
1.13. SO <sub>x</sub> (Óxidos de azufre) .....	9

1.13.1.	<i>Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>)</i> .....	9
1.14.	<b>Normativa de la calidad ambiental del aire para NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub></b> .....	9
1.15.	<b>Índices de calidad del aire (ICA)</b> .....	10
1.16.	<b>Monitoreo y Muestreo</b> .....	10
1.16.1.	<i>Monitoreo del aire</i> .....	11
1.17.	<b>Biomonitor y Biomonitorio</b> .....	11
1.18.	<b>Epífitos</b> .....	12
1.19.	<b>Briófitas</b> .....	12
1.19.1.	<i>Briófitas como bioindicadores</i> .....	13
1.19.2.	<i>Fabronia ciliaris</i> .....	13
1.20.	<b>Líquenes</b> .....	14
1.20.1.	<i>Líquenes como bioindicadores</i> .....	14
1.20.2.	<i>Heterodermia leucomelos</i> .....	15

## CAPÍTULO II

2.	<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	16
2.1.	<b>Tipo de investigación</b> .....	16
2.2.	<b>Diseño de la investigación</b> .....	16
2.3.	<b>Localización del Estudio</b> .....	16
2.3.1.	<i>Población de estudio</i> .....	16
2.3.2.	<i>Tamaño de la muestra</i> .....	17
2.3.3.	<i>Método de muestreo</i> .....	17
2.3.4.	<i>Puntos de monitoreo</i> .....	18
2.4.	<b>Técnicas de recolección de datos</b> .....	19
2.5.	<b>Selección de agentes biológicos</b> .....	19
2.5.1.	<i>Metodología para la selección de agentes biológicos</i> .....	19
2.5.2.	<i>Recolección de especies biológicas</i> .....	20
2.5.2.1.	<i>Selección del lugar de recolección de briofitas</i> .....	20
2.5.2.2.	<i>Recolección de especies biomonitores</i> .....	20
2.5.2.3.	<i>Identificación de especies de biomonitores</i> .....	21



2.5.2.4.	<i>Tipo de especies recolectadas</i> .....	22
2.5.3.	<b><i>Determinación de tolerancia a contaminantes</i></b> .....	22
2.5.3.1.	<i>Identificación de especies aptas para que actúen como monitores biológicos</i> .....	22
2.5.3.2.	<i>Metodología de inyección directa de SO<sub>2</sub> a los biomonitores</i> .....	23
2.5.3.3.	<i>Metodología de inyección directa de NO<sub>2</sub> a los biomonitores</i> .....	24
2.5.3.4.	<i>Análisis de contaminantes mediante espectrofotometría UV-Visible</i> .....	24
2.5.3.5.	<i>Metodología para analizar muestras de monitores biológicos</i> .....	25
2.5.4.	<b><i>Preparación de biomonitores para absorción de NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub></i></b> .....	25
2.5.5.	<b><i>Exposición y recolección de biomonitores</i></b> .....	26
2.5.6.	<b><i>Análisis de concentración de contaminantes por espectrofotometría UV-Visible de biomonitores colocados en el área de estudio</i></b> .....	26
2.5.6.1.	<i>Metodología para analizar biomonitores del área de estudio</i> .....	26
2.5.7.	<b><i>Análisis de dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) en biomonitores</i></b> .....	26
2.5.7.1.	<i>Método para obtención de concentración de dióxido de nitrógeno en biomonitores</i> .	26
2.5.7.2.	<i>Elaboración de la curva de calibración para NO<sub>2</sub></i> .....	27
2.5.7.3.	<i>Metodología para preparación de la solución patrón para NO<sub>2</sub></i> .....	27
2.5.7.4.	<i>Metodología para preparación de la solución stock</i> .....	27
2.5.7.5.	<i>Curva de Calibración para NO<sub>2</sub></i> .....	27
2.5.7.6.	<i>Cálculo de la concentración del dióxido de nitrógeno en los monitores</i> .....	28
2.5.7.7.	<i>Calcular la masa de nitritos en los monitores</i> .....	29
2.5.7.8.	<i>Determinar la concentración de NO<sub>2</sub> en el Ambiente</i> .....	29
2.5.8.	<b><i>Análisis de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) en biomonitores</i></b> .....	30
2.5.8.1.	<i>Método de obtención de la concentración de SO<sub>2</sub> (µg/m<sup>3</sup>) en los biomonitores</i> .....	30
2.5.8.2.	<i>Elaboración de la curva de calibración para SO<sub>2</sub></i> .....	30
2.5.8.3.	<i>Metodología para preparación de la solución patrón para SO<sub>2</sub></i> .....	30
2.5.8.4.	<i>Curva de Calibración para SO<sub>2</sub></i> .....	30
2.5.8.5.	<i>Cálculo de la concentración del dióxido de azufre en los monitores</i> .....	31
2.5.8.6.	<i>Calcular la masa de sulfato en los monitores</i> .....	32
2.5.8.7.	<i>Determinar la concentración de SO<sub>2</sub> en el Ambiente</i> .....	32

2.5.8.8.	<i>Corrección de la concentración ambiental de acuerdo con las condiciones de la localidad</i> .....	33
2.6	<b>Datos para corrección de concentraciones ambientales</b> .....	33
2.7.	<b>Aplicación de software</b> .....	34
2.7.1.	<i>Análisis estadístico empleando el software SPSS</i> .....	34
2.7.2.	<i>Mapa de concentración utilizando ArcMap</i> .....	34

### CAPÍTULO III

3.	<b>MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS</b> .....	36
3.1.	<b>Identificación de especies</b> .....	36
3.2.	<b>Tipos de epífitos recolectados</b> .....	36
3.3.	<b>Selección de especies para absorción de contaminantes atmosféricos</b> .....	38
3.4.	<b>Concentraciones ambientales obtenidas con <i>F. ciliaris</i></b> .....	39
3.4.1.	<i>Variación de la concentración ambiental corregida de NO<sub>2</sub> del mes de noviembre con <i>F. ciliaris</i></i> .....	39
3.4.2.	<i>Variación de la concentración ambiental corregida de NO<sub>2</sub> del mes de diciembre con <i>F. ciliaris</i></i> .....	40
3.4.3.	<i>Concentración promedio ambiental de NO<sub>2</sub> con <i>F. ciliaris</i></i> .....	41
3.4.4.	<i>Variación de la concentración ambiental promedio corregida de NO<sub>2</sub> con <i>F. ciliaris</i></i> .....	42
3.4.5.	<i>Variación de la concentración ambiental corregida de SO<sub>2</sub> del mes de noviembre con <i>F. ciliaris</i></i> .....	43
3.4.6.	<i>Variación de la concentración ambiental corregida de SO<sub>2</sub> del mes de diciembre con <i>F. ciliaris</i></i> .....	44
3.4.7.	<i>Concentración promedio ambiental de SO<sub>2</sub> con <i>F. ciliaris</i></i> .....	45
3.4.8.	<i>Variación de la concentración ambiental promedio corregida de SO<sub>2</sub> con <i>F. ciliaris</i>.</i> .....	46
3.5.	<b>Concentraciones ambientales obtenidas con <i>H. leucomelos</i></b> .....	47
3.5.1.	<i>Variación de la concentración ambiental corregida de NO<sub>2</sub> del mes de noviembre con <i>H. leucomelos</i></i> .....	47

3.5.2.	<i>Variación de la concentración ambiental corregida de NO<sub>2</sub> del mes de diciembre con H. leucomelos</i> .....	48
3.5.3.	<i>Concentración promedio ambiental de NO<sub>2</sub> con H. leucomelos</i> .....	49
3.5.4.	<i>Variación de la concentración ambiental promedio corregida de NO<sub>2</sub> con H. leucomelos</i> .....	50
3.5.5.	<i>Variación de la concentración ambiental corregida de SO<sub>2</sub> del mes de noviembre con H. leucomelos</i> .....	51
3.5.6.	<i>Variación de la concentración ambiental corregida de SO<sub>2</sub> del mes de diciembre con H. leucomelos</i> .....	52
3.5.7.	<i>Concentración promedio ambiental de SO<sub>2</sub> con H. leucomelos</i> .....	53
3.5.8.	<i>Variación de la concentración ambiental promedio corregida de SO<sub>2</sub> con H. leucomelos</i> .....	54
3.6.	<b>Dispersión de contaminantes NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> utilizando el software ArcGis</b> .....	55
3.6.1.	<i>Concentración final promedio de NO<sub>2</sub> con F. ciliaris</i> .....	55
3.6.2.	<i>Concentración final promedio de SO<sub>2</sub> con F. ciliaris</i> .....	56
3.6.3.	<i>Concentración final promedio de NO<sub>2</sub> con H. leucomelos</i> .....	57
3.6.4.	<i>Concentración final promedio de SO<sub>2</sub> con H. leucomelos</i> .....	58
3.7.	<b>Análisis estadístico</b> .....	59
3.8.	<b>Comparación con normativa de la calidad del aire</b> .....	62
3.9.	<b>Efectividad de los métodos aplicados</b> .....	63
3.10.	<b>Diferencia de los métodos aplicados</b> .....	65
3.10.1.	<i>Métodos aplicados para NO<sub>2</sub></i> .....	65
3.10.2.	<i>Métodos aplicados para SO<sub>2</sub></i> .....	66
	<b>CONCLUSIONES</b> .....	69
	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	71
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
	<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-1:</b>	Componentes de la atmósfera terrestre.....	4
<b>Tabla 1-2:</b>	Niveles del índice de calidad del aire. ....	10
<b>Tabla 2-1:</b>	Coordenadas de los puntos de monitoreo .....	18
<b>Tabla 2-2:</b>	Materiales y reactivos para realizar pruebas de tolerancia a SO <sub>2</sub> .....	22
<b>Tabla 2-3:</b>	Cantidades para generar Dióxido de Azufre .....	23
<b>Tabla 2-4:</b>	Materiales y reactivos para realizar pruebas de tolerancia a NO <sub>2</sub> .....	23
<b>Tabla 2-5:</b>	Cantidades de cobre y ácido nítrico para la generación de Dióxido de Nitrógeno	24
<b>Tabla 2-6:</b>	Materiales de laboratorio para analizar especies biológicas .....	25
<b>Tabla 2-7:</b>	Materiales y reactivos para preparar solución patrón para NO <sub>2</sub> .....	27
<b>Tabla 2-8:</b>	Datos para realizar la curva de calibración de NO <sub>2</sub> en biomonitores .....	28
<b>Tabla 2-9:</b>	Datos para realizar la curva de calibración de SO <sub>2</sub> en biomonitores .....	31
<b>Tabla 2-10:</b>	Datos meteorológicos para corregir las concentraciones de contaminación.....	34
<b>Tabla 3-1:</b>	Especies recolectadas en el bosque nativo Bacún - Chunchi - Chimborazo.....	36
<b>Tabla 3-2:</b>	Especies recolectadas en el bosque nativo Bacún - Chunchi - Chimborazo.....	39
<b>Tabla 3-3:</b>	Concentración de dióxido de nitrógeno analizadas con <i>F. ciliaris</i> .....	41
<b>Tabla 3-4:</b>	Concentraciones de dióxido de azufre analizadas con <i>F. ciliaris</i> .....	45
<b>Tabla 3-5:</b>	Concentraciones de dióxido de nitrógeno analizadas con <i>H. leucomelos</i> .....	49
<b>Tabla 3-6:</b>	Concentraciones de dióxido de azufre analizadas con <i>H. leucomelos</i> .....	53
<b>Tabla 3-7:</b>	Datos estadísticos descriptivos .....	59
<b>Tabla 3-8:</b>	Matriz de correlaciones.....	61
<b>Tabla 3-9:</b>	Concentraciones de NO <sub>2</sub> y SO <sub>2</sub> transformadas para comparación con los límites permisibles.....	62
<b>Tabla 3-10:</b>	Concentraciones de NO <sub>2</sub> y SO <sub>2</sub> para comprobar la efectividad de métodos aplicados para cada especie .....	63
<b>Tabla 3-11:</b>	Diferencias de absorción de NO <sub>2</sub> relacionando ambos biomonitores.....	65
<b>Tabla 3-12:</b>	Diferencias de absorción de SO <sub>2</sub> relacionando ambos biomonitores .....	66

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 1-1:</b> Principales fuentes de emisión de NO <sub>x</sub> .....	8
<b>Ilustración 1-2:</b> Especie de <i>Fabronia ciliaris</i> .....	14
<b>Ilustración 1-3:</b> Especie <i>Heterodermia leucomelos</i> .....	15
<b>Ilustración 2-1:</b> Distribución por sectores de la ciudad de Chunchi .....	17
<b>Ilustración 2-2:</b> Ubicación de los puntos de monitoreo .....	18
<b>Ilustración 2-3:</b> Ubicación de la zona de recolección de biomonitores. ....	21
<b>Ilustración 2-4:</b> Curva de calibración para NO <sub>2</sub> .....	28
<b>Ilustración 2-5:</b> Curva de calibración para SO <sub>2</sub> .....	31
<b>Ilustración 2-6:</b> Estación meteorológica CHANCHAN-DJ-HUATAXI-H0375–Chimborazo	33
<b>Ilustración 3-1:</b> Concentración ambiental corregida de NO <sub>2</sub> de noviembre con <i>F. ciliaris</i> ....	39
<b>Ilustración 3-2:</b> Concentración ambiental corregida de NO <sub>2</sub> de diciembre con <i>F. ciliaris</i> .....	40
<b>Ilustración 3-3:</b> Concentración ambiental promedio corregida de NO <sub>2</sub> con <i>F. ciliaris</i> .....	42
<b>Ilustración 3-4:</b> Concentración ambiental corregida de SO <sub>2</sub> de noviembre con <i>F. ciliaris</i> ....	43
<b>Ilustración 3-5:</b> Concentración ambiental corregida de SO <sub>2</sub> de diciembre con <i>F. ciliaris</i> .....	44
<b>Ilustración 3-6:</b> Concentración ambiental promedio corregida de SO <sub>2</sub> con <i>F. ciliaris</i> .....	46
<b>Ilustración 3-7:</b> Concentración ambiental corregida de NO <sub>2</sub> de noviembre con <i>H. leucomelos</i> .....	47
<b>Ilustración 3-8:</b> Concentración ambiental corregida de NO <sub>2</sub> de diciembre con <i>H. leucomelos</i>	48
<b>Ilustración 3-9:</b> Concentración ambiental promedio corregida de NO <sub>2</sub> con <i>H. leucomelos</i> ....	50
<b>Ilustración 3-10:</b> Concentración ambiental corregida de SO <sub>2</sub> de noviembre con <i>H. leucomelos</i> .....	51
<b>Ilustración 3-11:</b> Concentración ambiental corregida de SO <sub>2</sub> de diciembre con <i>H. leucomelos</i>	52
<b>Ilustración 3-12:</b> Concentración ambiental promedio corregida de SO <sub>2</sub> con <i>H. leucomelos</i> .....	54
<b>Ilustración 3-13:</b> Concentraciones de NO <sub>2</sub> promedio analizadas con <i>F. ciliaris</i> .....	55
<b>Ilustración 3-14:</b> Concentraciones de SO <sub>2</sub> promedio analizadas con <i>F. ciliaris</i> .....	56
<b>Ilustración 3-15:</b> Concentraciones de NO <sub>2</sub> promedio analizadas con <i>H. leucomelos</i> .....	57
<b>Ilustración 3-16:</b> Concentraciones de SO <sub>2</sub> promedio analizadas con <i>H. leucomelos</i> .....	58
<b>Ilustración 3-17:</b> Concentración promedio NO <sub>2</sub> para <i>H. leucomelos</i> y <i>F. ciliaris</i> .....	66
<b>Ilustración 3-18:</b> Concentración promedio SO <sub>2</sub> para <i>H. leucomelos</i> y <i>F. ciliaris</i> .....	68

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

**ANEXO A:** RECOLECCIÓN DE EPÍFITOS

**ANEXO B:** INSTALACIÓN Y RECOLECCIÓN DE BIOMONITORES

**ANEXO C:** ANÁLISIS EN LABORATORIO

## RESUMEN

La ciudad no cuenta con un registro de emisiones atmosféricas de dióxido de nitrógeno y dióxido de azufre, los cuales son producidos principalmente por el tráfico vehicular. El objetivo del presente trabajo de titulación fue analizar la calidad atmosférica del sector urbano de la ciudad de Chunchi a través de la aplicación de monitores biológicos y se procedió a determinar los epífitos adecuados para emplearlos como biomonitores, en este estudio se trabajó con líquenes y briófitos. A través de pruebas de tolerancia se sometió a 3 especies de líquenes y a 4 especies de briófitos en ambientes contaminados, luego se obtuvo la absorbancia de cada especie mediante espectrofotometría UV-Visible, la especie de liquen *Heterodermia leucomelos* y la especie de briófita *Fabronia ciliaris* fueron los más aptos para ser utilizados como monitores biológicos. Se instalaron 30 puntos de monitoreo abarcando toda la zona de estudio, ambas especies fueron expuestas durante un mes, por dos ocasiones. Las concentraciones de NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> expresadas en µg/m<sup>3</sup> captadas en estos periodos por los epífitos se determinaron por espectrometría. Los resultados que arrojó el estudio manifiestan que los niveles de concentraciones de contaminantes atmosféricos se encuentran dentro de los límites permisibles establecidos por la Normativa Ambiental Ecuatoriana y la Organización Mundial de la Salud. La especie *F. ciliaris* absorbió un 35% más dióxido de nitrógeno y un 3% más de dióxido de azufre que *H. leucomelos*, por lo tanto, se concluye que *F. ciliaris* tiene la capacidad de acumular mayor concentración de contaminantes que *H. leucomelos* y que los niveles más altos de concentración de contaminantes se encuentran donde existe mayor circulación vehicular, para este caso de estudio es la carretera Panamericana Troncal Sierra y la calle Bermeo Vallejo.

**Palabras clave:** <CALIDAD DEL AIRE>, <BIOINDICADOR>, <EPÍFITOS>, <LIQUEN>, <BRIÓFITA>, <DIÓXIDO DE NITRÓGENO (NO<sub>2</sub>)>, <DIÓXIDO DE AZUFRE (SO<sub>2</sub>)>, <CHUNCHI (CANTÓN)>.

1613-DBRA-UPT-2023



## ABSTRACT

The city does not have a record of nitrogen dioxide and sulfur dioxide atmospheric emissions, which are produced mainly by vehicular traffic. The aim of the current graduation work was to analyze the atmospheric quality in the urban area of Chunchi city through the application of biological monitors to determine the appropriate epiphytes to be used as biomonitors. For this research, it was necessary to work with lichens and bryophytes. Through tolerance tests, 3 species of lichens and 4 species of bryophytes were exposed to contaminated environments, then the absorbance parameter of each species was obtained by UV-Visible spectrophotometry, the lichen species *Heterodermia leucomelos* and the bryophyte species *Fabronia ciliaris* were the most suitable species to be used as biological monitors. Thirty monitoring points were installed throughout the study area, both species were exposed twice, during a month. The concentrations of NO<sub>2</sub> and SO<sub>2</sub> expressed in µg/m<sup>3</sup> and captured during these periods by the epiphytes were determined by spectrometry. The results of the study reveal that the levels of atmospheric pollutant concentrations are within the permissible limits established by the Ecuadorian environmental regulations and the World Health Organization. The species *F. ciliaris* absorbed 35% more nitrogen dioxide and 3% more sulfur dioxide than *H. leucomelos*; thus, it is concluded that *F. ciliaris* can accumulate higher concentrations of pollutants than *H. leucomelos* and the highest levels of pollutant concentration are found in areas with heavy vehicular traffic like Panamerican Highway, Troncal Sierra and Bermeo Vallejo Street.

**Keywords:** <AIR QUALITY>, <BIOINDICATOR>, <EPIPHYTES>, <LICHEN>, <BRYOPHYTE>, <NITROGEN DIOXIDE (NO<sub>2</sub>)>, <SULFUR DIOXIDE (SO<sub>2</sub>)>, <CHUNCHI (COUNTY)>.



Mag. Paul Rolando Armas Pesantes.

0603289877



## **INTRODUCCIÓN**

### **Identificación del problema**

Actualmente la alteración del ambiente por consecuencia de las actividades humanas es una de las principales preocupaciones de la sociedad, particularmente los efectos que la contaminación tiene sobre uno de los derechos indiscutibles del ser humano que es la salud. Constituye hoy en día uno de los mayores retos de la sociedad el continuar con el desarrollo y tratar de detener o revertir la alteración al ambiente que nos rodea (Gutiérrez, 1997, p.452).

En la actualidad la contaminación atmosférica es uno de los principales problemas ambientales en todo el mundo. Es palpable en todas las sociedades, indistintamente de su estado de desarrollo socioeconómico, y constituye un fenómeno que tiene particular efecto sobre la salud humana (Romero, 2006, p.1).

Según la Constitución de la República del Ecuador vigente en el artículo 14 del capítulo II, los ciudadanos tienen el derecho a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, declarándose además de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la preservación del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados (Constitución del Ecuador, 2008; p.13).

### **Justificación**

La municipalidad del cantón Chunchi no cuenta con registros de emisiones atmosféricas provenientes de fuentes móviles o fijas (GADM Chunchi, 2010, p.1-355). Cuando la información es clasificada adecuadamente en un sistema de registro de emisiones, las autoridades de un gobierno tendrán la capacidad de poder seguir la trayectoria de cada emisión y transferencia de contaminantes a lo largo del tiempo, de este modo pueden establecer las prioridades para reducir o hasta eliminar las emisiones de los contaminantes potencialmente más dañinos (Segovia, 2007, p.74-82).

Los líquenes con sus características se comportan como instrumentos válidos para evaluar la calidad del aire que como bien se sabe es afectada por emisiones provenientes de fuentes móviles o fijas. Los líquenes pueden ser empleados como biomonitores para la investigación y el control de la contaminación del aire (Gómez, 2013, p.46).

El biomonitoreo es una técnica que se basa en el principio de que una sustancia es tóxica o perjudicial para los organismos vivos, de manera que mediante estos organismos logramos determinar la concentración de uno o varios contaminantes en el organismo y del ambiente en el que se desarrollan. Los bioacumuladores y biomarcadores los usados son los musgos (Medici, 2008, p.18).

## **OBJETIVOS**

### **General**

Analizar la calidad atmosférica del sector urbano de la ciudad de Chunchi a través de la aplicación de monitores biológicos.

### **Específicos**

- Identificar las especies biológicas permitan determinar con mayor fiabilidad la calidad del aire en la cabecera cantonal Chunchi.
- Evaluar la efectividad de las especies de líquenes y briófitos para calcular la concentración de contaminantes atmosféricos en la zona de estudio.
- Determinar la calidad del aire de la ciudad de Chunchi mediante los resultados obtenidos en el monitoreo con agentes biológicos.

## CAPÍTULO I

### 1. MARCO TEÓRICO

#### 1.1. Antecedentes

La contaminación ambiental representa actualmente uno de los problemas más relevantes en el mundo. La presencia de agentes físicos, químicos, biológicos o la combinación de varios de estos en concentraciones que sean nocivas para los seres vivos se denomina contaminación ambiental. El problema ambiental de la contaminación del aire, el agua y el suelo es el resultado de la perturbación entre las interacciones de la sociedad con el medio ambiente que lo rodea (Anzules, 2022, p.95).

La dinámica de la atmósfera terrestre siempre ha estado susceptible a presentar cambios, no posee la misma composición, temperatura y capacidad de renovación desde que el planeta se formó. De la misma forma que los fenómenos naturales las actividades humanas producen emisiones de contaminantes a la atmósfera que cambian la calidad del aire no obstante las actividades del hombre le han dado una aceleración considerable a los cambios que esta presentaba (Boldo, 2016, p.10).

La preocupación por la contaminación atmosférica tomó mayor auge a partir del siglo XVIII producto de la industrialización y urbanización crecientes, desperdicios sólidos, líquidos y la tendencia mundial hacia consumir combustibles fósiles por el incremento de la industria y el transporte (Mayorga, 2020, p.11). Sostenido en 2018 por Xavier Querol, manifestando que el foco principal de contaminación dentro de las ciudades le corresponde al transporte, el deficiente consumo de energía en los hogares y la generación de electricidad a través de combustibles que contaminan el medio ambiente (Querol, 2018, p.29-91).

La contaminación del aire en Ecuador representa para las zonas urbanas, así como las zonas rurales uno de los principales problemas medioambientales. Está presente en las principales ciudades del Ecuador. Tomando en cuenta a la Amazonía, la contaminación se debe al área manufacturera del sector petróleo según el informe anual del Banco Central del Ecuador (Moreira, 2018, p.299-306).

El incremento progresivo de la población urbana y su necesidad de movilizarse tienen como consecuencia el aumento de unidades de transporte, esto produce que las emisiones por fuentes móviles sean tomadas en cuenta dentro de la problemática ambiental, a pesar de que los gobiernos

implementes políticas para mitigar este problema no son suficientes dado que el parque automotor sigue incrementando rápidamente, y sigue siendo una de las principales fuentes de contaminación del aire (Sagñay, 2020, p.5).

## 1.2. Atmósfera

La atmósfera es un conjunto de gases que forman una capa alrededor de un planeta o astro celeste y se mantienen en su órbita por acción de la fuerza gravitacional (Barasoain, 1948, p.131).

La atmósfera terrestre alcanza aproximadamente desde la superficie terrestre unos 10 000 km de distancia está formada casi en su totalidad por gases y presenta en su estructura discontinuidades, en su formación tiene varias capas de gases que protegen y preservan la vida en el planeta (Etecé, 2021, p.1).

## 1.3. Componentes Atmosféricos

Entre los componentes de la atmósfera terrestre están: principalmente Nitrógeno (N<sub>2</sub>) y Oxígeno (O<sub>2</sub>) con 78,08 % y 20,95 % correspondientemente, el oxígeno es producido por algas y plantas (Camilloni, 2017, p.3). En una menor proporción tenemos a los gases nobles como: argón, helio, entre otros (Enkerlin, 1997, p.385-396), debemos también considerar a los gases de efecto invernadero: óxidos de nitrógeno, metano, vapor de agua y dióxido de carbono que se encuentran en pequeñas cantidades indicado en la tabla 1-1 (Camilloni, 2017, p.3).

**Tabla 1-1:** Componentes de la atmósfera terrestre

<b>GASES DE LA ATMÓSFERA</b>		
Gases	Fórmula química	% (por volumen)
<b>Gases permanentes</b>		
Nitrógeno	N <sub>2</sub>	78,08
Oxígeno	O <sub>2</sub>	20,95
Argón	Ar	0,93
Neón	Ne	0,0018
Helio	He	0,0005
Hidrógeno	H <sub>2</sub>	0,00006
Xenón	Xe	0,000009
<b>Gases variables</b>		
Vapor de agua	H <sub>2</sub> O	0 a 4
Dióxido de carbono	CO <sub>2</sub>	0,036

Metano	CH <sub>4</sub>	0,00017
Óxido nitroso	N <sub>2</sub> O	0,00003
Ozono	O <sub>3</sub>	0,000004
Partículas (polvo, etc.)		0,000001
Clorofluorocarbonos (CFC)		0,00000002

Fuente: Ciencias Naturales. La atmósfera, 2017

Elaborado por: Ojeda C., 2023.

#### 1.4. Efecto invernadero

Un problema con características únicas que engloba todo el planeta es el Cambio Climático, los impactos que este produce se verán en un periodo largo, involucra complejos procesos entre la naturaleza como fenómenos ecológicos y climáticos con los sociales, económicos y políticos. El nombre de efecto invernadero proveniente de la similitud con las estructuras elaboradas para el cultivo de plantas que tiene como fin crear un ambiente que sea más cálido que el exterior, donde se requiere que ingrese la radiación solar pero que no tenga retorno hacia el exterior del invernadero (Garduño, 2004, p.31-33).

#### 1.5. Capas de la Atmósfera

La atmósfera es una cubierta gaseosa de alrededor de unos 10.000 km de espesor que rodea el planeta que está conformada por la litosfera e hidrosfera. Conformada por gases y partículas sólidas y líquidas en suspensión atraídas por la gravedad de la tierra. Está cubierta a su vez presenta diferentes capas con características propias de cada piso altitudinal (Mato, 2019, p.89).

##### 1.5.1. Exósfera

Es la última capa de la atmósfera terrestre, localizada a partir de los 530 km de altitud sobre el nivel del mar, en esta zona de la atmósfera que tiene contacto con el espacio exterior, donde los gases pierden sus propiedades fisicoquímicas y adoptan la composición similar a la del espacio mediante el proceso de dispersión de sus componentes, los gases atmosféricos como el O<sub>2</sub> y el NO<sub>2</sub> están ausentes y la existencia de material particulado es mínima (Martín, 2011, p.121).

##### 1.5.2. Ionósfera

Es una capa que se distingue porque es ionizada, desempeñando un papel importante en cuanto a la electricidad atmosférica. En esta capa en esta capa la radiación ultravioleta, los rayos gamma

y los rayos x provenientes del sol generan una ionización tanto de átomos como de moléculas (Palacios, 2006, p.1395-1398).

### ***1.5.3. Mesósfera***

La producción de reacciones químicas y las transformaciones energéticas tienen lugar en esta capa de la atmósfera, la concentración de ozono y otros gases es baja, la temperatura decrece a medida que llegamos a una mayor altura. La generación de las estrellas fugaces son producto de la acción de quemar meteoritos que entren en contacto con esta capa (Urzay, 2002).

### ***1.5.4. Estratósfera***

Es la capa que protege al planeta evitando que los rayos ultravioletas ingresen de manera libre, también es conocida como ozonósfera, contiene niveles muy bajos de vapor de agua y alrededor del 90% del ozono en la atmósfera se encuentra en esta capa, de ahí la denominación de ozono estratosférico (Gimeno, 2011, p.25-33).

### ***1.5.5. Tropósfera***

Es aquella capa que tiene contacto con la geósfera e hidrósfera, es la capa más densa de la atmósfera, dentro de esta ocurren los fenómenos atmosféricos. Alcanza aproximadamente de 10 a 15 km desde el nivel del mar (Antuña, 2005, p.65-72).

## **1.6. Importancia de la Atmósfera**

La vida en la Tierra sería imposible sin la presencia de la atmósfera, ya que juega un papel muy importante dentro de las funciones esenciales para la vida dentro del planeta (Mancilla, 2015, p.1-4).

Dentro de las funciones principales de la atmósfera se encuentran la de: alojar la capa de ozono que filtra la dañina radiación ultravioleta que emite el sol; almacenar varios elementos químicos vitales para los seres vivos, como, el carbono y el nitrógeno; regula el clima por el movimiento de masas de aire frío y caliente, a su vez transporta el vapor de agua que posteriormente será devuelta a la tierra como precipitación (Gobierno de México, 2017).

### **1.7. Contaminante**

Es aquella sustancia que está presente en un medio en el cual no se lo requiere o a su vez su concentración genera impactos negativos en la salud o para el ambiente (Greenfacts, 2022).

### **1.8. Contaminación ambiental**

Se la denomina a la presencia de elementos nocivos de cualquier naturaleza como físicos, químicos o biológicos en el medio ambiente y que sean perjudiciales para el desarrollo de las especies que habitan en un determinado hábitat (Valdés, 2019, p.138).

La contaminación ambiental puede ser generada por la naturaleza y en su mayoría por causas derivadas de la actividad humana como la explotación desmedida de los recursos naturales o la industria. Es un proceso cíclico que involucra todos los ambientes como el agua aire y suelo (Domínguez, 2015, p.9-21).

### **1.9. Contaminación del aire**

La contaminación del aire es producida por la emisión de contaminantes tanto primarios como secundarios (Romero, 2006, p.3). Los primarios son liberados por fuentes naturales o antropogénicas y los contaminantes secundarios son producto de las interacciones de otros contaminantes ya presentes en la atmósfera llamados precursores (Boldo, 2016, p.10).

### **1.10. Fuentes de emisión de contaminantes del aire**

Existen varios tipos de fuentes de emisiones de contaminantes atmosféricos: están las fuentes puntuales o también denominadas estacionarias, dentro de este grupo encontramos a la industrias energética, química, petrolera y a las fábricas; las fuentes móviles que engloban a todo tipo de vehículo de transporte automotriz; fuentes de área aquellas denominadas actividades en conjunto que perjudiquen la calidad del aire, ya sean trabajos en madera, imprenta, agrícola, etc.; al resultado de fenómenos provocados por la naturaleza como volcanes, erosión del suelo y mares se les denomina Fuentes naturales o biogénicas (Gobierno de México, 2018).

### **1.11. Tipos de contaminantes**

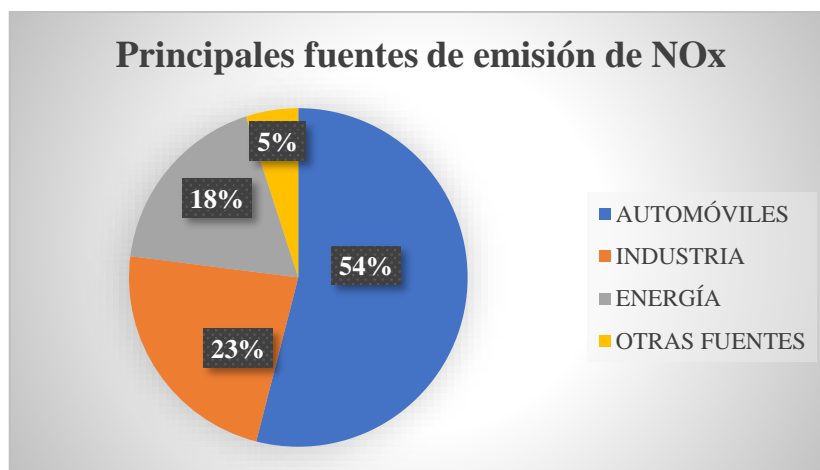
Existen dos tipos de contaminantes, los primarios: son aquellos provenientes directamente de una fuente de emisión (Pb, CO, SOx, NOx, PM e hidrocarburos) y los secundarios: estos se originan

en el aire cuando contaminantes primarios interactúan entre ellos o con algún otro elemento o contaminante (como en los casos del ozono, del peroxiacetil-nitrato, de los sulfatos, de nitratos, así como del ácido sulfúrico) (Gobierno de México, 2018).

### 1.12. NO<sub>x</sub> (Óxidos de nitrógeno)

Los óxidos de nitrógeno son compuestos formados por 2 elementos combinados (nitrógeno y oxígeno). Los gases generados por combustión a elevadas temperaturas son el monóxido de nitrógeno (NO), el dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) y raramente el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), esto se debe a que en el proceso interviene el N<sub>2</sub> presente en el aire, estos gases en elevadas concentraciones en el ambiente producen efectos perjudiciales para la salud, a su vez son precursores de ozono troposférico (Rodríguez, 2018, p.94).

En el estudio realizado en la ciudad de Quito monitoreo de contaminantes del aire explica que la principal fuente generadora de NO<sub>x</sub> es el sector automotriz, llegando a tener más del 50 % de las emisiones totales, seguida del sector industrial, los procesos de generación de energía y con un mínimo distribuido en otras fuentes (Noriega, 2008, p.5).



**Ilustración 1-1:** Principales fuentes de emisión de NO<sub>x</sub>  
Elaborado por: Ojeda C., 2023.

#### 1.12.1. Dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>)

Es un gas más estable que el monóxido de nitrógeno (NO) y el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) en la atmósfera, es muy contaminante ya que es precursor de partículas de nitrato, ozono troposférico en presencia de altos niveles de radiación solar, responsables de la lluvia ácida por tener alta solubilidad en el agua dando lugar al ácido nítrico. Es tóxico y afecta principalmente al sistema respiratorio, generando irritación en las vías respiratorias. En el tejido pulmonar generan cambios



cuando se expone en periodos prolongados, pudiendo ocasionar daños irreversibles (La Mancha, 2015). De la misma manera que el fósforo (P) y el potasio (K) forma parte de los macronutrientes esenciales necesarios para los seres vivo, conforma proteínas, pared celular y la clorofila en los vegetales. Las plantas adquieren el nitrógeno tanto del aire como del suelo (Balladares, 2021, p.22).

### **1.13. SOx (Óxidos de azufre)**

Los óxidos de azufre son compuestos gaseosos formados de la reacción de una molécula de azufre con dos moléculas de oxígeno (SO<sub>2</sub>) o a su vez con tres moléculas de oxígeno (SO<sub>3</sub>), se los genera durante los procesos de combustión del azufre presente en el combustible como gasóleos, gasolinas, fuel, carbón, etc. Las fuentes que principalmente generan estos compuestos son los procesos industriales, calderas de calefacción, tráfico vehicular, procesos de desulfuración, síntesis química de determinados compuestos, los procesos metalúrgicos, etc. De manera natural son emitidos al ambiente en procesos volcánicos y de descomposición (La Mancha, 2015).

#### **1.13.1. Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>)**

Es un gas incoloro, no es inflamable, posee características irritantes y levemente tóxicas. Al combinarse con moléculas de H<sub>2</sub>O obtiene características corrosivas e irritantes generando ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), sus combinaciones resultantes pueden ser la lluvia ácida afectando a la cubierta vegetal, los suelos e inclusive a estructuras o materiales de construcción. Puede causar problemas respiratorios sobre la salud humana ocasionando tos, llegando a presentar cuadros de bronquitis o agravándose hasta presentarse como principios de asma cuando se someten a concentraciones altas (Malagón, 2011, p.20).

El nutriente secundario requerido por los seres vivos para realizar diversas funciones es el azufre, siendo esencial ya que está presente en las proteínas. Se devuelve el azufre al suelo a través de la conversión de compuestos gaseosos como el ácido sulfhídrico (H<sub>2</sub>S) y el dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) luego de ser lavados por las lluvias, una parte del SO<sub>2</sub> es absorbido por las plantas (Serrano, 2008, p.20).

### **1.14. Normativa de la calidad ambiental del aire para NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>**

La Norma Ecuatoriana de la Calidad del Aire es una norma técnica elaborada bajo el amparo de la Ley de Gestión Ambiental y del Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental y su objetivo primordial es el de preservar la salud de las personas, la calidad del aire ambiente, el bienestar de los ecosistemas y del ambiente en

general. Dicha norma establece los límites máximos permisibles de contaminantes en el aire ambiente a nivel de suelo (Ministerio del Ambiente, 2015, p.55).

En Ecuador los valores máximos permisibles de concentración del contaminante Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) con el objetivo de preservar la salud de los seres vivos y el ambiente describe: concentración en un periodo de 24 horas no debe superar los 125 µg/m<sup>3</sup>, en un lapso de diez minutos, no deberá sobrepasar los 500 µg/m<sup>3</sup>, en un año no debe exceder los 60 µg/m<sup>3</sup>. Para el Dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) la concentración en un año no debe superar 40 µg/m<sup>3</sup>, la concentración máxima durante una hora no superará los 200 µg/m<sup>3</sup> (Ministerio del Ambiente, 2015, p.55).

### 1.15. Índices de calidad del aire (ICA)

Este índice cuenta con una escala que va de 0 hasta 400 que permite determinar la calidad del aire, fraccionando esta escala en 5 categorías de peligrosidad, al obtener un mayor índice el nivel de peligrosidad aumentará y la calidad del aire disminuirá (IM Montevideo, 2010, p.3). En la tabla 2-1 se indica la clasificación utilizada para los niveles cualitativos:

**Tabla 1-2:** Niveles del índice de calidad del aire.

Nivel	NO <sub>2</sub> µg/m <sup>3</sup> (1 hora)	SO <sub>2</sub> µg/m <sup>3</sup> (24 horas)	Índice	Calidad
I	75	50	50	BUENA
II	200	125	100	ACEPTABLE
III	500	365	200	INADECUADA
IV	1130	550	300	MALA
V	2260	825	400	MUY MALA

**Fuente:** Departamento de Desarrollo Ambiental. Intendencia Municipal de Montevideo, 2010  
**Elaborado por:** Ojeda C., 2023.

### 1.16. Monitoreo y Muestreo

Se define como el seguimiento destinado a identificar la capacidad del desempeño de un sistema o proceso, a fin de intervenir si es necesario haciendo ajustes para lograr los objetivos planteados y obtener los resultados deseados, estas acciones pueden ser de carácter correctivo si se alejan de la meta, o potenciar aquellos que benefician el proceso (Valle, 2008, p.2). El muestreo es la actividad que permite determinar el tipo o cantidad de una sustancia. Mediante su aplicación se puede medir

concentraciones de sustancias peligrosas en periodos de tiempo con instrumentos específicos, o a su vez puede captar una muestra de alguna sustancia para ser enviada para el análisis en el laboratorio (CPWR, 2016, p.273).

El monitoreo es un sistema de seguimiento continuo que recoge la información de manera permanente, el monitoreo puede conducir a la reformulación de actividades, proyectos o tareas e incluso al cambio en las prioridades, lineamientos u objetivos (Marcial, 2009, p.10).

#### ***1.16.1. Monitoreo del aire***

Rodolfo Sáenz en 1999 describe al monitoreo del aire como el resultado de procedimientos de muestreo y análisis de contaminantes atmosféricos. Algunos de los contaminantes atmosféricos más importantes que se monitorean mayoritariamente se encuentran: SO<sub>2</sub>, CO, PST, PM<sub>10</sub>, ozono y óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>); también conocidos como contaminantes criterio, para los cuales existen normas de calidad del aire con el fin de proteger la salud humana, así como el bienestar del ser humano y los ecosistemas (Sáenz, 1999, p.1-2).

#### **1.17. Biomonitor y Biomonitoreo**

Los bioindicadores son organismos o comunidades de ellos que tienen la capacidad de responder a la contaminación ambiental a través de su fisiología o acumulando polutantes en su estructura (Anze, 2007, p.55).

En el año de 1997 se define al término biomonitor como: “organismo o comunidad de organismos cuyo contenido en determinados elementos o compuestos y/o cuya morfología, estructura histológica o celular, procesos bioquímico-metabólicos, comportamiento o estructura poblacional, incluyendo cambios en estos parámetros, proporcionan información sobre aspectos cuantitativos de la calidad del ambiente o cambios en el ambiente” (Markert, 1997, p.19-29). Entre las especies vegetales más empleadas para medir los contaminantes atmosféricos se encuentran los musgos y líquenes, son principalmente los más estudiados como bioindicadores (Conti, 2001, p.471).

En la ciudad de Bogotá realizan monitoreos de la calidad del aire con el objetivo de generar un diagnóstico del problema de contaminación atmosférica de la ciudad, a partir de la información proveída por la autoridad ambiental local. La información proporcionada por esta red de monitoreo es utilizada para construir una base de datos con registros validados y organizados referentes a las concentraciones atmosféricas de contaminantes criterio reportadas por la RMCAB

y mediante esto establecer las tendencias de contaminación en la ciudad y para entender las variables que determinan dichas tendencias (Gaitán, et al., 2007, p.81-92).

Los líquenes y musgos poseen características que los identifican como bioindicadores apropiados, entre los cuales están que son organismos con una amplia distribución en diferentes nichos ecológicos, incluyendo tanto áreas industriales como urbanas, ambos tienen la capacidad para permanecer en estado de latencia cuando no son las favorables las condiciones de hidratación y les otorga la capacidad de resistir los cambios climáticos, a su vez son organismos perennes y pueden ser recolectados cualquier época del año (Sanz, 2018, p.5).

### **1.18. Epífitos**

Son plantas que tienen la capacidad de crecer sobre otras plantas, pueden ser árboles o arbustos, pero no tienen contacto directo con los haces vasculares de las especies hospedadoras. Los epífitos tienen una gran diversidad, alrededor de 30,000 especies. En bosques tropicales, los epífitos constituyen más del 50% de la biomasa foliar y el 10% de todas las especies de plantas vasculares (Cach, 2014, p.157).

Un tipo de epífitos no vasculares son líquenes y briófitos, las necesidades hídricas dependen de la humedad del ambiente o del hospedero. Estas especies actúan como esponjas, absorben gran cantidad de agua y luego la liberan en temporadas secas. Tienen un lugar estratégico en el ciclo del nitrógeno (Matamoros, 2017, p.8).

### **1.19. Briófitas**

Las briofitas generalmente son plantas pequeñas, sin embargo, forman comunidades extensas que a menudo cubren áreas grandes de pantanos, troncos y ramas de árboles. Los musgos son organismos fotosintéticos de tamaño pequeño, generalmente terrestres, algunos (la minoría) acuáticos, pero nunca marinos. Actualmente se conocen tres grupos de briofitas Marchantiophyta (hepáticas), Anthoceroophyta (antoceros) y Bryophyta (musgos). Las briofitas están entre los grupos de plantas más importantes para la conservación del agua y el suelo (Calzadilla, 2010, p.2).

Son especies vegetales no vasculares (no cuentan con un sistema de conducción de agua y nutrientes que son xilema y floema). Tienen la capacidad de almacenar agua y liberarla cuando existe el requerimiento, no poseen cutícula lo que les permite absorber nutrientes y agua de la atmósfera y poder fijar contaminantes presentes en el aire como: SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, HF y HCl. Su capacidad de lograr estado de latencia los hace capaces de adaptarse y encontrarse en

ecosistemas muy variables, desde ambientes desérticos hasta ambientes cercanos al medio marino, pero su hábitat de mayor prominencia son los tropicales (Balladares, 2021, p.23).

### **1.19.1. Briofitas como bioindicadores**

El uso de bioindicadores para determinar la calidad del aire es cada día más habitual, mediante el uso de plantas no vasculares como las briofitas conociendo las características que presentan estas especies en cuanto a la contaminación atmosférica. Esta metodología fue implementada en la ciudad de Songtao–China dentro de unas minas de Manganeso en el año 2021 y otro estudio realizado en la ciudad Tyne Valley-Canadá en las minas de carbón en el año 1967, donde se obtuvieron datos confiables de la calidad atmosférica de estas zonas de estudio (Niño, 2022).

Es una técnica basada en la existencia de sustancias perjudiciales para los seres vivos, con el propósito de estimar la concentración de los contaminantes en el ambiente y las especies que habitan en ellos con el uso de uno o varios biomonitores. Los musgos son comúnmente utilizados para este método ya que son buenos bioacumuladores y bioindicadores. La técnica ha obtenido un auge dentro de los estudios de hoy en día, porque no resulta ser costoso y tiene un rango de confiabilidad elevado (Medici, 2008, p.18).

En la provincia central de China en Taizhou se utilizaron briófitos para evaluar la contaminación por metales pesados en el aire dado que la ciudad posee un clima subtropical monzónico y ha adquirido en la última década un gran desarrollo industrial de manera acelerada contando con empresas eléctricas, químicas, farmacéuticas, textiles y de producción de materiales destinados a la construcción, cuyas actividades provocaron un incremento de los niveles de contaminación en el lugar (Zhou, et al., 2017, p.430).

### **1.19.2. *Fabronia ciliaris***

La especie de *Fabronia ciliaris* es un musgo epífito que pertenece taxonómicamente al dominio: eukaryota, reino: plantae, filo: bryophyta, clase: bryopsida, orden: hypnales, familia: fabroniaceae, género: fabronia, especie ciliaris (Gradstein y Weber, 1982, p.127-152). Varios estudios han demostrado que esta especie cuenta con características bioacumuladores de metales y por lo tanto buenos bioindicadores de la contaminación del aire (García, 2016, p.191).



**Ilustración 1-2:** Especie de *Fabronia ciliaris*

**Fuente:** iNaturalist Ecuador, 2021.

## 1.20. Líquenes

El nombre Liquen quiere decir “costra”, denominado a especies vegetales con este aspecto. Son el resultado de una asociación de un hongo y un simbionte fotosintético, de la que resulta un talo estable de estructura específica, su estabilidad se refiere a la capacidad de reproducir la asociación conservando sus características. Solamente 3 géneros de fotobiontes; *Trebouxia* y *Trentepohlia* (algas verdes) y *Nostoc* (cianobacterias) suministran los líquenes, sabiendo que la misma especie de alga puede repetirse en varios tipos de líquenes (Carballal, et al., 2006, p.158).

En 1982 Según la Asociación Internacional de Liquenología define que “Un liquen es una asociación de un hongo y un simbionte fotosintético, de la que resulta un talo estable de estructura específica”. Esta unión da como resultado una estructura diferente a cualquiera de los dos organismos individualmente. Dentro del liquen se crean condiciones adecuadas para que simbionte realice la fotosíntesis, por medio del cual se genera el alimento para el hongo (Carballal, et al., 2006, p.160).

### 1.20.1. Líquenes como bioindicadores

En el siglo XIX por primera vez los líquenes fueron reconocidos como posibles bioindicadores. En el campo de la investigación los líquenes ocupan un lugar muy importante, son bioindicadores de contaminación ambiental, de cambios climáticos y la estabilización del suelo. Han sido empleados en regiones templadas y en los trópicos, los estudios realizados además de la contaminación ambiental tienen relación con las perturbaciones forestales por su alta sensibilidad a factores microclimáticos (Hawksworth y Iturriaga, 2005, p.71-92).

En el parque nacional Hell’s Gate en Kenia se utilizaron líquenes como bioindicadores, esta zona se eligió debido a su abundancia de líquenes epífitos que se encuentran en las especies de árboles *Acacia drepanolobium* Y. Sjöstedt y *Tarchonantus camphoratus* (Linneo). En esta zona se

encuentra una planta geotérmica que expulsa a la atmósfera cantidades significativas de SO<sub>2</sub> (Meijer, et al., 2006, p.1-12). Uno estudio de realizado en Inglaterra y Gales demuestra la capacidad que tienen los líquenes epífitos para determinar cualitativamente la contaminación del aire por la cantidad dióxido de azufre (Hawksworth y Rose, 1970, p.145).

### ***1.20.2. Heterodermia leucomelos***

Es un líquen fruticoso muy discreto que forma mechones sueltos de hasta de unos 10 cm de ancho. Su talo es de color blanquecino grisáceo que es muy ramificado, tienen ramas de entre 3 y 5 mm de ancho. La superficie inferior tiene un canal ancho, blanco y ligeramente hundido a lo largo del centro, que aparece ligeramente áspero debajo de una lente debido a la falta de corteza aquí (Sarlej, 2018, p.14). Su taxonomía corresponde al Dominio Eukaryota, Reino Fungi, Filo Ascomycota, Clase Lecanoromycetes, Orden Teloschistales, Familia Physciaceae (=Caliciaceae), Género Heterodermia, Especie leucomela (Weber, 1986, p.451).



**Ilustración 1-3:** Especie *Heterodermia leucomelos*  
**Fuente:** EncicloVida, 2018.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO METODOLÓGICO

#### 2.1. Tipo de investigación

La investigación que se procederá a realizar es de tipo “Correlacional-cuantitativo”, mediante la toma de datos medibles y comparables entre especies determinaremos la calidad del aire ambiente.

#### 2.2. Diseño de la investigación

El método de investigación aplicada será “No experimental” ya que no se manipularán variables, en este caso se tomará en cuenta la capacidad acumuladora de las especies biológicas para emitarnos datos de la concentración de contaminantes atmosféricos.

#### 2.3. Localización del Estudio

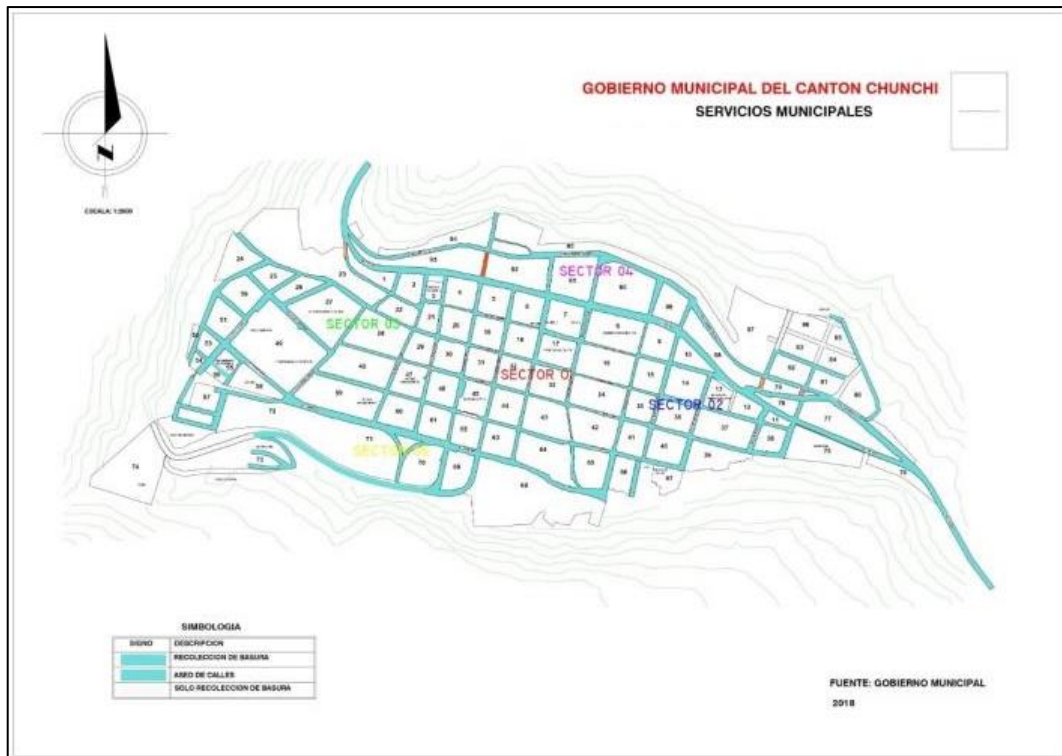
El cantón Chunchi está conformado por 5 parroquias como son: Capzol, Compud, Gonzol, Llagos y Chunchi como su cabecera cantonal.

La Matriz Chunchi en base al año 2014 contaba con 12686 habitantes, posee una extensión de 274,9 kilómetros cuadrados, sus límites territoriales son: al norte, oriente y occidente con el cantón Alausí y al sur con la provincia de Cañar. El rango altitudinal Oscila entre los 1.600 y 4.300 m.s.n.m. (GADM Chunchi, 2010, p.13-229).

##### 2.3.1. Población de estudio

La zona urbana de la ciudad de Chunchi cuenta con un área aproximada de 0,560 kilómetros cuadrados y está formada por 95 manzanas habitadas con sus respectivas calles de acceso (GADM Chunchi, 2010, p.31-353).





**Ilustración 2-1:** Distribución por sectores de la ciudad de Chunchi  
Fuente: GADM Chunchi, 2018.

### 2.3.2. *Tamaño de la muestra*

Debido al área tomada en cuenta para el estudio que alberga alrededor de 0.56 km cuadrados se establecieron 30 puntos de monitoreo distribuidos aleatoriamente en toda la zona descrita, en cada punto se procedió a instalar los recipientes de protección y dentro de estos se colocaron ambos monitores biológicos en su respectiva bolsa.

### 2.3.3. *Método de muestreo*

El mecanismo por el cual se colocarán los 30 puntos de monitoreo será mediante selección aleatoria de tipo estratificado, es decir; que los puntos escogidos para la muestra serán tomados a criterio técnico.



**Ilustración 2-2:** Ubicación de los puntos de monitoreo  
 Realizado por: Ojeda C., 2023.

**2.3.4. Puntos de monitoreo**

En la tabla 2-1 se encuentran las coordenadas donde están colocados los biomonitores, fueron tomados con ayuda de un GPS, representadas en unidades internacionales UTM (Universal Transverse Mercator = Sistema de coordenadas universal transversal de Mercator).

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

COORDENADAS DE LOS PUNTOS DE MONITOREO			
#	Este (UTMX)	Norte (UTMY):	ALTITUD (msnm)
1	730993,4	9746943,9	2284,66
2	731152,8	9746832,8	2267,49
3	731294,7	9746871,8	2269,84
4	731506,7	9746832,5	2271,28
5	731612,6	9746786,4	2278,45
6	731704,7	9746688,8	2284,20
7	731883,4	9746632,4	2292,17
8	731988,2	9746572,6	2296,69
9	731619,9	9746580,6	2263,60
10	731419,0	9746584,1	2260,94

11	731619,9	9746580,6	2263,60
12	731619,9	9746580,6	2263,60
13	731359,5	9746689,1	2260,88
14	731367,1	9746631,6	2260,94
15	731235,5	9746694,4	2258,49
16	731280,1	9746614,2	2258,89
17	731167,4	9746631,7	2256,93
18	731173,8	9746725,2	2258,15
19	731128,1	9746713,6	2257,64
20	731105,0	9746645,8	2255,27
21	730940,6	9746708,0	2250,19
22	730910,3	9746854,1	2256,64
23	730719,8	9746878,1	2237,48
24	730671,4	9746825,3	2236,23
25	730759,5	9746662,4	2238,56
26	731064,3	9746926,0	2285,11
27	731318,8	9746900,0	2275,94
28	731515,2	9746904,0	2288,51
29	731726,9	9746736,8	2295,46
30	731887,1	9746747,4	2312,81

Realizado por: Ojeda C., 2023.

## 2.4. Técnicas de recolección de datos

En primera instancia se preparará los monitores biológicos, posteriormente se colocarán los biomonitores en los puntos establecidos para que estén expuestos a los contaminantes atmosféricos y por último se analizarán NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> de los biomonitores de mediante espectrofotometría UV-Visible en el laboratorio. Se realizarán los análisis de las muestras una vez cada mes, durante un periodo de 2 meses.

## 2.5. Selección de agentes biológicos

### 2.5.1. Metodología para la selección de agentes biológicos

La metodología empleada para seleccionar los agentes biológicos se llevó a cabo en 5 etapas como son:

- Recolección de especies biológicas en puntos donde no exista ningún tipo de contaminación.

- Determinación de la tolerancia a contaminantes (NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>).
- Preparación de los biomonitores para absorción contaminantes.
- Exposición y recolección de biomonitores.
- Análisis mediante espectrofotometría UV-Visible.

Los laboratorios de Investigación y Química Instrumental de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH fueron utilizados para realizar las pruebas de tolerancia a contaminantes específicos y preparación para los análisis de los biomonitores, así como para calcular la concentración de Dióxido de Nitrógeno y Dióxido de Azufre captados por los biomonitores en la ciudad de Chunchi.

## **2.5.2. *Recolección de especies biológicas***

### *2.5.2.1. Selección del lugar de recolección de briofitas*

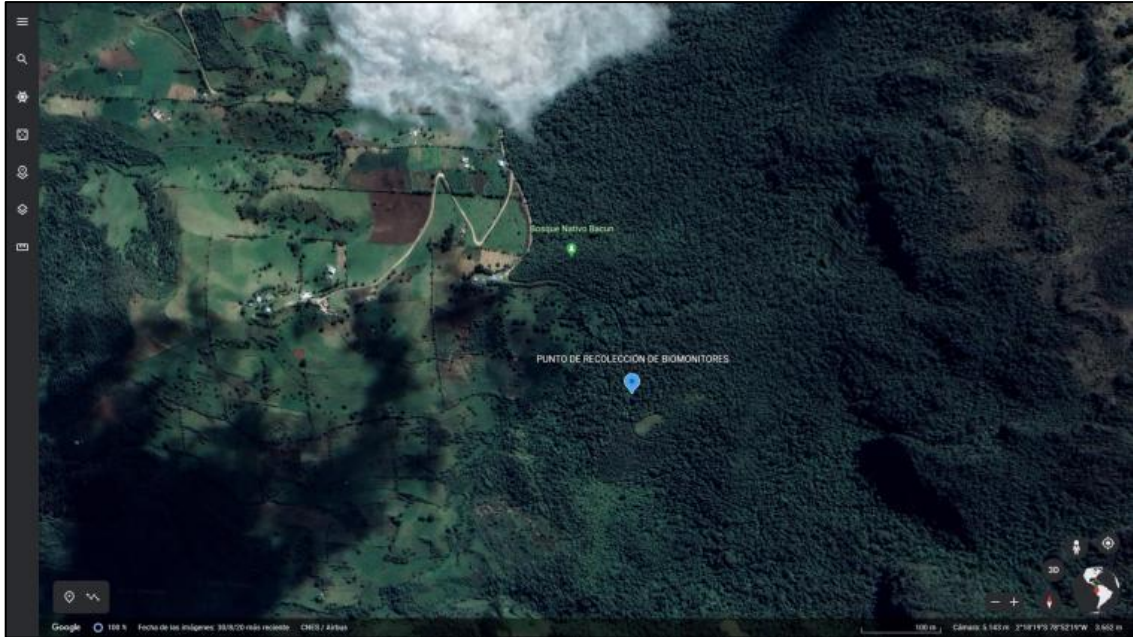
Teniendo en consideración que las especies a ser recolectadas se desarrollan de mejor manera en ambientes húmedos se tomó a consideración varios sectores del cantón, entre los cuales constaba como principal lugar para realizar la recolección el Bosque Nativo Bacún, ya que por sus características presentaba un ambiente libre contaminación atmosférica y donde se podría encontrar mayor cantidad de vegetación.

El Bosque nativo Bacún, ubicado en la comunidad San Antonio de Bacún perteneciente al Cantón Chunchi de la provincia de Chimborazo, ya que, en esta zona por estar alejado del centro urbano, entre recónditas montañas con más de 104 hectáreas de bosque primario mantiene un ambiente puro y natural en el cual se desarrollan una gran variedad de especies de líquenes y briófitas (GADM Chunchi, 2016).

### *2.5.2.2. Recolección de especies biomonitores*

Las especies para el monitoreo fueron debidamente extraídas de las coordenadas UTM - Zona 17 S: x=736052,6; y= 9745033,3 (Longitud: -78,8774355° y Latitud: -2,3051596°) a una altura aproximada de 3.264 msnm ubicadas dentro del Bosque nativo Bacún, ubicado en la comunidad San Antonio de Bacún perteneciente al Cantón Chunchi de la provincia de Chimborazo, ya que, en esta zona por estar alejado del centro urbano, entre recónditas montañas con más de 104 hectáreas de bosque primario mantiene un ambiente puro y natural en el cual se desarrollan una gran variedad de especies de líquenes y briófitas (GADM Chunchi, 2016).

Para la extracción se utilizó el adecuado equipamiento y metodología, como guantes para no contaminar por contacto a las especies y una espátula para recogerlas integras llevando consigo la corteza o tronco que las acogían (Medici, 2008, p.19), se los colocó en recipientes estériles debidamente etiquetados para su traslado.



**Ilustración 2-3:** Ubicación de la zona de recolección de biomonitores.

**Fuente:** Google Earth, 2022.

**Realizado por:** Ojeda C., 2023.

### 2.5.2.3. *Identificación de especies de biomonitores*

En el lugar destinado para la recolección se hizo un reconocimiento previo del lugar, y se observó la gran diversidad de vegetación que poseía el lugar, a través de bibliografía se logró identificar las especies de líquenes y briofitas de acuerdo con sus características morfológicas según su estructura, forma y tamaño. Para lo cual se necesitó de un recipiente plástico para colocar y transportar las briófitas y otro para los líquenes (Fonseca, 2021, p.30).

En el proceso de recolección se extrajeron las especies con parte de la corteza donde crecían para no lesionar o desprender ninguna de sus partes. Teniendo en cuenta que son especies que no han tenido contacto antropogénico se realizó la recolección con guantes de nitrilo para evitar la contaminación mientras se las manipulaba y sean transportadas hasta el laboratorio (Cires, 2018, p.1).

#### 2.5.2.4. Tipo de especies recolectadas

Mediante observación se comparó con fuentes bibliográficas y se logró identificar a qué tipo de especie pertenecían las recolectadas en el bosque Bacún. Como resultado de la comparación obtuvimos 3 especies de líquenes y 4 especies de briófitos (Cires, 2018, p.2).

#### 2.5.3. Determinación de tolerancia a contaminantes

Las pruebas de tolerancia se realizaron para determinar las especies que tienen la mayor capacidad de absorber los contaminantes destinados para el estudio. Los tipos de especies de briófitas y líquenes se expusieron a diferentes concentraciones de  $\text{NO}_2$  y  $\text{SO}_2$ , se comenzó por las concentraciones más bajas y se fueron incrementando a lo largo de los 4 días de prueba. Para este procedimiento se colocaron todas las especies tanto de líquenes como de briófitas en un recipiente hermético y se las sometió a un ambiente con  $\text{SO}_2$  (Instituto nacional de seguridad e higiene en el trabajo, 2014, p.2), simultáneamente en otro recipiente hermético la exposición se llevó a cabo con  $\text{NO}_2$  (García, 2010, p.145).

Se debe tomar en cuenta que debido a la emisión de gases tóxicos durante las reacciones químicas de estos procedimientos deben ser realizados dentro de una campana de extracción de gases y acompañados del equipó de protección personal necesario como lo es el uso de una máscara para gases (Fonseca, 2021, p.30).

##### 2.5.3.1. Identificación de especies aptas para que actúen como monitores biológicos

La identificación de los biomonitores aptos para ser utilizados en la evaluación de calidad del aire se realizó empleando un reactor sencillo en el cual se colocó las especies recogidas. Para las pruebas de  $\text{SO}_2$  se requiere lo descrito en la tabla 2-2.

**Tabla 2-2:** Materiales y reactivos para realizar pruebas de tolerancia a  $\text{SO}_2$

MATERIALES	REACTIVOS	EQUIPOS
<ul style="list-style-type: none"><li>• Recipiente hermético con acople</li><li>• Kitasato de 500 mL con corcho y manguera</li><li>• Reverbero y malla</li><li>• Mascara para gases</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Azufre</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Balanza analítica</li><li>• Cámara de extracción de gases</li></ul>

Realizado por: Ojeda C., 2023.

2.5.3.2. Metodología de inyección directa de SO<sub>2</sub> a los biomonitores

Se realizó un agujero en la parte lateral del recipiente etiquetado donde se colocó el acople, en el cual se conectó la manguera. Se colocó las especies en el recipiente separadas respectivamente y se procedió a sellar. Al Kitasato se le añadió la cantidad respectiva de azufre, se colocó el tapón y unió la manguera. Con la ayuda del reverbero se calentó el Kitasato en alta temperatura, al exponer el azufre a elevadas genera SO<sub>2</sub> mediante oxidación (Instituto nacional de seguridad e higiene en el trabajo, 2014, p.2), empezó a emanar humo de color marrón-anaranjado, cuyo gas fue conducido hacia el reactor por la manguera, todo el humo fue consumido durante la reacción. Este proceso se realizó durante cuatro días añadiendo distintas concentraciones de azufre.

Ecuación de generación de SO<sub>2</sub>



Para generar dióxido de azufre es necesario llevar a altas temperaturas el Azufre en polvo, la tabla 2-3 muestra las cantidades con las que se trabajó:

**Tabla 2-3:** Cantidades para generar Dióxido de Azufre

Día de prueba	Miligramos de Azufre
1	500
2	1000
3	1500
4	2000

Realizado por: Ojeda C., 2023.

Para las pruebas de tolerancia de NO<sub>2</sub> se requiere lo descrito en la tabla 2-4.

**Tabla 2-4:** Materiales y reactivos para realizar pruebas de tolerancia a NO<sub>2</sub>

MATERIALES	REACTIVOS	EQUIPOS
<ul style="list-style-type: none"> <li>Recipiente hermético con acople</li> <li>Kitasato de 500 mL con corcho y manguera</li> <li>Pipeta y pera de succión</li> <li>Mascara para gases</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cobre</li> <li>Ácido nítrico</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Balanza analítica</li> <li>Cámara de extracción de gases</li> </ul>

Realizado por: Ojeda C., 2023.

### 2.5.3.3. Metodología de inyección directa de NO<sub>2</sub> a los biomonitores

De la misma manera se realizó un agujero en la parte lateral del recipiente etiquetado donde se colocó el acople, en el cual se conectó la manguera. Se colocó las especies en el recipiente separadas respectivamente y se procedió a sellar. Al Kitasato se le añadió la cantidad respectiva de cobre y unió la manguera. Se añadió de a poco el ácido nítrico y se colocó el tapón. Al interactuar el cobre con el ácido nítrico ocasiona la generación de NO<sub>2</sub> (García, 2010, p.143). La reacción generó humo de coloración anaranjada, el humo se condujo hacia el reactor a través de la manguera, se esperó hasta que todo el humo fue consumido durante la reacción. Este proceso se repitió durante cuatro días colocando distintas concentraciones ácido nítrico y cobre.

Ecuación de generación de NO<sub>2</sub>



Para generar Dióxido de Nitrógeno es necesario mezclar cobre con ácido nítrico, se muestra en la tabla 2-5 las cantidades con las que se trabajó para ambos reactivos:

**Tabla 2-5:** Cantidades de cobre y ácido nítrico para la generación de Dióxido de Nitrógeno

Día de prueba	Miligramos de Cobre	Mililitros de Ácido Nítrico
1	760	1
2	1520	2
3	2280	3
4	3040	4

Realizado por: Ojeda C., 2023.

### 2.5.3.4. Análisis de contaminantes mediante espectrofotometría UV-Visible

Para poder determinar la capacidad de absorción de contaminantes en las plantas epífitas seleccionadas se requiere lo expuesto en la tabla 2-6 y se llevó a cabo la siguiente técnica para los cuatro especies de briófitas y tres especies de líquenes.



**Tabla 2-6:** Materiales de laboratorio para analizar especies biológicas

MATERIALES	REACTIVOS	EQUIPOS
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erlenmeyer de 125 mL</li> <li>• Pipeta de 10 mL</li> <li>• Pera de succión</li> <li>• Pinza</li> <li>• Balón aforado de 50 mL</li> <li>• Reverbero</li> <li>• Fundas herméticas</li> <li>• Máscara para gases</li> <li>• Mandil y guantes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Agua destilada</li> <li>• Ácido clorhídrico</li> <li>• Ácido nítrico</li> <li>• Peróxido de hidrogeno al 30%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estufa</li> <li>• Cámara de extracción de gases</li> <li>• Espectrofotómetro UV-Visible</li> <li>• Frigorífico o congelador</li> </ul>

Realizado por: Ojeda C., 2023.

#### 2.5.3.5. Metodología para analizar muestras de monitores biológicos

Las especies son llevadas a la estufa durante un periodo de 5 horas a la temperatura de 80° C, transcurrido este tiempo se procederá a pesar 500 mg de muestra, posteriormente se coloca en fundas herméticas y se guarda en refrigeración hasta el momento de su análisis. La muestra seca se coloca en un Erlenmeyer y se le añade 10 mL de ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>) y se calienta hasta que tome un color marrón. Retirar y esperar hasta que se enfríe el Erlenmeyer y agregar 5 mL de HNO<sub>3</sub>, calentar nuevamente hasta que otra vez se torne color marrón. Dejar enfriar y agregar 2 mL de HNO<sub>3</sub>. Se calienta a elevadas temperaturas hasta conseguir un volumen entre 5 y 10 mL. El restante de solución se deja enfriar y se añaden 2 mL de peróxido de hidrogeno (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) al 30%, al calentar la muestra hasta un volumen de 5-10 mL esta irá tornándose más claro conforme se vaya repitiendo la última operación. Enfriar y agregar 2 mL de ácido clorhídrico (HCl), calentar hasta que se evapore para obtener 5 mL. La solución final se coloca en un balón para aforar a 50 mL con agua destilada. Finalmente se lleva al espectrofotómetro para el equipo arroje la lectura para los contaminantes, a 540 nm para NO<sub>2</sub> y a 570 nm para SO<sub>2</sub> (González, 2018, p.51).

#### 2.5.4. Preparación de biomonitores para absorción de NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>

Se tomó como especies para realizar los monitoreos a *Fabronia ciliaris* de briófitas y a *Heterodermia leucomelos* de líquenes, estas especies fueron seleccionadas por ser óptimas debido a la mayor concentración de contaminantes medidos por espectrofotometría UV-Visible

absorbidos a en las pruebas de tolerancia, se procede a preparar las muestras utilizadas para captar los contaminantes atmosféricos en el lugar de estudio.

Se colocan los monitores en cada una de las bolsas de 0.06 m de ancho por 0.08 m de alto elaboradas de malla de tela alrededor de 2000 mg, los epífitos fueron previamente lavados 4 veces consecutivas con agua destilada en tiempos de 2, 5, 15 y 20 minutos respectivamente (Uribe y Cifuentes, 2004, p.131). Se transportó los biomonitores en fundas estériles hacia el lugar de monitoreo.

#### **2.5.5. *Exposición y recolección de biomonitores***

Se colocaron en los puntos de muestreo debajo de una cubierta las bolsas con los biomonitores tanto de *F. ciliaris* como de *H. leucomelos* en sus respectivas bolsas de malla. Los muestreadores deben estar entre 1.5 y 4 m sobre el nivel del piso, una altura de 1.5 m. es adecuada para estudiar exposiciones potenciales del ser humano a situaciones de gran carga de tráfico vehicular, sin embargo, para evitar el vandalismo se instalaron a una altura de 2.5 m (DIGESA, 2015, p.21). Transcurrido el tiempo de un mes de exposición se procedió a retirar los biomonitores y se los colocó en un recipiente estéril debidamente etiquetado de manera que no se contaminen y sean transportados hasta el laboratorio donde se realizaron los respectivos análisis. Al mismo tiempo que se recolectaron las muestras se colocaron las nuevas para el siguiente periodo.

#### **2.5.6. *Análisis de concentración de contaminantes por espectrofotometría UV-Visible de biomonitores colocados en el área de estudio***

##### **2.5.6.1. *Metodología para analizar biomonitores del área de estudio***

Las muestras recolectadas durante el monitoreo son llevadas al laboratorio y se procede a aplicar la misma metodología del apartado 2.5.3.5. (*Metodología para analizar muestras de monitores biológicos*).

#### **2.5.7. *Análisis de dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) en biomonitores***

##### **2.5.7.1. *Método para obtención de concentración de dióxido de nitrógeno en biomonitores***

Para obtener la concentración de NO<sub>2</sub> en los biomonitores se procedió de la siguiente manera:

- Obtener la curva de calibración para NO<sub>2</sub>
- Calcular la concentración de nitrito en los monitores

- Calcular la masa de nitritos en los monitores
- Determinar la concentración de NO<sub>2</sub> en el Ambiente

#### 2.5.7.2. *Elaboración de la curva de calibración para NO<sub>2</sub>*

Como base para la determinación de la concentración de dióxido de nitrógeno en los puntos de monitoreo se genera la curva de calibración para el equipo que se emplea en los análisis espectrofotométricos. La elaboración de la curva requiere de dos soluciones: patrón y Stock.

#### 2.5.7.3. *Metodología para preparación de la solución patrón para NO<sub>2</sub>*

**Tabla 2-7:** Materiales y reactivos para preparar solución patrón para NO<sub>2</sub>

MATERIALES	REACTIVOS	EQUIPOS
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Matraz de 25 mL</li> <li>• Papel aluminio</li> <li>• Micropipeta</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sal de NaNO<sub>2</sub></li> <li>• Agua destilada</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estufa</li> <li>• Balanza analítica</li> </ul>

Realizado por: Ojeda C., 2023.

Se pesa 2 g de sal de NaNO<sub>2</sub> y se lleva a la estufa durante 24 horas a 120 ° C. Pesar 37.5 mg de NaNO<sub>2</sub> seca. Disolver en un matraz aforado de 25 mL con agua destilada. Conservar cerrado, refrigerado y protegido de la luz hasta la preparación de la solución (Freire, 2017, p.24-26).

#### 2.5.7.4. *Metodología para preparación de la solución stock*

Se escoge 10 mL de la solución patrón y se afora a 250 mL con agua destilada, con lo cual obtiene una concentración de 40 µg NO<sub>2</sub>/mL. Se procede a guardar la solución en refrigeración y protegerla de la luz. Introducir en cada tubo de ensayo diferentes volúmenes de la solución stock, para lo cual requerimos el uso de una micropipeta. Añadir en cada tubo de ensayo 4 mL de reactivo de color. Homogeneizar la solución de los tubos de ensayo mediante agitación. Llevar a analizar en el espectrofotómetro su absorbancia a 540nm (Freire, 2017, p.24-26).

#### 2.5.7.5. *Curva de Calibración para NO<sub>2</sub>*

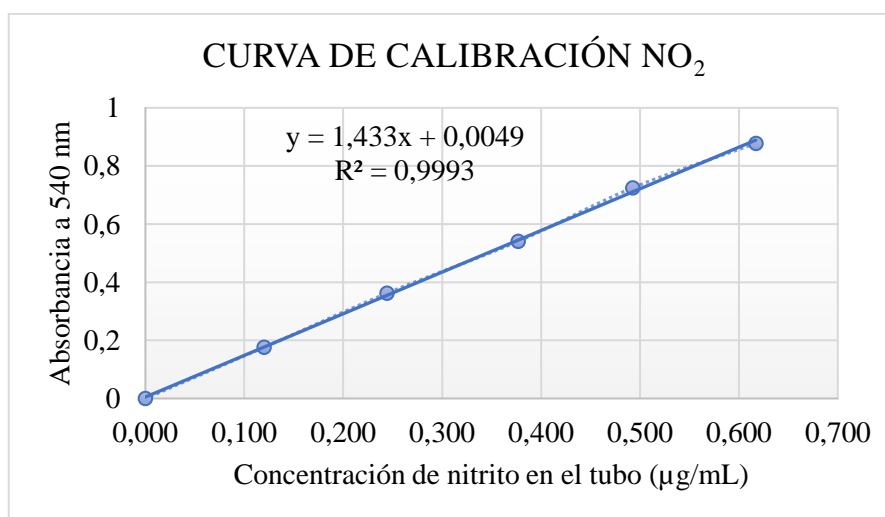
Con los datos obtenidos de las absorbancias a diferentes concentraciones procedemos a elaborar la curva de calibración utilizando los datos presentados en la tabla 2-8 a través de la herramienta de Microsoft Excel donde emite una ecuación de la recta, el coeficiente de correlación de los datos

( $R^2 = 0,9993$ ), la pendiente de la recta ( $m = 1,433$ ) y el punto de intersección con el eje vertical ( $b = 0,00495$ ).

**Tabla 2-8:** Datos para realizar la curva de calibración de  $\text{NO}_2$  en biomonitores

Relación entre absorbancia - concentración de nitritos en el tubo			
DISOLUCIÓN ESTÁNDAR	[ ] PARA CALIBRACIÓN ESTÁNDAR ( $\mu\text{g/mL}$ )	[ ] DE NITRITO EN EL TUBO ( $\mu\text{g/mL}$ )	ABSORBANCIA A 540 nm
F	50	0,617	0,878
E	40	0,493	0,725
D	30	0,377	0,541
C	20	0,244	0,362
B	10	0,120	0,176
A	0	0	0

Realizado por: Ojeda C., 2023.



**Ilustración 2-4:** Curva de calibración para  $\text{NO}_2$

Realizado por: Ojeda C., 2023.

#### 2.5.7.6. Cálculo de la concentración del dióxido de nitrógeno en los monitores

Se utilizó la curva de calibración para obtener las concentraciones en los biomonitores, la ecuación que presenta la recta permite reemplazar los valores de la absorbancia para obtener sus respectivas concentraciones.

$$y = 1,433x + 0,0049 \quad \text{(Ecuación 2-3)}$$

Donde:

- x = Concentración de nitrito en el tubo ( $\mu\text{g/mL}$ ).
- y = Absorbancia a 540 nm.

#### 2.5.7.7. *Calcular la masa de nitritos en los monitores*

Se calcula la masa en el tubo de nitritos: (Bermeo y Vega, 2018, p.38)

$$m \text{ NOx } (\mu\text{g}) = C_2 * V \quad \text{(Ecuación 2-4)}$$

Donde:

- m NOx = Masa en el biomonitor de nitritos ( $\mu\text{g}$ ).
- C2 = Concentración en el biomonitor de nitritos ( $\mu\text{g/mL}$ ).
- V = Volumen añadido de reactivos de color (mL).

#### 2.5.7.8. *Determinar la concentración de NO<sub>2</sub> en el Ambiente*

Por último, se realizó el cálculo de la concentración en el ambiente de NO<sub>2</sub>: (Bermeo y Vega, 2018, p.38)

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

Donde:

- C NO<sub>2</sub> = Concentración en el ambiente de NO<sub>2</sub> ( $\mu\text{g/m}^3$ ).
- mNOx = Masa en el biomonitor de nitritos ( $\mu\text{g}$ ).
- L = Longitud (m).
- D<sub>12</sub> = Coeficiente de difusión (NO<sub>2</sub>-Aire) = 1,39001E-05 (m<sup>2</sup>/s).
- A = Área (m<sup>2</sup>).
- T = Periodo de muestreo (s).

### **2.5.8. Análisis de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) en biomonitores**

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

Para obtener la concentración de SO<sub>2</sub> en los biomonitores se procedió de la siguiente manera:

- Obtener la curva de calibración para SO<sub>2</sub>
- Calcular la concentración de sulfato en los monitores
- Calcular la masa de sulfato en los monitores
- Determinar la concentración de SO<sub>2</sub> en el Ambiente.

#### **2.5.8.2. Elaboración de la curva de calibración para SO<sub>2</sub>**

Para la determinar la concentración de dióxido de Azufre en los puntos de monitoreo se genera la curva de calibración para el equipo que se emplea en los análisis espectrofotométricos. La elaboración de la curva requiere generar una solución patrón y diluirla a diferentes concentraciones.

#### **2.5.8.3. Metodología para preparación de la solución patrón para SO<sub>2</sub>**

En un matraz aforado de 25 mL colocar: 3 mL de Disulfito- TCM, 7ml de solución de absorción, 1mL de ácido sulfámico, 2 mL de formaldehído y 5 mL de pararosanilina. Se agrega agua destilada hasta alcanzar el aforo (Manrique y Ossa 2010, p.30).

De la solución obtenida se toman diferentes volúmenes y se los afora con agua destilada hasta alcanzar un volumen de 25 mL respectivamente. Colocar 10 mL en tubos de ensayo y agitar estas soluciones para homogeneizar. Llevar a analizar en el espectrofotómetro su absorbancia a 570nm.

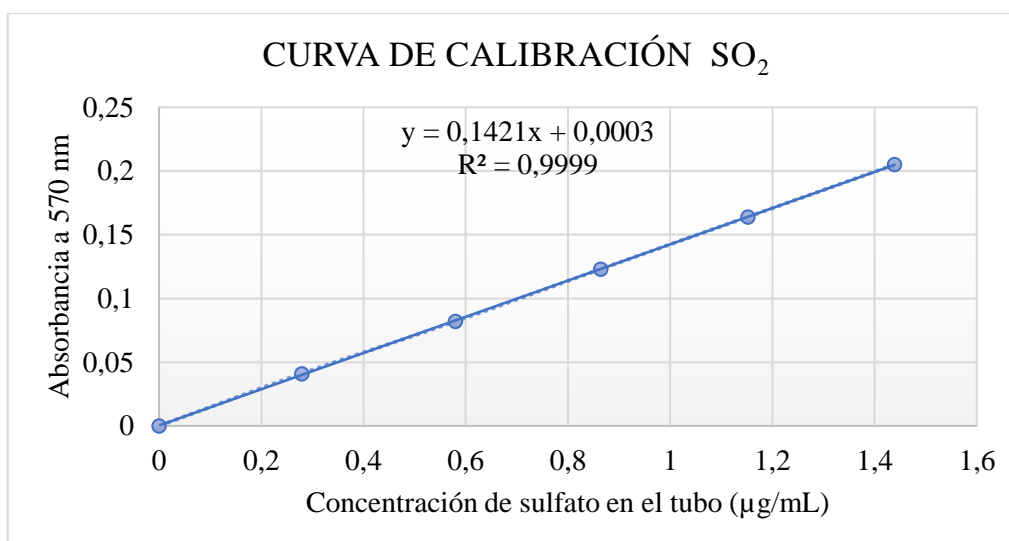
#### **2.5.8.4. Curva de Calibración para SO<sub>2</sub>**

Mediante la herramienta de Microsoft Excel introducimos los datos de la tabla 2-9 obtenidos de las absorbancias y obtenemos la ecuación de la recta o a su vez aplicando una regresión lineal por calculadora, con el fin de estimar las concentraciones de dióxido de azufre en las soluciones. Adjunto a la ecuación de la recta se obtuvo el coeficiente de correlación de los datos ( $R^2 = 0.9999$ ), la pendiente de la recta ( $m = 0,142098825$ ) y el punto de intersección con el eje vertical ( $b = 0,000330945$ )

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

Relación entre absorbancia - concentración de sulfato en el tubo			
DISOLUCIÓN ESTÁNDAR	[ ] PARA CALIBRACIÓN ESTÁNDAR (µg/mL)	[ ] DE SULFATO EN EL TUBO (µg/mL)	ABSORBANCIA A 570 nm
F	50	1,439	0,205
E	40	1,152	0,164
D	30	0,864	0,123
C	20	0,580	0,082
B	10	0,279	0,041
A	0	0	0

Realizado por: Ojeda C., 2023.



**Ilustración 2-5:** Curva de calibración para SO<sub>2</sub>

Realizado por: Ojeda C., 2023.

#### 2.5.8.5. Cálculo de la concentración del dióxido de azufre en los monitores

Se utilizó la curva de calibración para obtener las concentraciones en los biomonitores, con la ecuación que presenta la recta obtenida con la herramienta Excel permite reemplazar los valores de la absorbancia para obtener sus respectivas concentraciones.

$$y = 0,1421x + 0,0003 \quad \text{(Ecuación 2-6)}$$

Donde:

- $x$  = Concentración de sulfato en el tubo ( $\mu\text{g/mL}$ ).
- $y$  = Absorbancia a 570 nm.

#### 2.5.8.6. *Calcular la masa de sulfato en los monitores*

Se calcula la masa de sulfatos dentro del tubo: (Bermeo y Vega, 2018, p.41)

$$m \text{ SO}_x (\text{ug}) = C_2 * V \quad \text{(Ecuación 2-7)}$$

Donde:

- $m \text{ SO}_x$  = Masa en el biomonitor de sulfatos ( $\mu\text{g}$ ).
- $C_2$  = Concentración en el biomonitor de sulfatos ( $\mu\text{g/mL}$ ).
- $V$  = Volumen añadido de reactivos de color (mL).

#### 2.5.8.7. *Determinar la concentración de SO<sub>2</sub> en el Ambiente*

Finalmente, se calcula la concentración en el ambiente de SO<sub>2</sub>: (Bermeo y Vega, 2018, p.41)

$$C \text{ SO}_2 = \frac{(m\text{SO}_x * L)}{D_{12} * A * t} \quad \text{(Ecuación 2-8)}$$

Donde:

- $C \text{ SO}_2$  = Concentración en el ambiente de SO<sub>2</sub> ( $\mu\text{g/m}^3$ ).
- $m\text{SO}_x$  = Masa en el biomonitor de sulfatos ( $\mu\text{g}$ ).
- $L$  = Longitud (m).
- $D_{12}$  = Coeficiente de difusión (SO<sub>2</sub>-Aire) = 1,23E-05 (m<sup>2</sup>/s).
- $A$  = Área (m<sup>2</sup>).
- $T$  = Periodo de muestreo (s).



#### 2.5.8.8. Corrección de la concentración ambiental de acuerdo con las condiciones de la localidad

El Ministerio del Ambiente presenta una ecuación que se empleó para hacer la corrección de ambos contaminantes presentes en los biomonitores: (Ministerio del Ambiente, 2015, p.55)

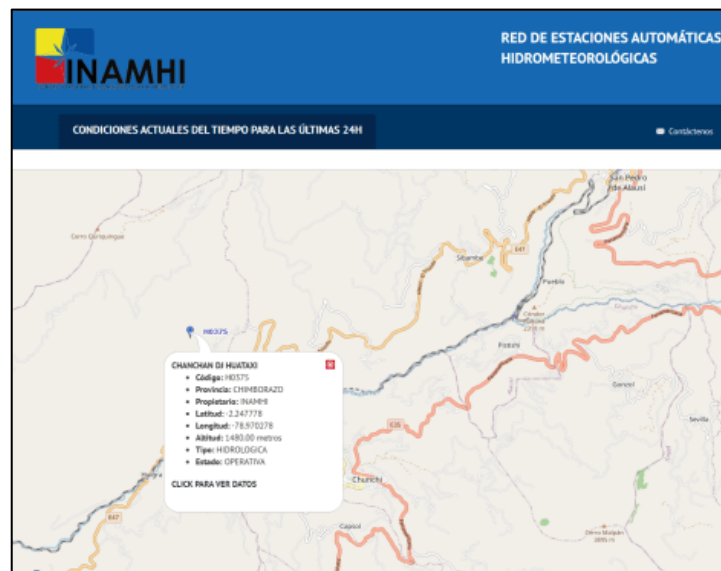
$$C_c = C_o * \frac{760 \text{ mm Hg}}{P_{bl} \text{ mm Hg}} * \frac{(273.15+t^{\circ}C)^{\circ}K}{298^{\circ}K} \quad (\text{Ecuación 2-9})$$

Donde:

- $C_c$  = Concentración corregida ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).
- $C_o$  = Concentración observada ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).
- $P_{bl}$  = Presión atmosférica del lugar (mm Hg).
- $t$  = Temperatura local ( $^{\circ}\text{C}$ ).

## 2.6 Datos para corrección de concentraciones ambientales

Los datos meteorológicos de temperatura y presión atmosférica fueron obtenidos de la Red de estaciones Hidrometeorológicas del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI)



**Ilustración 2-6:** Estación meteorológica CHANCHAN-DJ-HUATAXI-H0375–Chimborazo

**Fuente:** Red de Estaciones Automáticas Hidrometeorológicas – INAMHI. 2023.

Dentro de esta plataforma web se encuentran datos registrados a lo largo del tiempo por las estaciones automáticas, se descargaron los datos pertenecientes al periodo noviembre-diciembre de 2022 presentes en la tabla 2-10, ya que son los meses en los que se realizó el monitoreo.

**Tabla 2-10:** Datos meteorológicos para corregir las concentraciones de contaminación

<b>Promedio de datos mensuales atmosféricos</b>		
Mes	Temperatura (K)	Presión mm Hg
Noviembre - 2022	286,907	545,908
Diciembre - 2022	286,853	546,141

**Fuente:** Red de Estaciones Automáticas Hidrometeorológicas – INAMHI, 2023  
**Realizado por:** Ojeda C., 2023.

## 2.7. Aplicación de software

### 2.7.1. Análisis estadístico empleando el software SPSS

Para interpretar la concentración presente de los gases contaminantes y relacionarlos con la presión, temperatura, porcentaje de humedad, radiación solar, velocidad y dirección del viento se requiere del uso del Software SPSS, mediante este software se creó un Diseño de componentes principales donde se logra explicar los comportamientos y características de los contaminantes (Fonseca, 2021, p.51).

### 2.7.2. Mapa de concentración utilizando ArcMap

Utilizando los datos de las concentraciones registradas en los puntos de monitoreo durante el transcurso de los meses de muestreo para los contaminantes estudiados se procede a la elaboración de mapas de dispersión que describen el comportamiento del dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) y dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), para lo que se necesita de un software que permite recopilar, organizar, administrar, analizar, compartir y distribuir información geográfica como es ArcGis con su componente principal ArcMap, para el estudio se utilizó la versión 10.8 del año 2019.

En una base de datos que almacene los 30 puntos de monitoreo con sus respectivas coordenadas UTM en X y Y se importada al software para generar un shapefile es un formato vectorial que permite almacenar digitalmente la localización de los elementos geográficos y los atributos que se les asocia, en este caso para datos de concentración de los contaminantes atmosféricos NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> (Nieto, 2019, p.29).

Para obtener los mapas de dispersión de los contaminantes para la investigación se procedió a descargar una imagen satelital del Cantón Chunchi y se la insertó en el programa ArcMap para luego ser georreferenciada y delimitar la zona de estudio. El programa permite insertar una base de datos partiendo de un documento o tabla Excel, donde se encuentran los datos tomados durante el monitoreo, posteriormente procedemos a crear un Shapefile con los datos correspondientes a las concentraciones obtenidas. Finalmente se usa la opción Kriging que despliega el menú de Interpolation dentro de la herramienta Spatial Analyst Tools, donde se ingresa las capas o shapefiles con su respectiva configuración de entrada y salida de información, delimitando el área de estudio con la opción Environmental que presenta la ventana emergente del Kriging, todo este proceso permite predecir a manera de interpolación la dispersión de los contaminantes NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> a lo largo de la zona de investigación (Nieto, 2019, p.40).

## CAPÍTULO III

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


#### 3.1. Identificación de especies



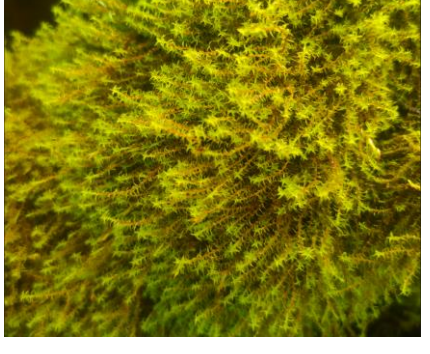

Teniendo base en estudios realizados en el Ecuador se determinó que las especies requeridas para este estudio se desarrollaban de mejor manera en ambientes húmedos, de esta manera se procedió a determinar los lugares que cumplan con estas características, uno de los puntos estratégicos para encontrar y extraer las especies para ser utilizadas de monitores biológicos fue el bosque nativo Bacún ubicado dentro del mismo cantón a una altura cercana a los 3300 msnm y a una distancia aproximada de 15 000 m de la ciudad de Chunchi.


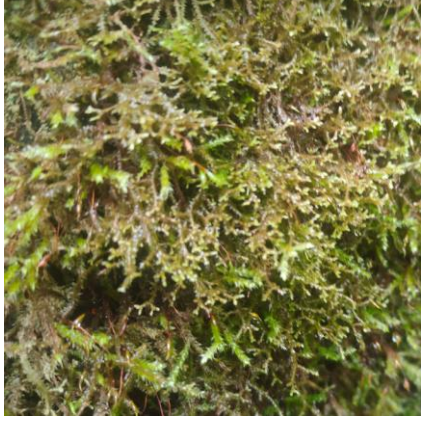
El bosque brinda una amplia gama de vegetación, se cubrió un área aproximada de 1 hectárea para recolectar las especies que servirán como biomonitores, al finalizar el proceso de extracción se obtuvieron en total 7 especies distintas. Empleando lo descrito en libros de botánica se determinó que eran 4 especies de briófitas y 3 de líquenes.

#### 3.2. Tipos de epífitos recolectados

**Tabla 3-1:** Especies recolectadas en el bosque nativo Bacún - Chunchi - Chimborazo

CÓDIGO	IMAGEN	NOMBRE
L1		<i>Usnea laevis</i>

<p><b>L2</b></p>		<p><i>Heterodermia leucomelos</i></p>
<p><b>L3</b></p>		<p><i>Parmotrema arnoldii</i></p>
<p><b>B1</b></p>		<p><i>Breutelia tomentosa</i></p>
<p><b>B2</b></p>		<p><i>Bazzania hookeri</i></p>

<b>B3</b>		<i>Fabronia ciliaris</i>
<b>B4</b>		<i>Lepidozia reptans</i>

Realizado por: Ojeda C., 2023.

La tabla 3-1 se encuentran formada por fotografías de las especies recolectadas, debidamente codificadas de acuerdo con el tipo de epífito que corresponde: con la denominación “A” para las especies de líquenes (A1: *Usnea laevis*, A2: *Heterodermia leucomelos* y A3: *Parmotrema arnoldii*) y “B” para las especies de briófitas (B1: *Breutelia tomentosa*, B2: *Bazzania hookeri*, B3: *Fabronia ciliaris* y B4: *Lepidozia reptans*).

### 3.3. Selección de especies para absorción de contaminantes atmosféricos

La generación de contaminantes para realizar las pruebas de tolerancia con las especies recolectadas se produjo teniendo en cuenta que los reactivos utilizados durante las pruebas al reaccionar generarán dióxido de nitrógeno y dióxido de azufre. Como resultado de las pruebas a través de espectrofotometría UV-Visible se determinó, como se muestra en la tabla 3-2, que los epífitos con el valor más alto de absorbancia de estos contaminantes fueron: *Fabronia ciliaris* representante de las briófitas y *Heterodermia leucomelos* como especie de liquen. Confirmando lo expresado por (Matamoras, 2017, p.8-19) en su estudio donde describe la capacidad que tienen los biomonitores para absorber contaminantes del entorno donde se encuentran y generando datos fiables de la contaminación existente.

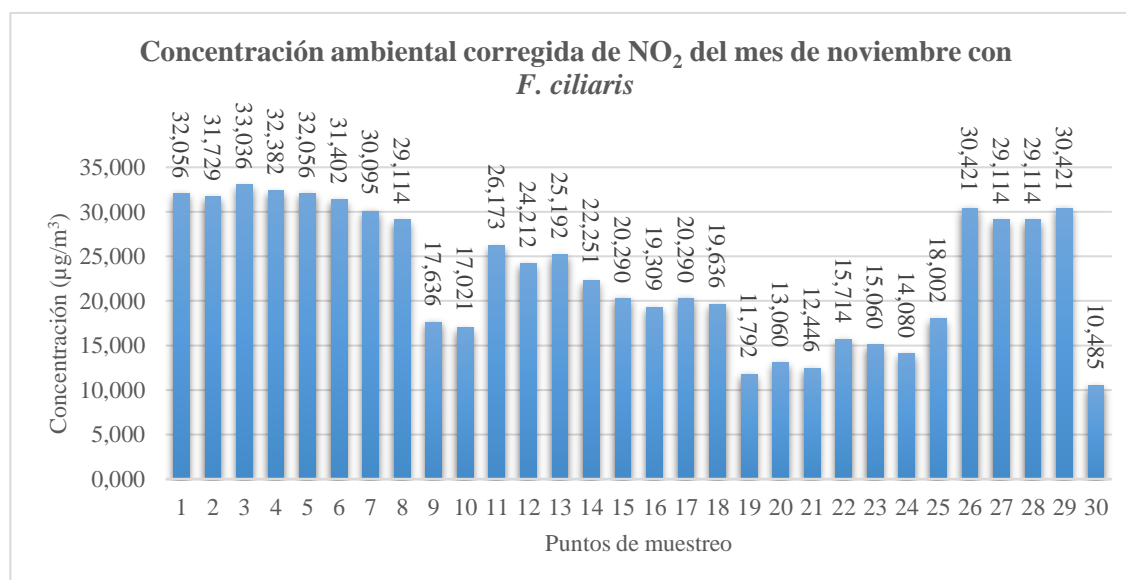
**Tabla 3-2:** Especies recolectadas en el bosque nativo Bacún - Chunchi - Chimborazo.

Código	Epífito	Nombre	NO <sub>2</sub> Absorbancia 540 (nm)	SO <sub>2</sub> Absorbancia 570 (nm)
L1	Liquen	<i>Usnea laevis</i>	0,434	0,302
L2	Liquen	<i>Heterodermia leucomelos</i>	0,484	0,425
L3	Liquen	<i>Parmotrema arnoldii</i>	0,465	0,363
B1	Briófita	<i>Breutelia tomentosa</i>	0,504	0,201
B2	Briófita	<i>Bazzania hookeri</i>	0,323	0,319
B3	Briófita	<i>Fabronia ciliaris</i>	0,959	0,525
B4	Briófita	<i>Lepidozia reptans</i>	0,424	0,424

Realizado por: Ojeda C., 2023.

### 3.4. Concentraciones ambientales obtenidas con *F. ciliaris*

#### 3.4.1. Variación de la concentración ambiental corregida de NO<sub>2</sub> del mes de noviembre con *F. ciliaris*



**Ilustración 3-1:** Concentración ambiental corregida de NO<sub>2</sub> de noviembre con *F. ciliaris*

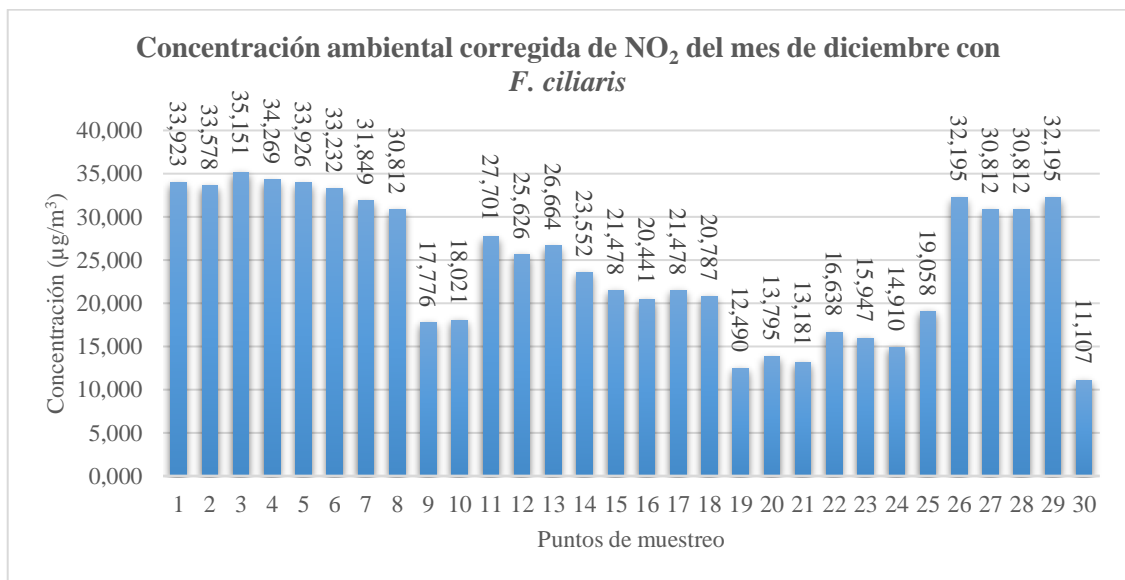
Realizado por: Ojeda C., 2023.

En el Gráfico 3-1 se muestran los valores arrojados en el análisis mediante espectrofotometría y cálculo de concentración de contaminantes en cuanto a NO<sub>2</sub> captados con la especie *F. ciliaris* correspondiente al mes de Noviembre de 2022 en la zona urbana del cantón Chunchi, las concentración ambiental registrada comprende los valores de 10,485 µg/m<sup>3</sup> obtenida en el punto de monitoreo 30; hasta un valor de 33,036 µg/m<sup>3</sup> que corresponde al punto 3 siendo este el valor más alto registrado de dióxido de nitrógeno.

La concentración de NO<sub>2</sub> en el ambiente es variable, como en los puntos 19, 20, 21 y 30 se registran los valores más bajos de exposición debido a la ubicación alejada que tienen de las fuentes de emisión de dióxido de nitrógeno. Los puntos de monitoreo 9, 10, 15, 16, 17, 18, 22, 23, 24 y 25 registran valores intermedios alcanzados de concentración de NO<sub>2</sub>.

Los puntos restantes tienen los valores más altos captados debido al punto donde están localizados los muestreadores, comprendiendo zonas que abarcan la carretera Panamericana – Troncal de la Sierra y la calle Bermeo Vallejo, donde existe gran afluencia de tráfico vehicular, tanto de buses (cantonales e interprovinciales) como de vehículos livianos particulares y privados, teniendo relación el estudio realizado por (Cueva, 2017, p.50) donde explica que una de las fuentes generadoras de contaminación atmosférica es el transporte automotor, lo que constata en este estudio que el transporte vehicular en el área de estudio es la fuente de generación de dióxido de nitrógeno.

**3.4.2. Variación de la concentración ambiental corregida de NO<sub>2</sub> del mes de diciembre con *F. ciliaris***



**Ilustración 3-2:** Concentración ambiental corregida de NO<sub>2</sub> de diciembre con *F. ciliaris*  
**Realizado por:** Ojeda C., 2023.

En el Gráfico 3-2 se encuentran los datos de la cantidad de microgramos por cada metro cúbico de NO<sub>2</sub> registrados durante el mes de diciembre de 2022, a través de esto se demuestra una variación en relación con el mes de noviembre, dando valores que van desde los más bajos como 11,107 µg/m<sup>3</sup> hasta el más alto como 35,151 µg/m<sup>3</sup>. Siendo el punto 30 con el de menor valor y el punto 3 con el máximo.



3.4.3. Concentración promedio ambiental de NO<sub>2</sub> con *F. ciliaris*

Tabla 3-3: Concentración de dióxido de nitrógeno analizadas con *F. ciliaris*

Punto de muestreo	Concentración ambiental corregida de NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )		
	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	PROMEDIO
1	32,056	33,923	32,989
2	31,729	33,578	32,653
3	33,036	35,151	34,094
4	32,382	34,269	33,326
5	32,056	33,926	32,991
6	31,402	33,232	32,317
7	30,095	31,849	30,972
8	29,114	30,812	29,963
9	17,636	17,776	17,706
10	17,021	18,021	17,521
11	26,173	27,701	26,937
12	24,212	25,626	24,919
13	25,192	26,664	25,928
14	22,251	23,552	22,901
15	20,290	21,478	20,884
16	19,309	20,441	19,875
17	20,290	21,478	20,884
18	19,636	20,787	20,211
19	11,792	12,490	12,141
20	13,060	13,795	13,428
21	12,446	13,181	12,813
22	15,714	16,638	16,176
23	15,060	15,947	15,504
24	14,080	14,910	14,495
25	18,002	19,058	18,530
26	30,421	32,195	31,308
27	29,114	30,812	29,963
28	29,114	30,812	29,963
29	30,421	32,195	31,308
30	10,485	11,107	10,796

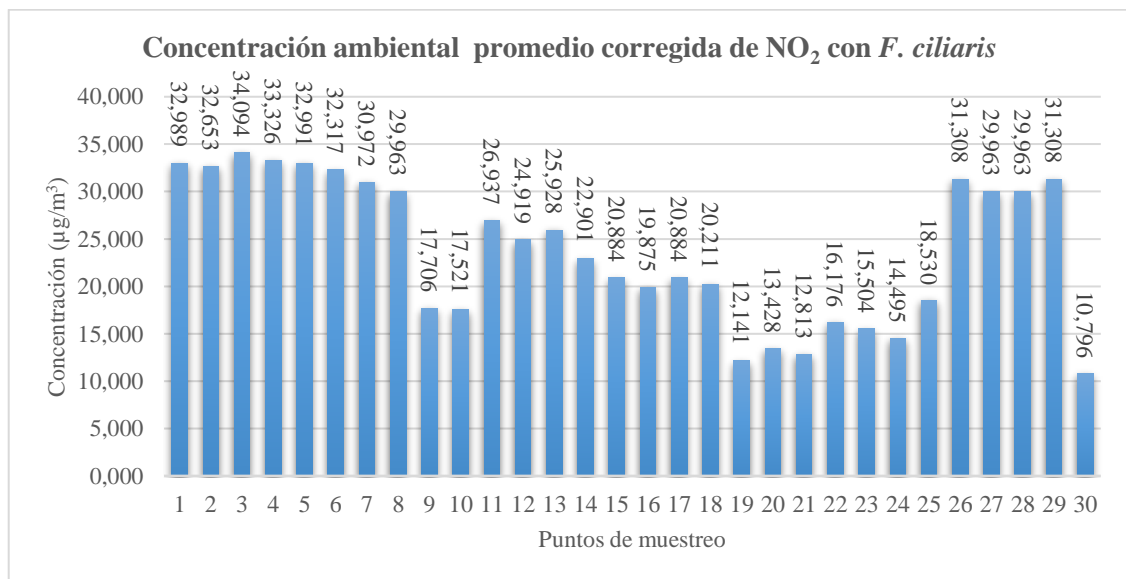
Realizado por: Ojeda C., 2023.

En el punto 9 no existió variación significativa de la concentración. La concentración en el resto de los puntos aumentó notablemente por el incremento del tráfico vehicular que se presentó durante la temporada en la que se realizó el monitoreo, comprobando así que capacidad de absorción de NO<sub>2</sub> es proporcional a la concentración presente en el ambiente. Como explica (González, 2018, p.68) en el estudio realizado con biomonitores los resultados favorables de la capacidad de absorción y acumulación de contaminantes atmosféricos.

La Tabla 3-3 presenta las concentraciones de NO<sub>2</sub> analizadas en los puntos de monitoreo empleando especies biológicas, los datos de esta tabla fueron obtenidos a través de la especie *F. ciliaris* utilizada durante el periodo noviembre - diciembre 2022 para la zona urbana del cantón Chunchi. Los valores promedio obtenidos en este tiempo van desde 10,796 µg/m<sup>3</sup> hasta 34,094 µg/m<sup>3</sup>, registrados en los puntos 30 siendo el mínimo y 3 como el máximo para las concentraciones de dióxido de nitrógeno. El punto de monitoreo 30 el valor más bajo de la tabla ya que su ubicación es muy remota a los lugares de emisión de contaminantes.

#### 3.4.4. Variación de la concentración ambiental promedio corregida de NO<sub>2</sub> con *F. ciliaris*

Expresando de forma gráfica la Tabla 3-3 generada con los datos de los dos meses que se tomó para el estudio utilizando biomonitores para medir la concentración de contaminantes atmosféricos arrojan los siguientes datos del Gráfico 3-3:

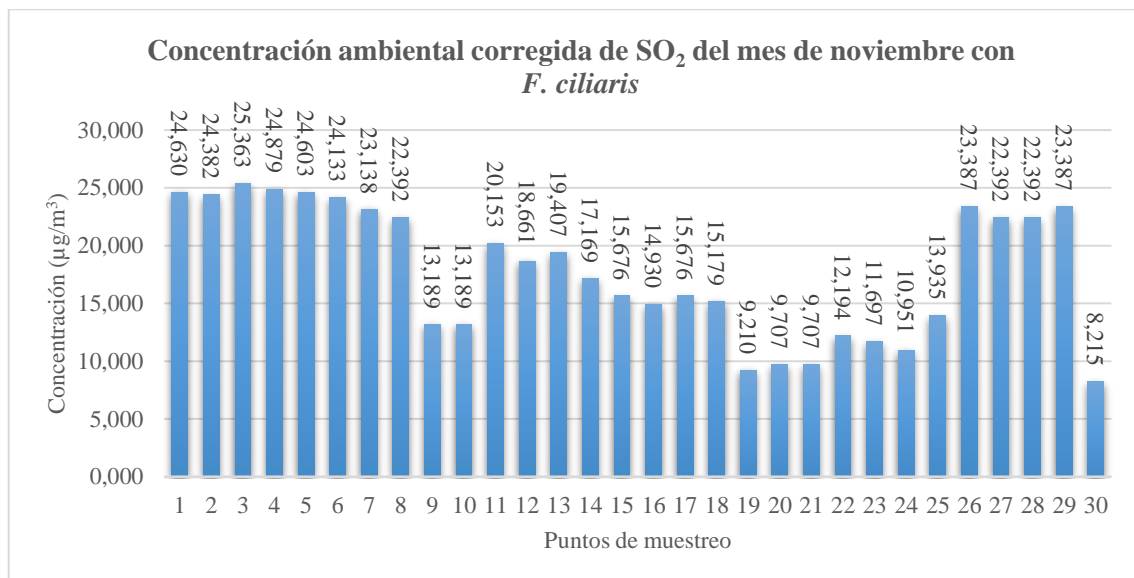


**Ilustración 3-3:** Concentración ambiental promedio corregida de NO<sub>2</sub> con *F. ciliaris*  
**Realizado por:** Ojeda C., 2023.

En el Gráfico 3-3 se encuentran plasmadas las concentraciones promedio de cada punto establecido durante el monitoreo en el periodo de noviembre y diciembre. Se puede observar en

la gráfica que en los puntos 19, 21 y 30 se encuentran los valores de concentración más bajos partiendo desde los 10,796  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , por el contrario, también encontramos los valores más altos de concentración hasta de 34,094  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en los puntos 3, 4 y 5. Del mismo modo acontece en el estudio realizado por (Fonseca, 2021, p.55) donde se muestra una concentración elevada de  $\text{NO}_2$  en aquellos puntos de monitoreo donde frecuentemente transitan vehículos automotores. En el periodo establecido para el monitoreo en el punto 9 no existió una variación significativa, teniendo como dato del mes de noviembre una concentración de 17,636  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y en el mes de diciembre 17,776  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

### 3.4.5. Variación de la concentración ambiental corregida de $\text{SO}_2$ del mes de noviembre con *F. ciliaris*



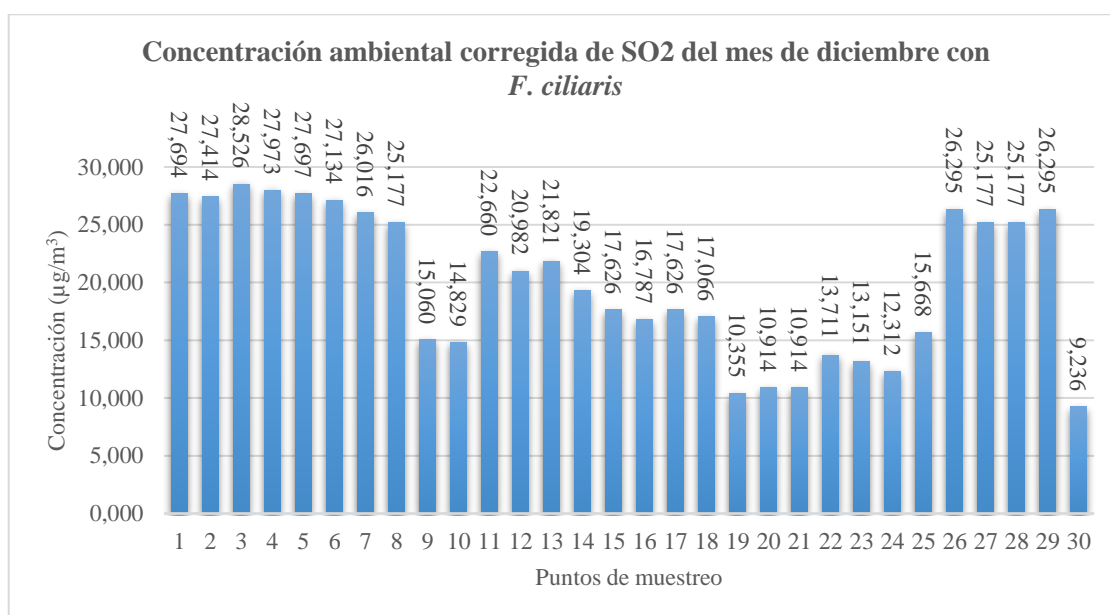
**Ilustración 3-4:** Concentración ambiental corregida de  $\text{SO}_2$  de noviembre con *F. ciliaris*  
Realizado por: Ojeda C., 2023.

En el Gráfico 3-4 se muestran los valores arrojados en el análisis mediante espectrofotometría y cálculo de concentración de contaminantes en cuanto a  $\text{SO}_2$  captados con la especie *F. ciliaris* correspondiente al mes de noviembre de 2022 en el sector urbano de la parroquia Chunchi, las concentración ambiental registrada comprende valores desde 8,215  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  obtenida en el punto de monitoreo 30, hasta un valor de 25,363  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  que corresponde al punto 3 siendo este el valor más alto registrado de dióxido de azufre.

La concentración de  $\text{SO}_2$  en el ambiente es variable, como en los puntos 19, 20, 21 y 30 se registran los valores más bajos de exposición debido a que se encuentra en una ubicación alejada de las fuentes de emisión de dióxido de azufre. Los puntos de monitoreo 9, 10, 15, 16, 17, 18, 22, 23, 24 y 25 se encuentran en un rango intermedio de concentración de  $\text{SO}_2$ . En los puntos 9 y 10

existe una similitud de datos, captando la misma concentración durante el mes de noviembre de  $13,189 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Los puntos restantes obtuvieron los registros más altos captados debido al punto donde están localizados los muestreadores, comprendiendo zonas que abarcan la carretera Panamericana – Troncal de la Sierra y la calle Bermeo Vallejo, donde existe gran afluencia de tráfico vehicular, tanto de buses (cantonales e interprovinciales) como de vehículos livianos particulares y privados. Demostrando la relación que tiene la alta concentración de contaminantes atmosféricos en lugares donde existe alta congestión y circulación vehicular como lo manifiesta (Fonseca, 2021, p.59) en su estudio realizado con briófitas.

### 3.4.6. Variación de la concentración ambiental corregida de $\text{SO}_2$ del mes de diciembre con *F. ciliaris*



**Ilustración 3-5:** Concentración ambiental corregida de  $\text{SO}_2$  de diciembre con *F. ciliaris*  
Realizado por: Ojeda C., 2023.

En el Gráfico 3-5 se encuentran los datos de la cantidad de microgramos por cada metro cúbico de  $\text{SO}_2$  registrados durante el mes de diciembre de 2022, encontrándose valores que van desde los más bajos como  $9,236 \mu\text{g}/\text{m}^3$  hasta el más alto como  $28,526 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Siendo el punto 30 con el de menor valor y el punto 3 con el máximo. De la misma manera que en el estudio realizado por (Noriega, 2008, p.4) utilizando briófitas para absorber polutantes atmosféricos como en este caso el dióxido de azufre.

Se registra un aumento en los valores de concentración en comparación al mes anterior, esto se debe a una mayor afluencia de tráfico vehicular dentro de la ciudad que se presentó durante la

temporada en la que se realizó el monitoreo, se observó que la concentración en el biomonitor es directamente proporcional a la concentración presente en el ambiente.

### 3.4.7. Concentración promedio ambiental de SO<sub>2</sub> con *F. ciliaris*

**Tabla 3-4:** Concentraciones de dióxido de azufre analizadas con *F. ciliaris*

Punto de muestreo	Concentración ambiental corregida de SO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )		
	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	PROMEDIO
1	24,630	27,694	26,162
2	24,382	27,414	25,898
3	25,363	28,526	26,944
4	24,879	27,973	26,426
5	24,603	27,697	26,150
6	24,133	27,134	25,634
7	23,138	26,016	24,577
8	22,392	25,177	23,784
9	13,189	15,060	14,125
10	13,189	14,829	14,009
11	20,153	22,660	21,407
12	18,661	20,982	19,821
13	19,407	21,821	20,614
14	17,169	19,304	18,236
15	15,676	17,626	16,651
16	14,930	16,787	15,859
17	15,676	17,626	16,651
18	15,179	17,066	16,123
19	9,210	10,355	9,782
20	9,707	10,914	10,310
21	9,707	10,914	10,310
22	12,194	13,711	12,952
23	11,697	13,151	12,424
24	10,951	12,312	11,631
25	13,935	15,668	14,802
26	23,387	26,295	24,841
27	22,392	25,177	23,784

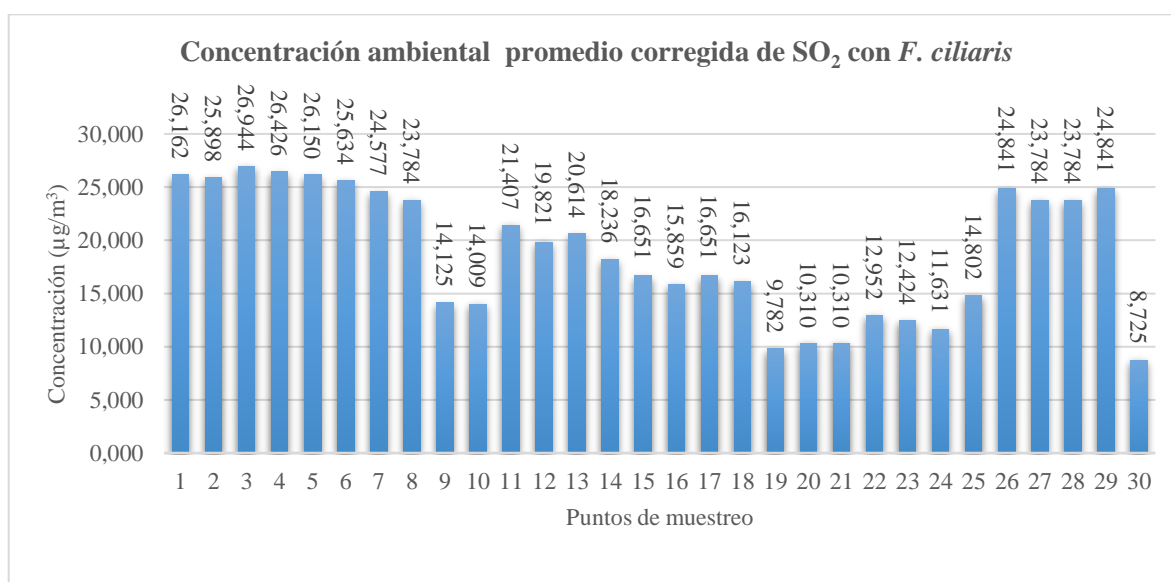
<b>28</b>	22,392	25,177	23,784
<b>29</b>	23,387	26,295	24,841
<b>30</b>	8,215	9,236	8,725

Realizado por: Ojeda C., 2023.

La Tabla 3-4 presenta las concentraciones de SO<sub>2</sub> analizadas en los puntos de monitoreo empleando especies biológicas, los datos de esta tabla fueron obtenidos a través de la especie *F. ciliaris* utilizada durante el periodo noviembre - diciembre 2022 para la zona urbana de la cabecera cantonal Chunchi. Los valores promedio obtenidos en este tiempo van desde 8,725 µg/m<sup>3</sup> hasta 26,944 µg/m<sup>3</sup>, registrados en los puntos 30 siendo el mínimo y 3 como el máximo para las concentraciones de Dióxido de Azufre. El punto de monitoreo 30 posee el valor de concentración más bajo de la tabla ya que su ubicación es muy remota a los lugares de emisión de contaminantes y de tránsito vehicular.

### 3.4.8. Variación de la concentración ambiental promedio corregida de SO<sub>2</sub> con *F. ciliaris*

Representando de forma gráfica la Tabla 3-4 generada con los datos de los meses que se tomó para el estudio utilizando *F. ciliaris* para medir la concentración de Dióxido de Azufre presente en el ambiente arrojan los siguientes datos del Gráfico 3-6:



**Ilustración 3-6:** Concentración ambiental promedio corregida de SO<sub>2</sub> con *F. ciliaris*

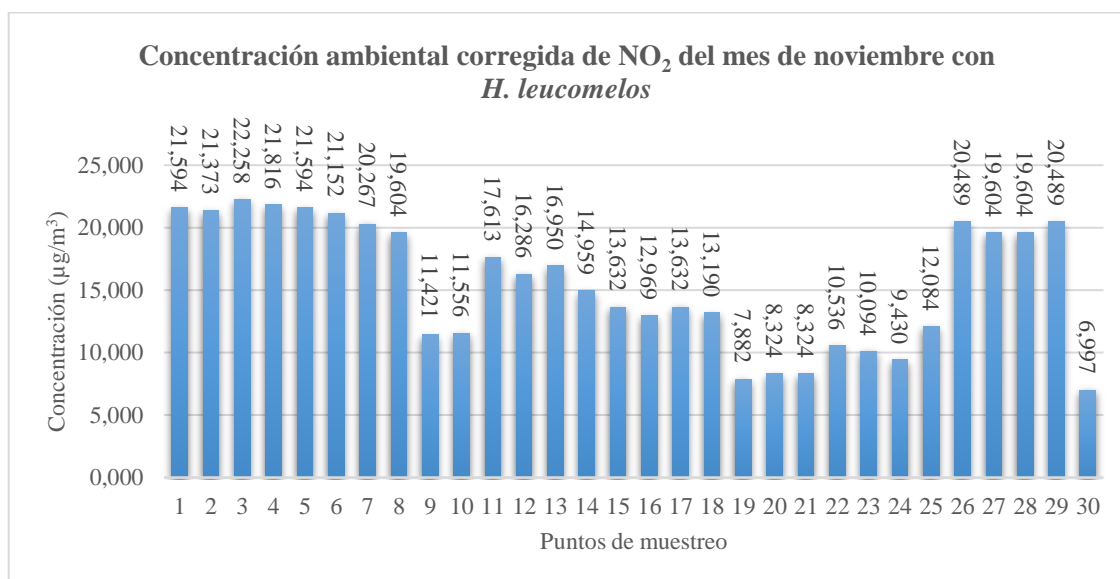
Realizado por: Ojeda C., 2023.

En el Gráfico 3-6 se encuentran plasmadas las concentraciones promedio de cada uno de los puntos establecidos para el monitoreo en el periodo de noviembre y diciembre. Se puede observar en la gráfica que en los puntos 19, 20, 21 y 30 se encuentran los valores de concentración más

bajos partiendo desde los 10,796  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  del punto 30, en los puntos 20 y 21 obtuvieron un promedio de concentración igual con 10,310  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Por el contrario, también encontramos los valores más altos de concentración hasta de 26,944  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en el punto 3 seguidos de los puntos 1, 4 y 5 con valores menores. En el periodo establecido para el monitoreo en los puntos 27 y 28 se registra un valor de 23,784  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para ambos promedios. A través del uso de *F. ciliaris* en este estudio se puede demostrar que al implementar especies biológicas se obtienen datos fiables de concentraciones de  $\text{SO}_2$  presente en el ambiente como lo explica (González, 2018, p.68) realizando monitoreos en puntos estratégicos.

### 3.5. Concentraciones ambientales obtenidas con *H. leucomelos*

#### 3.5.1. Variación de la concentración ambiental corregida de $\text{NO}_2$ del mes de noviembre con *H. leucomelos*



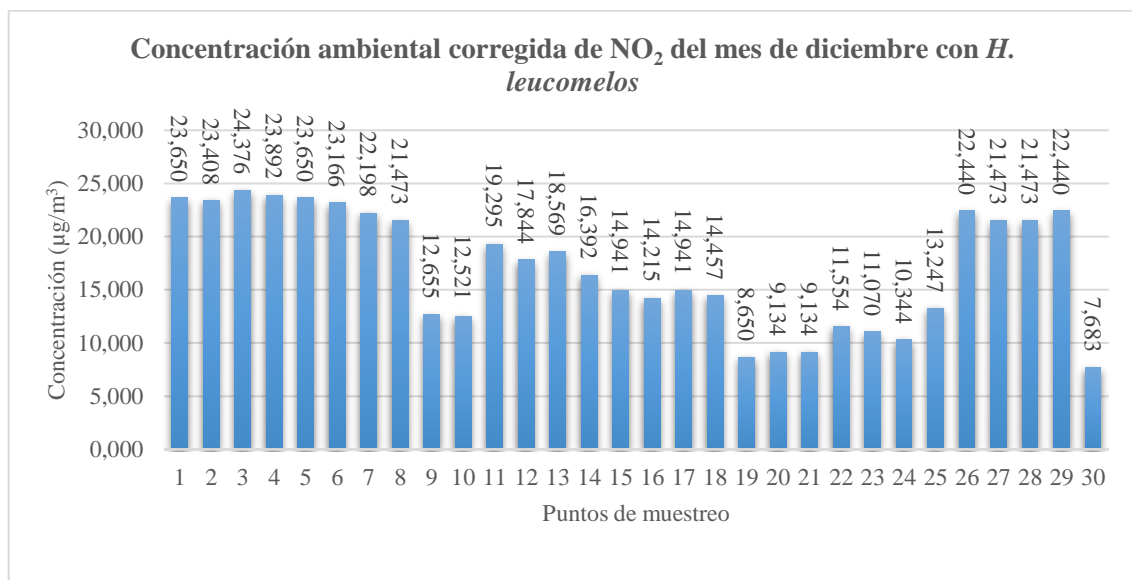
**Ilustración 3-7:** Concentración ambiental corregida de  $\text{NO}_2$  de noviembre con *H. leucomelos*  
**Realizado por:** Ojeda C., 2023.

En el Gráfico 3-7 se muestran los valores arrojados en el análisis mediante espectrofotometría y cálculo de concentración de contaminantes en cuanto a  $\text{NO}_2$  captados con la especie *H. leucomelos* correspondiente al mes de noviembre de 2022 en la ciudad de Chunchi, las concentraciones registradas comprenden los valores desde 6,997  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  obtenida en el punto de monitoreo 30; hasta un valor de 22,258  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  que corresponde al punto 3 siendo este el valor más alto registrado de dióxido de nitrógeno.

La concentración de  $\text{NO}_2$  en el ambiente es variable, en los puntos 19-21 y 30 se registran los valores más bajos de exposición debido a su ubicación. Los puntos de monitoreo 9, 10, 15-18 y 22-25 registran valores intermedios alcanzados de concentración de  $\text{NO}_2$ .

Los puntos restantes tienen los valores más altos captados debido al punto donde están localizados los muestreadores, los puntos 1-6 se encuentran ubicadas en la carretera panamericana Troncal Sierra y los puntos 7, 8 y 26-29 se encuentran en la calle Bermeo Vallejo que son vías de alto tráfico vehicular tanto local como visitante y de paso ya que estas vías conectan el Norte con el Sur del país, teniendo concordancia por lo descrito en el estudio realizado por (Bermeo y Vega, 2018, p.50) donde se expresa que existe una variación en las concentraciones dependiendo del lugar donde se encuentre ubicado el punto de monitoreo.

### 3.5.2. Variación de la concentración ambiental corregida de NO<sub>2</sub> del mes de diciembre con *H. leucomelos*



**Ilustración 3-8:** Concentración ambiental corregida de NO<sub>2</sub> de diciembre con *H. leucomelos*  
**Realizado por:** Ojeda C., 2023.

En el Gráfico 3-8 se encuentran los datos de la cantidad de microgramos por cada metro cúbico de NO<sub>2</sub> registrados durante el mes de diciembre de 2022, se manifiesta un incremento en relación con el mes anterior, registrando valores que van desde los 7,683 µg/m<sup>3</sup> en el punto 30 siendo el mínimo obtenido seguido del punto 19 con 8,650 µg/m<sup>3</sup>, por otro lado, tenemos el valor más alto en el punto 3 con 24,376 µg/m<sup>3</sup>. El incremento de los valores de concentración fue directamente influenciado por el aumento del tráfico vehicular durante este mes, según el estudio llevado a cabo por (González, 2018, p.68) donde emplea especies de líquenes para determinar la calidad atmosférica, demostrando su efectividad para absorber dióxido de nitrógeno presente en el aire.



### 3.5.3. Concentración promedio ambiental de NO<sub>2</sub> con *H. leucomelos*

Tabla 3-5: Concentraciones de dióxido de nitrógeno analizadas con *H. leucomelos*

Punto de muestreo	Concentración ambiental corregida de NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )		
	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	PROMEDIO
1	21,594	23,650	22,622
2	21,373	23,408	22,391
3	22,258	24,376	23,317
4	21,816	23,892	22,854
5	21,594	23,650	22,622
6	21,152	23,166	22,159
7	20,267	22,198	21,233
8	19,604	21,473	20,538
9	11,421	12,655	12,038
10	11,556	12,521	12,039
11	17,613	19,295	18,454
12	16,286	17,844	17,065
13	16,950	18,569	17,760
14	14,959	16,392	15,676
15	13,632	14,941	14,286
16	12,969	14,215	13,592
17	13,632	14,941	14,286
18	13,190	14,457	13,823
19	7,882	8,650	8,266
20	8,324	9,134	8,729
21	8,324	9,134	8,729
22	10,536	11,554	11,045
23	10,094	11,070	10,582
24	9,430	10,344	9,887
25	12,084	13,247	12,666
26	20,489	22,440	21,464
27	19,604	21,473	20,538
28	19,604	21,473	20,538
29	20,489	22,440	21,464

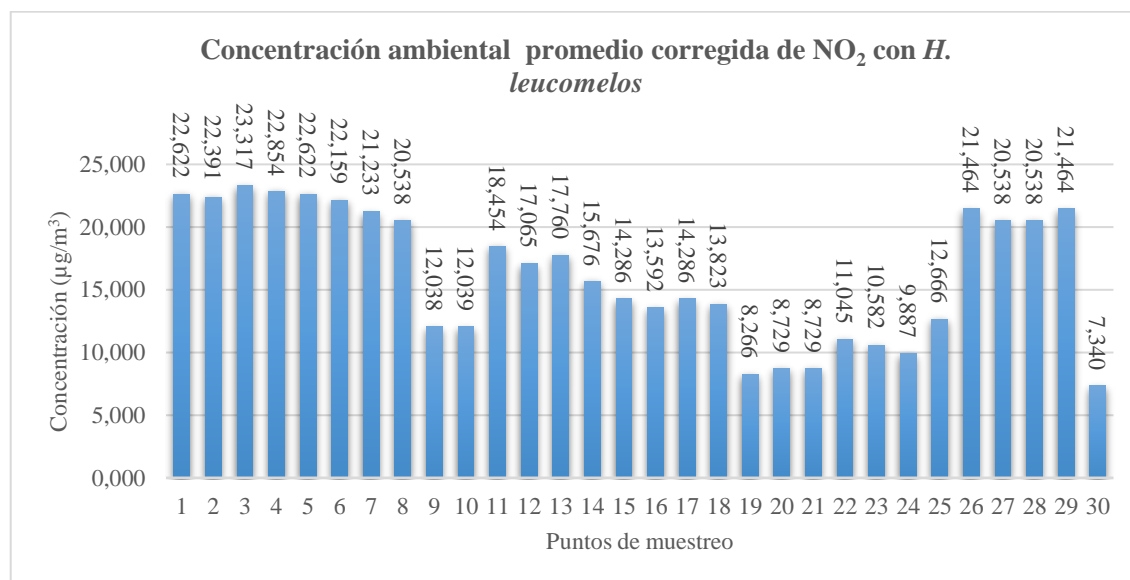
30	6,997	7,683	7,340
----	-------	-------	-------

Realizado por: Ojeda C., 2023.

La Tabla 3-5 presenta las concentraciones de NO<sub>2</sub> analizadas en los puntos de monitoreo empleando especies biológicas, los datos de esta tabla fueron obtenidos a través de la especie *H. leucomelos* utilizada durante el periodo de estudio por tener una mayor capacidad de absorción de contaminantes atmosféricos. Los valores promedio obtenidos en este tiempo están en el rango de 7,340 µg/m<sup>3</sup> hasta 23,317 µg/m<sup>3</sup>, registrados en los puntos de monitoreo, obteniendo el punto 30 el valor mínimo y el 3 con el máximo para las concentraciones de Dióxido de Nitrógeno. Los puntos 12 y 13 alcanzan también valores elevados ya que se encuentran ubicados en las calles Abdón Calderón y Simón Bolívar alrededor del parce central Velasco Ibarra en el corazón de la ciudad.

### 3.5.4. Variación de la concentración ambiental promedio corregida de NO<sub>2</sub> con *H. leucomelos*

Expresando de forma gráfica la Tabla 3-5 generada con los datos de los meses noviembre y diciembre de 2022 que se tomó para el estudio utilizando biomonitores para medir la concentración de contaminantes atmosféricos, arrojan los siguientes datos del Gráfico 3-9:



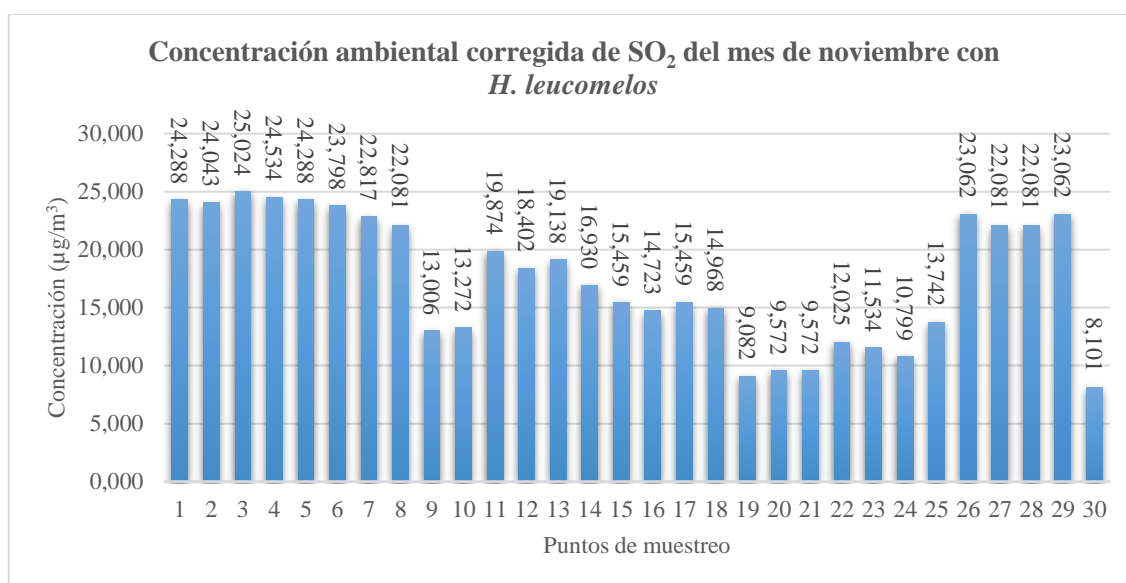
**Ilustración 3-9:** Concentración ambiental promedio corregida de NO<sub>2</sub> con *H. leucomelos*  
Realizado por: Ojeda C., 2023.

En el Gráfico 3-9 se encuentran plasmadas las concentraciones promedio de cada punto establecido durante el monitoreo en los dos meses. Se puede observar en los puntos 19-21 y 30 se encuentran los valores de concentración más bajos partiendo desde los 7,340 µg/m<sup>3</sup>, por el

contrario, también encontramos los valores más altos de concentración hasta de 23,317  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  registrado en el punto 3, en los puntos 4 y 5 son consecuentes al máximo obtenido.

Como describe (García, 2018, p.50) los vehículos de combustión interna son una de las fuentes principales de generación de dióxido de nitrógeno, alrededor del 5 al 10% de  $\text{NO}_x$  que se emite a la atmósfera le corresponde al  $\text{NO}_2$ .

### 3.5.5. Variación de la concentración ambiental corregida de $\text{SO}_2$ del mes de noviembre con *H. leucomelos*



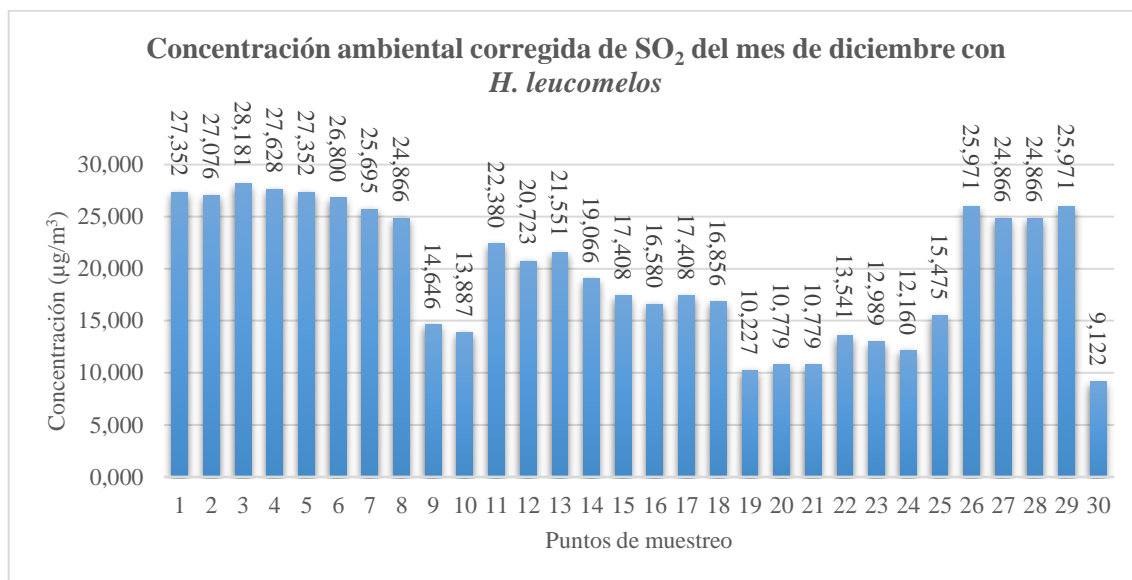
**Ilustración 3-10:** Concentración ambiental corregida de  $\text{SO}_2$  de noviembre con *H. leucomelos*  
**Realizado por:** Ojeda C., 2023.

En el Gráfico 3-10 se muestran los valores arrojados en el análisis mediante espectrofotometría y cálculo de concentración de contaminantes en cuanto a  $\text{SO}_2$  captados con la especie *H. leucomelos* correspondiente al mes de noviembre de 2022 en el sector urbano de la parroquia Chunchi, las concentración ambiental registrada comprende valores desde 8,101  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  obtenida en el punto de monitoreo 30, siendo este el valor mínimo obtenido, hasta una concentración de 25,363  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  que corresponde al punto 3 siendo este el valor más alto registrado de dióxido de azufre.

La concentración de  $\text{SO}_2$  en los puntos 19, 20 y 21 se incluyen en el rango de los valores más bajos de exposición debido a que se encuentra en una ubicación alejada de las fuentes de emisión de dióxido de azufre. Los puntos de monitoreo 1-8 y 26-29 se encuentran en un rango más alto de concentración de  $\text{SO}_2$ . Teniendo relación con la explicación de que las concentraciones de dióxido de azufre se dan por la oxidación del azufre, desprendido durante la combustión dentro de vehículos automotores, que entran en contacto con el oxígeno presente en el ambiente, descrito

en el estudio realizado por (Bermeo y Vega, 2018, p.55). En los puntos restantes se registran valores intermedios de concentración.

### 3.5.6. Variación de la concentración ambiental corregida de SO<sub>2</sub> del mes de diciembre con *H. leucomelos*



**Ilustración 3-11:** Concentración ambiental corregida de SO<sub>2</sub> de diciembre con *H. leucomelos*  
Realizado por: Ojeda C., 2023.

En el Gráfico 3-11 se encuentran los datos de la cantidad de microgramos de SO<sub>2</sub> por cada metro cúbico de aire ambiente registrados durante el mes de diciembre de 2022, encontrándose valores que van desde los más bajos como 9,122 µg/m<sup>3</sup> hasta el más alto como 28,181 µg/m<sup>3</sup>. Siendo el punto 30 con el de menor valor y el punto 3 con el máximo correspondientemente. Los puntos 19, 20 y 21 tuvieron un aumento en la concentración que alcanzaron los 10 µg/m<sup>3</sup>. Según el estudio de (Cueva, 2017, p.55) los datos de las concentraciones obtenidos cambian debido a que el dióxido de azufre se produce de acuerdo con la presencia del tráfico vehicular. Se obtiene las mismas variaciones en este estudio ya que registra un aumento en los valores de concentración en comparación al mes anterior como se presenta en la tabla 3-6, esto se debe a una mayor afluencia de tráfico vehicular dentro de la ciudad que se presentó durante la temporada en la que se realizó el monitoreo, se observó que la concentración en el biomonitor es directamente proporcional a la concentración presente en el ambiente.

3.5.7. *Concentración promedio ambiental de SO<sub>2</sub> con H. leucomelos*

**Tabla 3-6:** Concentraciones de dióxido de azufre analizadas con *H. leucomelos*

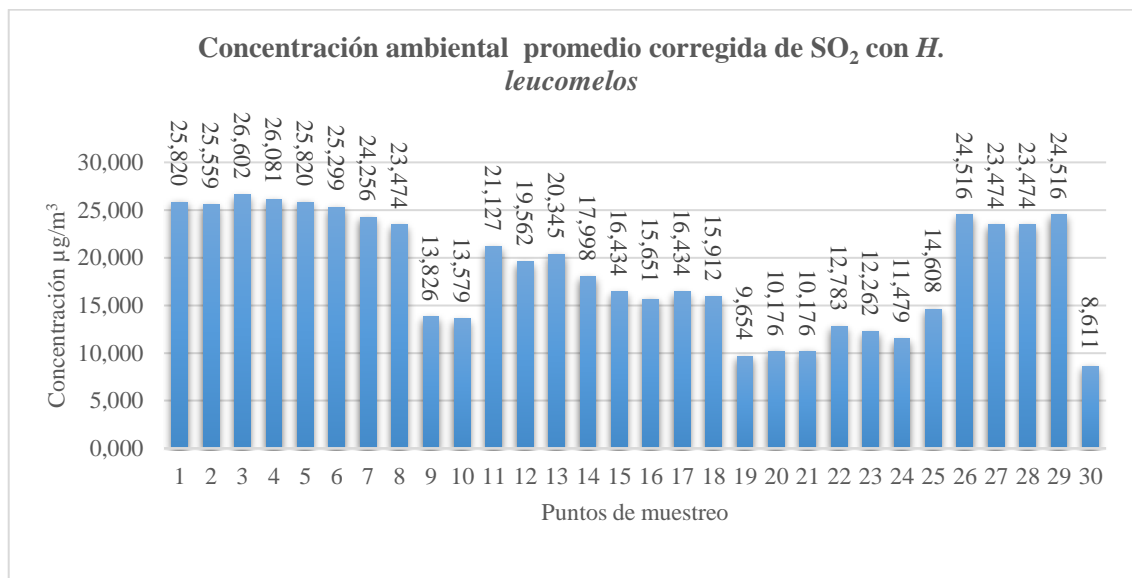
Punto de muestreo	Concentración ambiental corregida de SO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )		
	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	PROMEDIO
1	24,288	27,352	25,820
2	24,043	27,076	25,559
3	25,024	28,181	26,602
4	24,534	27,628	26,081
5	24,288	27,352	25,820
6	23,798	26,800	25,299
7	22,817	25,695	24,256
8	22,081	24,866	23,474
9	13,006	14,646	13,826
10	13,272	13,887	13,579
11	19,874	22,380	21,127
12	18,402	20,723	19,562
13	19,138	21,551	20,345
14	16,930	19,066	17,998
15	15,459	17,408	16,434
16	14,723	16,580	15,651
17	15,459	17,408	16,434
18	14,968	16,856	15,912
19	9,082	10,227	9,654
20	9,572	10,779	10,176
21	9,572	10,779	10,176
22	12,025	13,541	12,783
23	11,534	12,989	12,262
24	10,799	12,160	11,479
25	13,742	15,475	14,608
26	23,062	25,971	24,516
27	22,081	24,866	23,474
28	22,081	24,866	23,474
29	23,062	25,971	24,516
30	8,101	9,122	8,611

Realizado por: Ojeda C., 2023.

La Tabla 3-6 presenta las concentraciones de SO<sub>2</sub> analizadas en los puntos de monitoreo empleando especies biológicas, los datos de esta tabla fueron obtenidos a través de la especie *H. leucomelos* utilizada durante el periodo noviembre - diciembre 2022 para la zona urbana de la cabecera cantonal Chunchi. Los valores promedio obtenidos en este tiempo van desde 8,611 µg/m<sup>3</sup> hasta 26,602 µg/m<sup>3</sup>, registrados en los puntos 30 siendo el mínimo y 3 como el máximo para las concentraciones de Dióxido de Azufre. El punto de monitoreo 30 posee el valor de concentración más bajo de la tabla ya que su ubicación es muy remota a los lugares de emisión de contaminantes y de tránsito vehicular.

### 3.5.8. Variación de la concentración ambiental promedio corregida de SO<sub>2</sub> con *H. leucomelos*

Expresando de forma gráfica la Tabla 3-5 generada con los datos de los meses de noviembre y diciembre tomados para el estudio utilizando biomonitores para medir la concentración de contaminantes atmosféricos arrojan los siguientes datos del Gráfico 3-12:



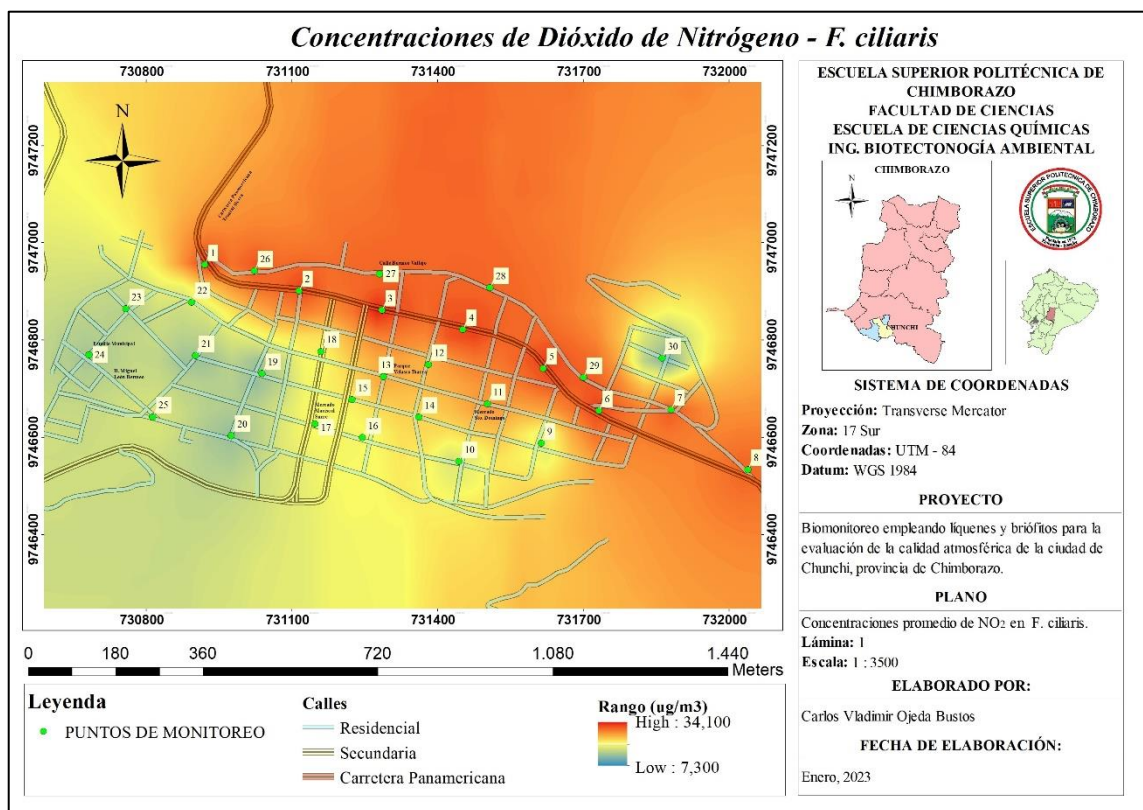
**Ilustración 3-12:** Concentración ambiental promedio corregida de SO<sub>2</sub> con *H. leucomelos*  
**Realizado por:** Ojeda C., 2023.

En el Gráfico 3-12 se encuentran plasmadas las concentraciones promedio de cada uno de los puntos establecidos para el monitoreo en el periodo de noviembre y diciembre. Se puede observar en la gráfica que en los puntos 19, 20, 21 y 30 se encuentran los valores de concentración más bajos partiendo desde los 8,611 µg/m<sup>3</sup> del punto 30, en los puntos 20 y 21 obtuvieron un promedio de concentración igual con 10,176 µg/m<sup>3</sup>. Por el contrario, también encontramos los valores más altos de concentración hasta de 26,602 µg/m<sup>3</sup> en el punto 3 seguidos del punto 4 con una concentración de 26,081 µg/m<sup>3</sup>. Esto se debe que en la ubicación del punto 3 y 4 se encuentran

restaurantes donde se estaciones todo tipo de vehículos para obtener alimentación y realizar compras en locales cercanos, a su vez los buses de transporte público realizan entre estos puntos una parada donde recogen y descargan pasajeros. Corroborando lo expuesto por (Cueva, 2017, p.55) que obtiene resultados variables de dióxido de azufre dependiendo del lugar de muestreo, teniendo mayores concentraciones donde existe mucho tránsito vehicular en el área de estudio para muestreo.

### 3.6. Dispersión de contaminantes NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> utilizando el software ArcGis

#### 3.6.1. Concentración final promedio de NO<sub>2</sub> con *F. ciliaris*



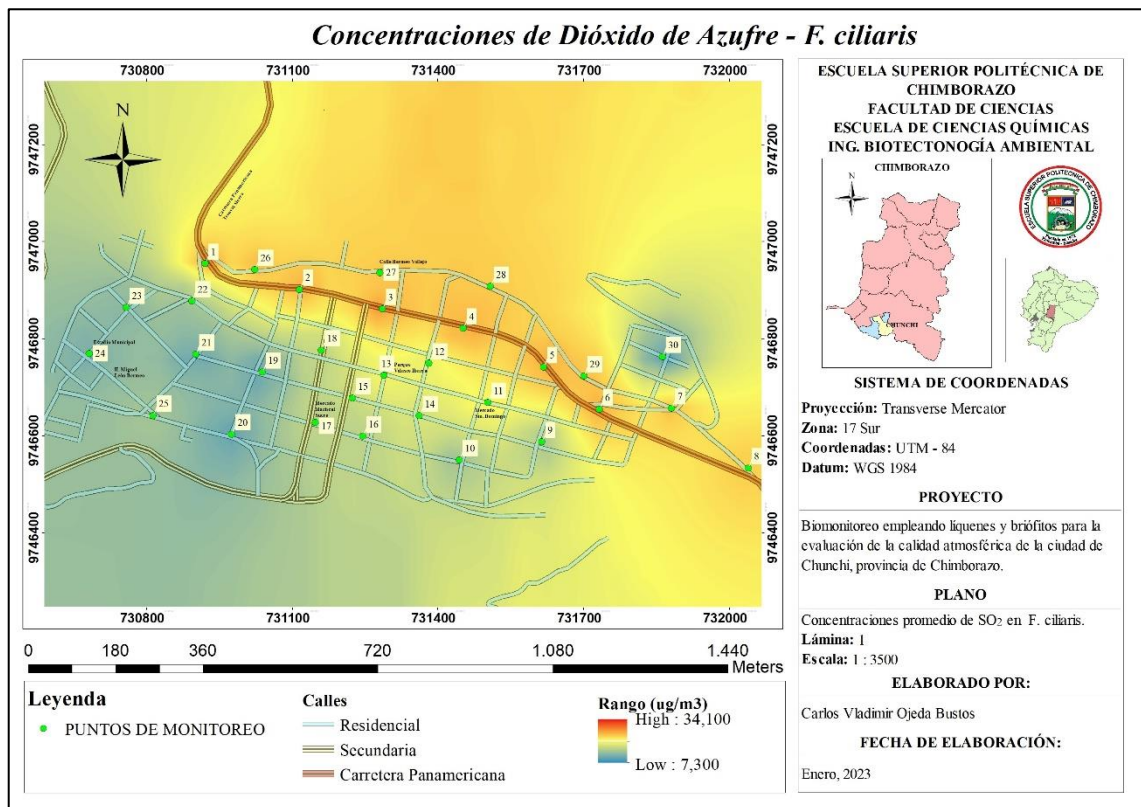
**Ilustración 3-13:** Concentraciones de NO<sub>2</sub> promedio analizadas con *F. ciliaris*

**Realizado por:** Ojeda C., 2023.

La Ilustración 3-1 a manera de mapa contiene las calles de la ciudad de Chunchi donde se visualiza las concentraciones promedio de NO<sub>2</sub> en el ambiente analizadas con *F. ciliaris* en los 30 puntos de monitoreo durante los meses de noviembre y diciembre del año 2022. De acuerdo con la cantidad de concentración registrada durante el estudio se estableció un rango de colores que van desde el naranja, amarillo hasta llegar al azul, donde el color naranja engloba a los valores máximos de concentración de dióxido de nitrógeno, el color amarillo una concentración media y en cuanto a la coloración azul interpreta sectores donde la concentración de NO<sub>2</sub> tiene los valores

más bajos del registro. Tomando en consideración la concentración promedio más alta (34,10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) y más baja (7,30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) registrada durante el estudio se caracterizó a los puntos 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 8 con mayor concentración de  $\text{NO}_2$  de color naranja rojizo, estos puntos están localizados a lo largo de la carretera Panamericana Troncal Sierra, los puntos 26, 27, 28, 29 y 7 ubicados en la calle Bermeo Vallejo y los puntos 11, 12, 13 y 14 ubicados alrededor del Parque central de la ciudad “Velasco Ibarra” y los 2 mercados que posee la ciudad presentan un naranja claro. El color amarillo le corresponde los puntos 9, 10, 15, 16, 17, 18 y 22 por ser estos, sectores de poca recurrencia vehicular. Finalmente, el color azul fue asignado a los puntos 19, 20, 21, 23, 24, 25 y 30 donde la concentración de dióxido de nitrógeno es la más baja registrada con *F. ciliaris* para este caso, estos últimos puntos están siendo afectados por la incidencia de que existe en los puntos cercanos con una concentración mayor. Los datos obtenidos en este estudio son corroborados por el trabajo de (Pardo, 2019, p.43), que expresa que el sector vehicular es principalmente una fuente potencial de emisiones de contaminantes atmosféricas, entre los contaminantes producidos se encuentra el dióxido de nitrógeno.

### 3.6.2. Concentración final promedio de $\text{SO}_2$ con *F. ciliaris*

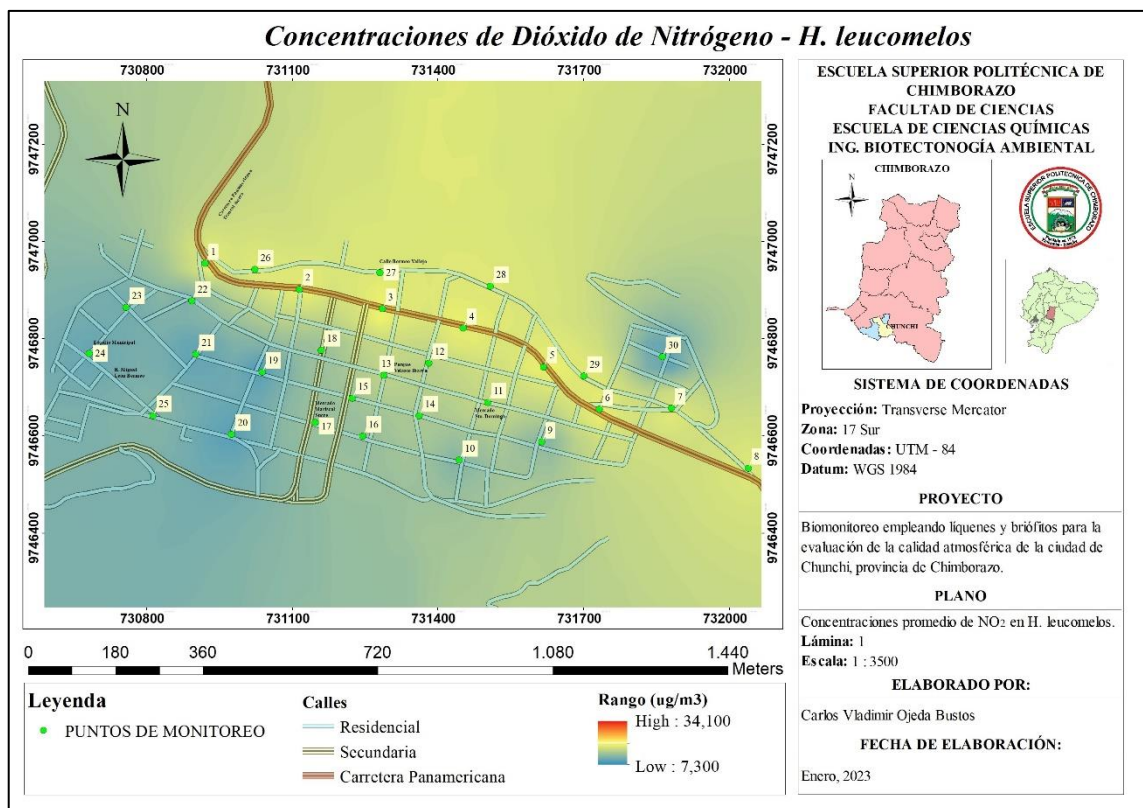


**Ilustración 3-14:** Concentraciones de  $\text{SO}_2$  promedio analizadas con *F. ciliaris*  
Realizado por: Ojeda C., 2023.



En la Ilustración 3-2 se visualizan las concentraciones promedio en el ambiente de SO<sub>2</sub> analizadas con *F. ciliaris* en los 30 puntos de monitoreo durante los meses de noviembre y diciembre del año 2022. De acuerdo con la cantidad de concentración registrada durante el estudio se representó la dispersión de dióxido de nitrógeno en el estudio solo de obtuvo coloración naranja claro, amarilla y azul designado para las concentraciones de dióxido de azufre altas, medias y bajas correspondientemente registradas en este estudio. Los puntos 1-8 y 26-29 tienen mayor concentración de NO<sub>2</sub>, confirmando el trabajo de (Cueva, 2017, p.50) que especifica que, el dióxido de nitrógeno tiene relación con el tráfico vehicular, dado que los medios de transporte emiten una gran cantidad de contaminantes al aire, por esta razón tienen asignada la coloración naranja claro, estos puntos están localizados a lo largo de la carretera Panamericana Troncal Sierra que atraviesa toda la ciudad y la calle Bermeo Vallejo. El color amarillo les corresponde a los puntos del 11 al 18 correspondientes a las ubicaciones del Parque central de la ciudad “Velasco Ibarra” y a los 2 mercados que posee la ciudad. Los puntos 9, 10, 19 al 15 y 30 les corresponde la coloración azul, son sectores de escasa circulación vehicular y la concentración de dióxido de azufre es la más baja registrada con *H. leucomelos* para este caso.

### 3.6.3. Concentración final promedio de NO<sub>2</sub> con *H. leucomelos*

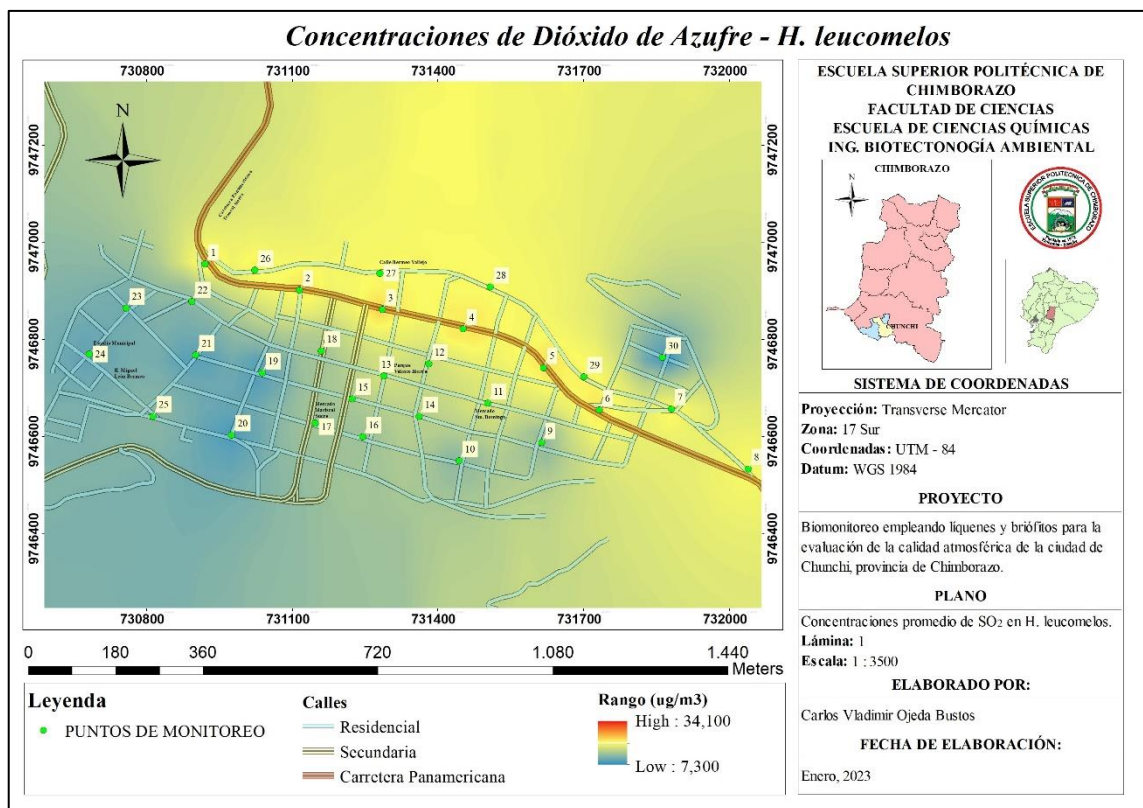


**Ilustración 3-15:** Concentraciones de NO<sub>2</sub> promedio analizadas con *H. leucomelos*  
Realizado por: Ojeda C., 2023.

En la Ilustración 3-3 se observan las concentraciones ambientales promedio de NO<sub>2</sub> analizadas con *H. leucomelos* en los 30 puntos de monitoreo durante los meses de noviembre y diciembre del año 2022. De acuerdo con la cantidad de concentración registrada durante el estudio se representó la dispersión de dióxido de nitrógeno en el estudio solo de obtuvo coloración amarilla y azul, siendo amarilla las concentraciones medias y azul para las de menor concentración en el rango de valores máximos y mínimos obtenidos en el estudio.

La dispersión de los puntos del 1 al 8 y del 26 al 29 es de color amarillo al tener una alta concentración de NO<sub>2</sub> en este caso, la ubicación de estos puntos es: la Panamericana Troncal Sierra y la calle Bermeo Vallejo, siendo corroborada la información del estudio realizado por (Nieto, 2019, p.49) que expresa que, la generación de NO<sub>2</sub> se genera principalmente por los procesos de combustión de los vehículos. Los puntos 9, 10, 19 al 25 y 30 tienen la concentración de dióxido de nitrógeno más baja del estudio obtenida con *H. leucomelos* con dispersión de color azul. Los puntos restantes del 11 al 18 están en un rango intermedio entre los valores de coloración azul y amarilla, su ubicación corresponde al Parque “Velasco Ibarra” y a los mercados de la ciudad.

### 3.6.4. Concentración final promedio de SO<sub>2</sub> con *H. leucomelos*



**Ilustración 3-16:** Concentraciones de SO<sub>2</sub> promedio analizadas con *H. leucomelos*  
Realizado por: Ojeda C., 2023.

La Ilustración 3-4 muestra las concentraciones promedio en el ambiente de SO<sub>2</sub> analizadas con *H. leucomelos* en los 30 puntos de monitoreo durante los meses de noviembre y diciembre del año 2022. El registro designado para representar las concentraciones de dióxido de azufre en el estudio es: naranja, amarillo y azul, siendo naranja para las concentraciones altas de este caso y azul para las de menor concentración.

Los puntos 3 y 4 apenas alcanzan la distinción de color naranja claro, siendo los lugares donde se registró los valores de concentración más altos para este caso. Los puntos 1, 2, 5 al 8 y 26 al 29 al tener una concentración de rango medio de SO<sub>2</sub> su dispersión es de color amarilla, estos puntos están instalados a lo largo de la carretera Panamericana Troncal Sierra y la calle Bermeo Vallejo.

Los puntos 9, 10, 19 al 25 y 30 con concentraciones de dióxido de azufre más bajas para este caso obtenida con *H. leucomelos* posee una dispersión de color azul ya que son sectores donde existe poca recurrencia de vehículos, generando una congruencia con lo expresado por (Bermeo y Vega, 2018, p.55) que dice que, el dióxido de azufre es producido por la combustión interna de vehículos de transporte. Los puntos del 11 al 18 tienen una mezcla de coloración azul y amarilla, están ubicados en el Parque “Velasco Ibarra” y los mercados de la ciudad.

### 3.7. Análisis estadístico

La validación de los datos a través del análisis estadístico de los resultados obtenidos durante el estudio para la concentración de polutantes presentes en el ambiente absorbidos con epífitos locales se presenta en la tabla 3-7.

**Tabla 3-7:** Datos estadísticos descriptivos

		Estadístico	Error típico	Intervalo de confianza al 95%			
				Sesgo	Error típico	de	
						Inferior	Superior
<i>H. leucomelos</i> NO <sub>2</sub>	N	30		0	0	30	30
	Rango	15,98					
	Mínimo	7,34					
	Máximo	23,32					
	Media	16,2668	,96777	-,0025	,9758	14,3340	18,1862
	Desv. típ.	5,30072		-,10129	,39129	4,43881	5,91854

	Varianza	28,098		-,911	4,050	19,703	35,029
<b>H. leucomelos</b> <b>SO<sub>2</sub></b>	N	30		0	0	30	30
	Rango	17,99					
	Mínimo	8,61					
	Máximo	26,60					
	Media	18,6503	1,09185	-,0026	1,1008	16,4692	20,8144
	Desv. típ.	5,98030		-,11420	,43856	5,00237	6,67336
	Varianza	35,764		-1,161	5,122	25,024	44,534
<b>F. ciliaris</b> <b>NO<sub>2</sub></b>	N	30		0	0	30	30
	Rango	23,30					
	Mínimo	10,80					
	Máximo	34,09					
	Media	23,7832	1,40097	-,0029	1,4130	21,0137	26,5830
	Desv. típ.	7,67345		-,14725	,56567	6,41902	8,58733
	Varianza	58,882		-1,919	8,478	41,204	73,742
<b>F. ciliaris</b> <b>SO<sub>2</sub></b>	N	30		0	0	30	30
	Rango	18,22					
	Mínimo	8,73					
	Máximo	26,94					
	Media	18,9086	1,10425	-,0028	1,1133	16,7027	21,0975
	Desv. típ.	6,04821		-,11556	,44605	5,06378	6,75214
	Varianza	36,581		-1,186	5,268	25,642	45,591
<b>N válido</b> <b>(según lista)</b>	N	30		0	0	30	30

Realizado por: Ojeda C., 2023.

Los datos obtenidos de concentración de dióxido de nitrógeno y azufre en los 30 puntos de monitoreo durante el lapso de los meses de noviembre y diciembre de 2022 con epífitos en la zona urbana del cantón Chunchi para determinar la calidad atmosférica de la ciudad, a través del

software SPSS que permite analizar gran cantidad de datos, esta herramienta emitió los siguientes datos estadísticos: En cuanto a los resultados de *H. leucomelos*, resultado del análisis para NO<sub>2</sub> se obtuvo un valor máximo (23,32 µg/m<sup>3</sup>) y un valor mínimo (7,34 µg/m<sup>3</sup>), teniendo una diferencia de 15,98 µg/m<sup>3</sup>, con una media de 16,2668 µg/m<sup>3</sup>, su desviación típica es de 5,30072 µg/m<sup>3</sup> y una varianza de los datos de 28,098 µg/m<sup>3</sup>. Los resultados del análisis para SO<sub>2</sub> describen un valor máximo (26,60 µg/m<sup>3</sup>) y un valor mínimo (8,61 µg/m<sup>3</sup>), teniendo una diferencia de 17,99 µg/m<sup>3</sup> entre el valor mínimo (8,61 µg/m<sup>3</sup>) y máximo (26,60 µg/m<sup>3</sup>), con una media de 18,6503 µg/m<sup>3</sup>, su desviación típica es de 5,98030 µg/m<sup>3</sup> y una varianza de los datos de 35,764 µg/m<sup>3</sup>.

Respecto a los resultados obtenidos para las *F. ciliaris* resultado del análisis de NO<sub>2</sub> se obtuvo un valor máximo (34,09 µg/m<sup>3</sup>) y un valor mínimo (10,80 µg/m<sup>3</sup>), teniendo una diferencia de 23,30 µg/m<sup>3</sup>, con una media de 23,7832 µg/m<sup>3</sup>, su desviación típica es de 7,67345 µg/m<sup>3</sup> y una varianza de los datos de 58,882 µg/m<sup>3</sup>. Los resultados del análisis para SO<sub>2</sub> describen un valor máximo (26,94 µg/m<sup>3</sup>) y un valor mínimo (8,73 µg/m<sup>3</sup>), teniendo una diferencia de 18,22 µg/m<sup>3</sup>, con una media de 18,9086 µg/m<sup>3</sup>, su desviación típica es de 6,04821 µg/m<sup>3</sup> y una varianza de los datos de 36,581 µg/m<sup>3</sup>.

Los valores obtenidos durante el proceso estadístico tienen un 95% de confianza, se relacionan y asemejan a los obtenidos durante los dos meses de duración del estudio. La Tabla 3-8 manifiesta la correlación que existe entre los datos obtenidos durante el monitoreo con especies biológicas, demuestra que las concentraciones son variables dependiendo de la ubicación donde se encuentren, en este caso para el estudio determina que específicamente en determinados puntos la concentración del contaminante va a ser mayor o menor dependiendo de su ubicación.

**Tabla 3-8:** Matriz de correlaciones

		<i>F. ciliaris</i> NO <sub>2</sub>	<i>F. ciliaris</i> SO <sub>2</sub>	<i>H. leucomelos</i> NO <sub>2</sub>	<i>H. leucomelos</i> SO <sub>2</sub>	PUNTOS
Correlación	<i>F. ciliaris</i> _NO <sub>2</sub>	1,000	1,000	1,000	1,000	-,504
	<i>F. ciliaris</i> _SO <sub>2</sub>	1,000	1,000	1,000	1,000	-,503
	<i>H. leucomelos</i> _NO <sub>2</sub>	1,000	1,000	1,000	1,000	-,503
	<i>H. leucomelos</i> _SO <sub>2</sub>	1,000	1,000	1,000	1,000	-,500
	PUNTOS	-,504	-,503	-,503	-,500	1,000

Realizado por: Ojeda C., 2023.

### 3.8. Comparación con normativa de la calidad del aire

Para relacionar los valores obtenidos con la Normativa ambiental vigente sobre la calidad del aire se convierten los datos a temporalidades similares a las de los límites permisibles. Para dióxido de nitrógeno el cálculo se lo realiza en 1 hora, en el caso del dióxido de azufre la comparación debe ser en 24 horas.

De acuerdo con los límites permisibles establecidos por (M. Ambiente, 2015, p.55), los datos recolectados durante las 8 semanas de exposición de las especies epífitas en cuanto a concentraciones de NO<sub>2</sub> no superan las de la normativa y están muy por debajo del máximo permitido. Las concentraciones de SO<sub>2</sub> durante 24 horas no superaron los límites permisibles por la normativa nacional para este contaminante, estando muy alejados del valor máximo estipulado por la ley. Las concentraciones registradas de ambos contaminantes no representan un riesgo para la salud humana en este periodo de tiempo debido a los niveles presentados por el ICA la calidad del aire de la ciudad es buena.

**Tabla 3-9:** Concentraciones de NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> transformadas para comparación con los límites permisibles

PUNTOS DE MONITOREO	Concentración promedio en una hora NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )		Concentración promedio durante 24 horas SO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	
	Límite permisible (200 µg/m <sup>3</sup> )		Límite permisible (125 µg/m <sup>3</sup> )	
	<i>F. ciliaris</i>	<i>H. leucomelos</i>	<i>F. ciliaris</i>	<i>H. leucomelos</i>
1	0,046	0,031	0,872	0,861
2	0,045	0,031	0,863	0,852
3	0,047	0,032	0,898	0,887
4	0,046	0,032	0,881	0,869
5	0,046	0,031	0,872	0,861
6	0,045	0,031	0,854	0,843
7	0,043	0,029	0,819	0,809
8	0,042	0,029	0,793	0,782
9	0,025	0,017	0,471	0,461
10	0,024	0,017	0,467	0,453
11	0,037	0,026	0,714	0,704
12	0,035	0,024	0,661	0,652
13	0,036	0,025	0,687	0,678

14	0,032	0,022	0,608	0,600
15	0,029	0,020	0,555	0,548
16	0,028	0,019	0,529	0,522
17	0,029	0,020	0,555	0,548
18	0,028	0,019	0,537	0,530
19	0,017	0,011	0,326	0,322
20	0,019	0,012	0,344	0,339
21	0,018	0,012	0,344	0,339
22	0,022	0,015	0,432	0,426
23	0,022	0,015	0,414	0,409
24	0,020	0,014	0,388	0,383
25	0,026	0,018	0,493	0,487
26	0,043	0,030	0,828	0,817
27	0,042	0,029	0,793	0,782
28	0,042	0,029	0,793	0,782
29	0,043	0,030	0,828	0,817
30	0,015	0,010	0,291	0,287

Realizado por: Ojeda C., 2023.

### 3.9. Efectividad de los métodos aplicados

Para determinar la efectividad del método aplicado para cada especie de biomonitor, se los debe relacionar entre valores congruentes para ambos métodos, en la tabla 3-10 se encuentran los promedios finales de concentraciones ambientales registradas tanto para la especie *F. ciliaris* como de la especie *H. leucomelos*.

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

PUNTOS DE MONITOREO	<i>Fabronia ciliaris</i>		<i>Heterodermia leucomelos</i>	
	Concentración promedio NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	Concentración promedio SO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	Concentración promedio NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	Concentración promedio SO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )
1	32,989	26,162	22,622	25,820
2	32,653	25,898	22,391	25,559
3	34,094	26,944	23,317	26,602
4	33,326	26,426	22,854	26,081

<b>5</b>	32,991	26,150	22,622	25,820
<b>6</b>	32,317	25,634	22,159	25,299
<b>7</b>	30,972	24,577	21,233	24,256
<b>8</b>	29,963	23,784	20,538	23,474
<b>9</b>	17,706	14,125	12,038	13,826
<b>10</b>	17,521	14,009	12,039	13,579
<b>11</b>	26,937	21,407	18,454	21,127
<b>12</b>	24,919	19,821	17,065	19,562
<b>13</b>	25,928	20,614	17,760	20,345
<b>14</b>	22,901	18,236	15,676	17,998
<b>15</b>	20,884	16,651	14,286	16,434
<b>16</b>	19,875	15,859	13,592	15,651
<b>17</b>	20,884	16,651	14,286	16,434
<b>18</b>	20,211	16,123	13,823	15,912
<b>19</b>	12,141	9,782	8,266	9,654
<b>20</b>	13,428	10,310	8,729	10,176
<b>21</b>	12,813	10,310	8,729	10,176
<b>22</b>	16,176	12,952	11,045	12,783
<b>23</b>	15,504	12,424	10,582	12,262
<b>24</b>	14,495	11,631	9,887	11,479
<b>25</b>	18,530	14,802	12,666	14,608
<b>26</b>	31,308	24,841	21,464	24,516
<b>27</b>	29,963	23,784	20,538	23,474
<b>28</b>	29,963	23,784	20,538	23,474
<b>29</b>	31,308	24,841	21,464	24,516
<b>30</b>	10,796	8,725	7,340	8,611

Realizado por: Ojeda C., 2023.

La tabla 3-10 presenta las concentraciones de contaminantes obtenidas durante el periodo de exposición, demostrando la capacidad de absorción de las especies para captar NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> presentes en el ambiente, en este estudio se enfocó en aplicar el método con biomonitores, utilizando *H. leucomelos* y *F. ciliaris* para determinación de la calidad del aire. La tabla permite demostrar que las concentraciones absorbidas por las *F. ciliaris* en los 30 puntos de monitoreo generalmente son mayores que las obtenidas con *H. leucomelos* en los mismos puntos.



### 3.10. Diferencia de los métodos aplicados

#### 3.10.1. Métodos aplicados para NO<sub>2</sub>

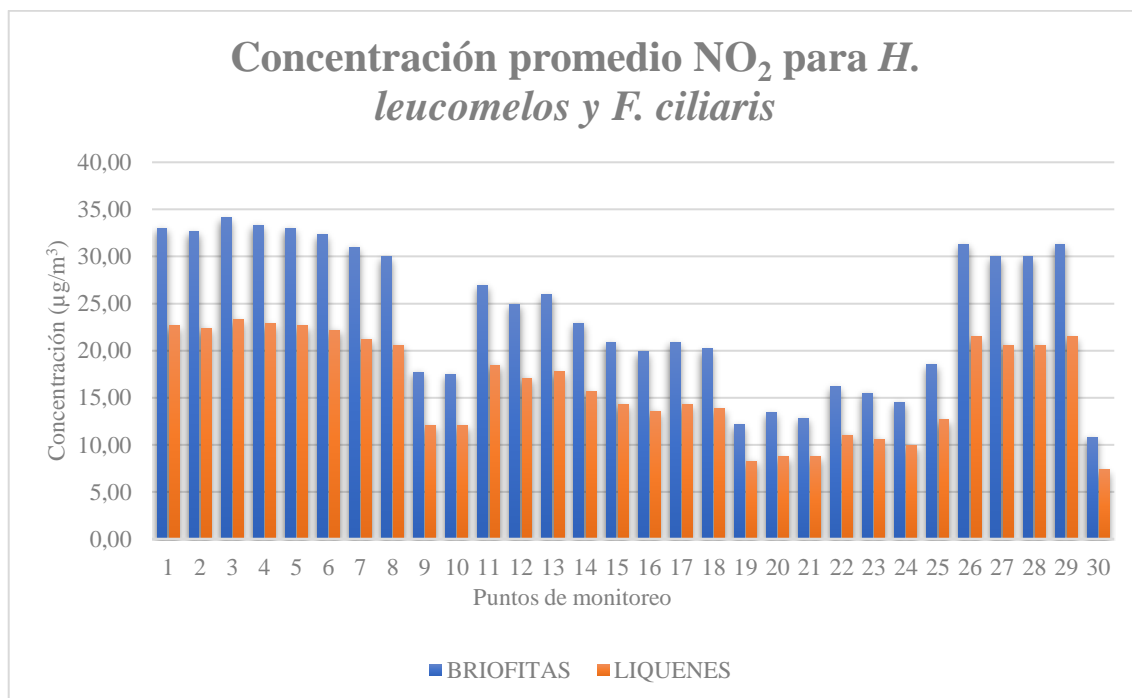
**Tabla 3-11:** Diferencias de absorción de NO<sub>2</sub> relacionando ambos biomonitores

PUNTOS DE MONITOREO	Concentración promedio NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )			
	<i>F. ciliaris</i>	DIFERENCIA	<i>H. leucomelos</i>	%
1	32,989	10,367	22,622	31,43
2	32,653	10,263	22,391	31,43
3	34,094	10,777	23,317	31,61
4	33,326	10,472	22,854	31,42
5	32,991	10,369	22,622	31,43
6	32,317	10,158	22,159	31,43
7	30,972	9,739	21,233	31,44
8	29,963	9,425	20,538	31,45
9	17,706	5,668	12,038	32,01
10	17,521	5,483	12,039	31,29
11	26,937	8,482	18,454	31,49
12	24,919	7,854	17,065	31,52
13	25,928	8,168	17,760	31,50
14	22,901	7,226	15,676	31,55
15	20,884	6,597	14,286	31,59
16	19,875	6,283	13,592	31,61
17	20,884	6,597	14,286	31,59
18	20,211	6,388	13,823	31,61
19	12,141	3,875	8,266	31,91
20	13,428	4,698	8,729	34,99
21	12,813	4,084	8,729	31,87
22	16,176	5,131	11,045	31,72
23	15,504	4,922	10,582	31,75
24	14,495	4,608	9,887	31,79
25	18,530	5,864	12,666	31,65
26	31,308	9,844	21,464	31,44
27	29,963	9,425	20,538	31,45
28	29,963	9,425	20,538	31,45

<b>29</b>	31,308	9,844	21,464	31,44
<b>30</b>	10,796	3,456	7,340	32,01

Realizado por: Ojeda C., 2023.

La Tabla 3-11 presenta las diferencias de las concentraciones finales de dióxido de nitrógeno y el porcentaje con relación al de mayor concentración obtenidas con ambas especies durante el periodo de estudio en la ciudad de Chunchi.



**Ilustración 3-17:** Concentración promedio NO<sub>2</sub> para *H. leucomelos* y *F. ciliaris*

Realizado por: Ojeda C., 2023.

La diferencia existente es significativa, la especie *F. ciliaris* del punto 3 con 34,094 µg/m<sup>3</sup> registra el valor más alto de concentración de toda la tabla, obteniendo una diferencia de 10,777 µg/m<sup>3</sup> con relación a la especie *H. leucomelos* en el mismo punto con 23,317 µg/m<sup>3</sup>. El porcentaje de captación más alto lo tiene la *F. ciliaris* en el punto 20 en relación con el mismo punto de *H. leucomelos* con un porcentaje de 34,99 %, dado que los valores de concentración son 13,428 µg/m<sup>3</sup> y 8,729 µg/m<sup>3</sup> correspondientemente.

### 3.10.2. Métodos aplicados para SO<sub>2</sub>

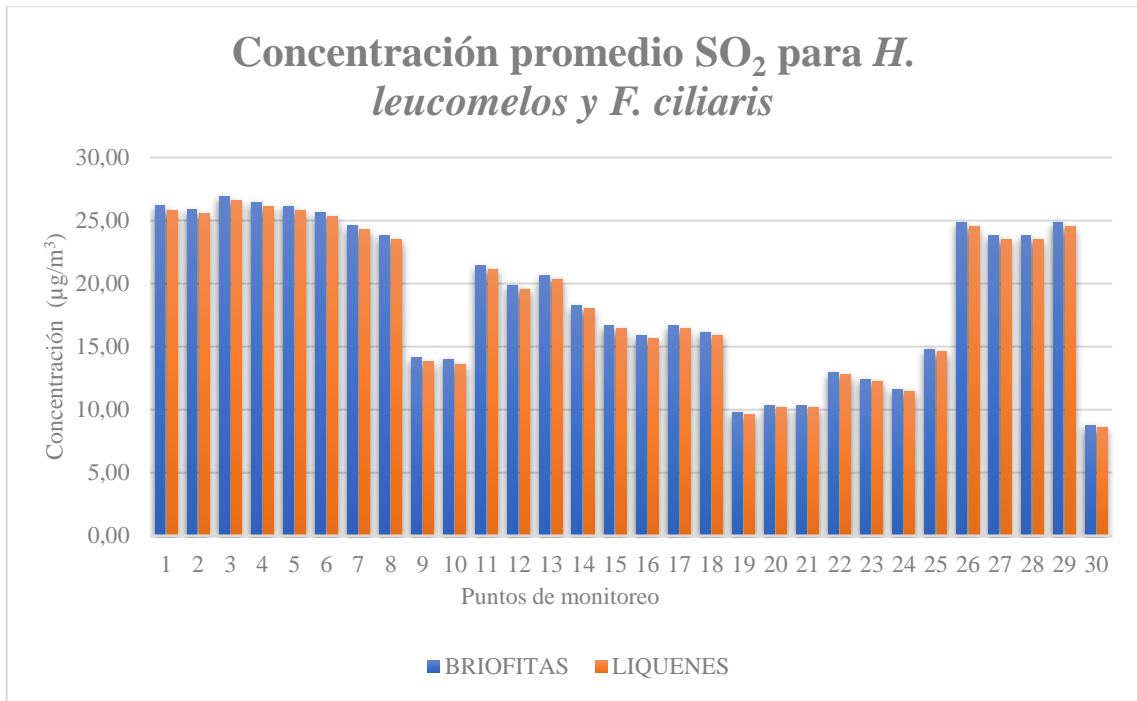
**Tabla 3-12:** Diferencias de absorción de SO<sub>2</sub> relacionando ambos biomonitores

PUNTOS DE MONITOREO	Concentración promedio SO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )			
	<i>F. ciliaris</i>	DIFERENCIA	<i>H. leucomelos</i>	%
<b>1</b>	26,162	0,342	25,820	1,31

<b>2</b>	25,898	0,338	25,559	1,31
<b>3</b>	26,944	0,342	26,602	1,27
<b>4</b>	26,426	0,345	26,081	1,31
<b>5</b>	26,150	0,330	25,820	1,26
<b>6</b>	25,634	0,335	25,299	1,31
<b>7</b>	24,577	0,321	24,256	1,31
<b>8</b>	23,784	0,311	23,474	1,31
<b>9</b>	14,125	0,299	13,826	2,11
<b>10</b>	14,009	0,430	13,579	3,07
<b>11</b>	21,407	0,280	21,127	1,31
<b>12</b>	19,821	0,259	19,562	1,31
<b>13</b>	20,614	0,269	20,345	1,31
<b>14</b>	18,236	0,238	17,998	1,31
<b>15</b>	16,651	0,218	16,434	1,31
<b>16</b>	15,859	0,207	15,651	1,31
<b>17</b>	16,651	0,218	16,434	1,31
<b>18</b>	16,123	0,211	15,912	1,31
<b>19</b>	9,782	0,128	9,654	1,31
<b>20</b>	10,310	0,135	10,176	1,31
<b>21</b>	10,310	0,135	10,176	1,31
<b>22</b>	12,952	0,169	12,783	1,31
<b>23</b>	12,424	0,162	12,262	1,31
<b>24</b>	11,631	0,152	11,479	1,31
<b>25</b>	14,802	0,193	14,608	1,31
<b>26</b>	24,841	0,325	24,516	1,31
<b>27</b>	23,784	0,311	23,474	1,31
<b>28</b>	23,784	0,311	23,474	1,31
<b>29</b>	24,841	0,325	24,516	1,31
<b>30</b>	8,725	0,114	8,611	1,31

Realizado por: Ojeda C., 2023.

La Tabla 3-12 presenta las diferencias de las concentraciones finales de dióxido de azufre y el porcentaje con relación al de mayor concentración obtenidas con ambas especies durante el periodo de estudio en la ciudad de Chunchi.



**Ilustración 3-18:** Concentración promedio SO<sub>2</sub> para *H. leucomelos* y *F. ciliaris*  
**Realizado por:** Ojeda C., 2023.

La diferencia para SO<sub>2</sub> es menor a la existente para NO<sub>2</sub>, la especie de briófitas *F. ciliaris* del punto 10 con 14,009 µg/m<sup>3</sup> registra la mayor diferencia alcanzada con 0,430 µg/m<sup>3</sup> en relación con la especie de liquen *H. leucomelos* en el mismo punto que tiene 13,579 µg/m<sup>3</sup>. El porcentaje de captación más alto lo tiene *F. ciliaris* en el mismo punto con 3,07 %.

## CONCLUSIONES

Durante el estudio se recolectaron siete especies vegetales, de las cuales cuatro corresponden a las briófitas y tres especies de líquenes, los epífitos fueron escogidos por sus características morfológicas para ser utilizadas como biomonitores de la calidad del aire. Las plantas recolectadas fueron: *Usnea laevis*, *Heterodermia leucomelos*, *Parmotrema arnoldii*, *Breutelia tomentosa*, *Bazzania hookeri*, *Fabronia ciliaris* y *Lepidozia reptans*.

Para obtener datos fiables se procedió a someter a las especies a una prueba de tolerancia para seleccionar aquellas que tengan mayor capacidad de bioacumular los contaminantes NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>. Transcurrido el periodo de prueba se escogió a *F. ciliaris* como briófito de mayor absorción y a *H. leucomelos* por ser el líquen que obtuvo el valor de concentración mayor.

Las especies colocadas en puntos estratégicos para determinar la concentración de contaminantes atmosféricos de la cabecera cantonal de Chunchi mediante la comparación del método espectrofotométrico aplicado para las especies se concluyó que, *F. ciliaris* tiene una capacidad de absorción mayor que *H. leucomelos* en cuanto a concentraciones de dióxido de nitrógeno se refiere superándola en un 35%, en cuanto al análisis de dióxido de azufre *F. ciliaris* solo obtuvo un porcentaje de absorción mayor de un 3% más que el *H. leucomelos*.

Los valores de concentración más altos registrados durante el estudio hacen referencia a los puntos que se encuentran ubicados en lugares de alta concurrencia vehicular, como son, principalmente la carretera Panamericana Troncal Sierra y la calle Bermeo Vallejo. La mayor concentración de NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> registrada se encuentra en el punto 3, esto se debe a que cercano al lugar se encuentran varios locales comerciales y restaurantes donde vehículos de transporte público realizar el embarque y desembarque de pasajeros, a su vez hacen una parada estratégica para abastecerse de alimentación al igual que los choferes de transporte pesado que se movilizan a largo del país.

El Software SPSS utilizado para el análisis estadístico demuestra una correlación de los parámetros meteorológicos durante los meses de noviembre y diciembre de 2022 con las concentraciones obtenidas de los puntos establecidos, dando como resultado un aumento de absorción de los contaminantes en el último mes debido a la variación de las condiciones meteorológicas. A su vez el programa muestra la correlación existente en base a la ubicación de los puntos de monitoreo, ya que presentan un cierto número de puntos valores más altos y otros tienen los valores más bajos ya sean NO<sub>2</sub> o SO<sub>2</sub> tanto de especies de *F. ciliaris* o de *H. leucomelos*.

Mediante la generación de los mapas temáticos se puede apreciar de manera gráfica la influencia y presencia de estos contaminantes en todo el territorio de la ciudad, la concentración de dióxido de nitrógeno y dióxido de azufre tiende a estar dispersa a lo largo de las dos calles antes mencionadas, en un menor grado de concentración se encuentran las zonas del mercado “Mariscal Sucre” y el mercado “Santo Domingo”, también las calles que rodean el parque central Velasco Ibarra donde se encuentran varias instituciones públicas y privadas.

Al obtener los datos de concentración de los contaminantes atmosféricos en la ciudad de Chunchi se ha demostrado la capacidad de *F. ciliaris* y de *H. leucomelos* de actuar como biomonitores de la calidad del aire, el estudio reporta valores máximos de concentración en una hora de NO<sub>2</sub> igual a 0,047 µg/m<sup>3</sup> y la concentración máxima de SO<sub>2</sub> durante 24 horas es de 0,898 µg/m<sup>3</sup>, demostrando en concordancia con los niveles presentados por el ICA, que la calidad del aire de la ciudad de Chunchi es buena.

## **RECOMENDACIONES**

Los estudios realizados con especies biológicas para determinación de la calidad del aire se deben de priorizar ya que esta metodología tiene muchas ventajas como la de generar datos confiables, requieren un bajo costo de instalación y mantenimiento, su alcance es muy amplio ya que son especies que se las encuentra en todo el territorio nacional y no existirá inconvenientes al momento de abarcar áreas amplias de estudio con n-número de puntos de monitoreo porque la materia prima es muy asequible y sobre todo no ejerce ningún impacto negativo sobre el medio ambiente.

Etiquetar los recipientes instalados con los monitores para que la ciudadanía tenga conocimiento del trabajo que se realiza y mantengan la integridad de los monitores instalados en los puntos. Socializar con la población donde se va a realizar el estudio para que concientice sobre la preservación y la calidad del aire, y los impactos negativos que produce vivir dentro de un ambiente contaminado.

## BIBLIOGRAFÍA

**ANTUÑA, Juan Carlos; ESTEVAN, René; BARJA, Boris.** “*Características de los aerosoles en la troposfera alta y la estratosfera baja en el Gran Caribe, en ausencia de perturbación volcánica*”. Revista Cubana de Meteorología. [En línea], 2005, vol. 12, no 1. pp. 65-72. [Consulta: 06 de septiembre de 2022]. Disponible en: <http://rcm.insmet.cu/index.php/rcm/article/view/310/370>

**ANZE, Rafael, et al.** “*Bioindicadores en la detección de la contaminación atmosférica en Bolivia*”. Revista virtual REDESMA. [En línea], 2007, vol. 1, p 55. [Consulta: 08 de septiembre de 2022]. Disponible en: [https://cebem.org/revistaredesma/vol1/pdf/redesma0101\\_art03.pdf](https://cebem.org/revistaredesma/vol1/pdf/redesma0101_art03.pdf)

**ANZULES, Ítalo del Carmen Palacios; CASTRO, Denny William Moreno.** “*Contaminación ambiental*”. RECIMUNDO. [En línea], abril, 2022, vol. 6, no 2, p. 95. [Consulta: 08 de septiembre de 2022]. Disponible en: <https://www.recimundo.com/index.php/es/article/view/1545/1979>

**BALLADARES, Carmen.** *Determinación de la capacidad de absorción de material particulado y nitrógeno en la especie briófita Pleurozium quitense en el distrito de San Borja, Lima-Perú.* [En línea], 2021. pp. 22-23. (Trabajo de titulación) (Ingeniería en gestión ambiental) Universidad ESAN, Lima, Perú. [Consulta: 06 de septiembre de 2022]. Disponible en: [https://repositorio.esan.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12640/2263/2021\\_IGA\\_2021-1\\_01\\_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.esan.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12640/2263/2021_IGA_2021-1_01_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

**BARASOAIN, José Antonio.** *¿Qué es la atmósfera?* [En línea], 1948. pp. 131. [Consulta: 08 de septiembre de 2022]. Disponible en: [https://repositorio.aemet.es/bitstream/20.500.11765/452/8/atmos\\_cal49.pdf](https://repositorio.aemet.es/bitstream/20.500.11765/452/8/atmos_cal49.pdf)

**BERMEO, J., & VEGA, D.** *Evaluación de contaminantes atmosféricos en los principales mercados de la ciudad de Riobamba.* [En línea] (Trabajo de titulación) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2018. p. 38-55. [Consulta: 06 de septiembre de 2022]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/8948/1/236T0345.pdf>

**BOLDO, Elena, et al.** *La contaminación del aire.* [En línea], 2016. pp 10. Instituto de Salud Carlos III. [Consulta: 08 de septiembre de 2022]. Disponible en:



[https://repisalud.isciii.es/bitstream/handle/20.500.12105/7274/LaContaminaci%  
\\_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repisalud.isciii.es/bitstream/handle/20.500.12105/7274/LaContaminaci%c3%b3nDelAire_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

**CACH PÉREZ, Manuel J.; ANDRADE, José Luis; REYES GARCÍA, Casandra.** “*La susceptibilidad de las bromeliáceas epífitas al cambio climático*”. Botanical Sciences [En línea], 2014, vol. 92, no 2, p. 157. [Consulta: 08 de septiembre de 2022]. Disponible en: <https://www.scielo.org.mx/pdf/bs/v92n2/v92n2a1.pdf>

**CAMILLONI I., & VERA C.** *LA ATMÓSFERA: CIENCIAS NATURALES*. Programa de capacitación multimedial. Explora las ciencias en el mundo contemporáneo. [En línea], 2017. pp 3. Argentina. [Consulta: 20 de diciembre de 2022]. Disponible en: <http://www.bnm.me.gov.ar/giga1/documentos/EL002316.pdf>

**CALZADILLA Eliana, ADANA Claudia, CHURCHILL Steven.** “*LAS BRIOFITAS - Bolivia Ecológica*”. CENTRO DE ECOLOGÍA DIFUSIÓN FUNDACIÓN SIMÓN I. PATIÑO. [En línea], 2010, Edición Trimestral. Revista #59. pp 2. [Consulta: 08 de septiembre de 2022]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/453103420/Calzadilla-E-et-al-2010-Las-Briofitas-BOLIVIA-ECOLOGICA>

**CARBALLAL Regina, M. Casares PORCEL, L. GUTIÉRREZ y J. GARCÍA Rowe.** *Introducción a los líquenes*. [En línea], 2006. Capítulo 7. pp 158-160. [Consulta: 08 de septiembre de 2022]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/259638914\\_C\\_A\\_P\\_I\\_T\\_U\\_L\\_O\\_7\\_INTRODUCCION\\_A\\_LOS\\_LIQUENES](https://www.researchgate.net/publication/259638914_C_A_P_I_T_U_L_O_7_INTRODUCCION_A_LOS_LIQUENES)

**CIRES, Eduardo.** *MANUAL PARA LA RECOLECCIÓN DE PLANTAS Y SU HERBORIZACIÓN*. Departamento de Biología de Organismos y Sistemas. Área de Botánica. Universidad de Oviedo. [En línea], 2018, pp 1-2. [Consulta: 08 de septiembre de 2022]. Disponible en: [https://herbario.uniovi.es/c/document\\_library/get\\_file?uuid=cedc484e-1e46-4a7a-b952-bad7f5bf581a&groupId=3511378](https://herbario.uniovi.es/c/document_library/get_file?uuid=cedc484e-1e46-4a7a-b952-bad7f5bf581a&groupId=3511378)

**CONTI, Marcelo Enrique; CECCHETTI, Gaetano.** “*Biological monitoring: Lichens as bioindicators of air pollution assessment*”. ENVIRONMENTAL POLLUTION. [En línea], 2001, vol. 114, no 3, pp. 471. [Consulta: 08 de septiembre de 2022]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0269749100002244?via%3Dihub>

**CPWR.** *Manual del Participante para el Trabajador Expuesto a Residuos Peligrosos.* The Center for Construction Research and Training. Entrenamiento para trabajadores de residuos peligrosos. [En línea], junio de 2016. Versión VIII. Capítulo 4. pp 273. [Consulta: 10 de diciembre de 2022]. Disponible en: <https://www.cpwr.com/wp-content/uploads/publications/00-CPWR-hazwoper-SP-4.0-01-Complete.pdf>

**CUEVA, Patricia.** *ESTUDIO DE SO<sub>2</sub> y NO<sub>2</sub> EMPLEANDO MUESTREO PASIVO EN LA ZONA INDUSTRIAL DE VÍA A LA COSTA - GUAYAQUIL.* [En línea], 2017, pp. 50-55. (Trabajo de titulación) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba, Ecuador. [Consulta: 10 de diciembre de 2022]. Disponible en: <http://dspace.espe.edu.ec/bitstream/123456789/7853/1/236T0287.pdf>

**CONSTITUCIÓN DEL ECUADOR, Asamblea Constituyente.** *Constitución de la República del Ecuador.* Tribunal Constitucional del Ecuador. [En línea], Quito, Ecuador. 2008. [Consulta: 08 de septiembre de 2022]. Disponible en: [https://www.oas.org/juridico/pdfs/mesicic4\\_ecu\\_const.pdf](https://www.oas.org/juridico/pdfs/mesicic4_ecu_const.pdf)

**DIGESA, Dirección general de salud ambiental.** *Protocolo de monitoreo de la calidad del aire y gestión de los datos.* Calidad del aire y gestión. Ministerio del Ambiente. [En línea], 2015. pp.21. Perú. [Consulta: 08 de septiembre de 2022]. Disponible en: [http://www.digesa.minsa.gob.pe/norma\\_consulta/Protocolo-de-Calidad-del-Aire.pdf](http://www.digesa.minsa.gob.pe/norma_consulta/Protocolo-de-Calidad-del-Aire.pdf)

**DOMÍNGUEZ GUAL, María Carolina.** “*La contaminación ambiental, un tema con compromiso social*”. Producción + limpia. [En línea], 2015, vol. 10, no 1, pp. 9-21. [Consulta: 08 de septiembre de 2022]. Disponible en: <http://revistas.unilasallista.edu.co/index.php/pl/article/view/770/523>

**ENKERLIN, E. y col.** “*Ciencia Ambiental y Desarrollo Sostenible*”. Editorial Thompson. [En línea], México. (1997). pp. 385-396. [Consulta: 20 de diciembre de 2022]. Disponible en: <https://es.ircwash.org/resources/ciencia-ambiental-y-desarrollo-sostenible>

**ETECÉ EDITORIAL.** *Atmósfera.* [En línea], 5 agosto, 2021. Última edición. pp.1. [Consulta: 20 de diciembre de 2022]. Disponible en: <https://concepto.de/atmosfera/>

**FONSECA, F.** *EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE AIRE MEDIANTE LA APLICACIÓN DE BIOMONITORES EN EL TERMINAL INTERCANTONAL DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA.* [En línea], 2021. pp. 30-59. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba, Ecuador.

[Consulta: 10 de diciembre de 2022]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/14675/1/236T0532.pdf>

**FREIRE RUMIPAMBA, Sandra Paola.** *Determinación de la eficiencia de la estación de monitoreo de calidad del aire del GAD municipalidad de Ambato mediante los contaminantes dióxido de nitrógeno y ozono.* [En línea] (Trabajo de titulación) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador, pp. 24-26. [Consulta: 12 de noviembre de 2022]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/8541/1/236T0321.pdf>

**GADM Chunchi.** *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial PDOT Chunchi 2019-2023.* Censo de Población y Vivienda. INEC. [En línea], Chimborazo, Ecuador. 2010. pp. 1-355. [Consulta: 08 de septiembre de 2022]. Disponible en: [http://www.municipiochunchi.gob.ec/phocadownload/Informacion\\_2020/Plan\\_de\\_Developmento\\_y\\_Orderamiento\\_Territorial\\_PDOT\\_Chunchi\\_2019-2023.pdf](http://www.municipiochunchi.gob.ec/phocadownload/Informacion_2020/Plan_de_Developmento_y_Orderamiento_Territorial_PDOT_Chunchi_2019-2023.pdf)

**GADM Chunchi.** *Bosque Bacún* [blog]. Turismo GAD Chunchi. Chimborazo, Ecuador. Enero, 2016. [Consulta: 08 de septiembre de 2022]. Disponible en: <https://www.municipiochunchi.gob.ec/index.php/turismo/bosque-bacun>

**GAITÁN, Mauricio; CANCINO, Juliana; BEHRENTZ, Eduardo.** “Análisis del estado de la calidad del aire en Bogotá”. *Revista de Ingeniería.* [En línea], 2007, no 26, p. 81-92. Disponible en: <https://ojsrevistaing.uniandes.edu.co/ojs/index.php/revista/article/view/299/367>

**GARCÍA, Aida.** *Estudio sobre la reducción de emisiones NOx y SOx.* [En línea], (Trabajo de titulación) (Ingeniería Marina) Universidad de Cantabria, Cantabria, España. 2018. pp 50. [Consulta: 08 de septiembre de 2022]. Disponible en: <https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/15456/Garc%C3%ADa%20Coterillo%2c%20A%C3%ADa.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

**GARCÍA CHAVEZ, María de los Ángeles, et al.** “Musgos cultivados, indicadores ambientales de contaminación atmosférica”. *Revista Mexicana de Agroecosistemas.* [En línea], 2016. Vol. 3 (Suplemento 3), pp. 191. [Consulta: 08 de septiembre de 2022]. ISSN: 2007-9559. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/154796345.pdf>

**GARCÍA, Delia.** “Un sifón a partir de una reacción química”. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias.* [En línea], España, Vol. 7, n° 1, 2010, pp. 142-150. [Consulta: 20

de diciembre de 2022]. E-ISSN: 1697-011X. Disponible en:  
<https://www.redalyc.org/pdf/920/92013011011.pdf>

**GARDUÑO, René.** *Cambio climático: una visión desde México*. [En línea] Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, México, 2004, vol. 29. pp. 31-33. [Consulta: 20 de diciembre de 2022]. Disponible en:  
[https://wwflac.awsassets.panda.org/downloads/cambio\\_climatico\\_una\\_vision\\_desde\\_mexico\\_martinez\\_bremauntz.pdf](https://wwflac.awsassets.panda.org/downloads/cambio_climatico_una_vision_desde_mexico_martinez_bremauntz.pdf)

**GIMENO, Luis, et al.** “*El papel de la estratosfera en el sistema climático*”. Revista Española de Física. [En línea], 2011, vol. 26, no 2, p. 25-33. [Consulta: 20 de diciembre de 2022]. ISSN 0213-862X. Disponible en: <https://revistadefisica.es/index.php/ref/article/view/1330>

**GOBIERNO DE MÉXICO.** *Fuentes de Contaminación Atmosférica* [blog]. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 16 de junio, 2018. [Consulta: 20 de diciembre de 2022]. Disponible en: <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/fuentes-de-contaminacion-atmosferica>

**GOBIERNO DE MÉXICO.** *La atmósfera, esencial para el mantenimiento de la vida* [blog]. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 11 de agosto, 2017. [Consulta: 20 de diciembre de 2022]. Disponible en:  
<https://www.gob.mx/semarnat/articulos/atmosfera#:~:text=Participa%20en%20la%20regulaci%C3%B3n%20del,de%20precipitaci%C3%B3n%20en%20los%20continentes.>

**GÓMEZ, Henry, et al.** “*Líquenes como biomonitores de la contaminación atmosférica por (HAPs) hidrocarburos aromáticos policíclicos*”. Revista de la Facultad de Ingeniería. Universidad Central de Venezuela. [En línea], 2013, vol. 28, no 1, p. 45-58. [Consulta: 08 de septiembre de 2022]. ISSN 0798-4065. Disponible en:  
<https://ve.scielo.org/pdf/rfiucv/v28n1/art06.pdf>

**GONZÁLEZ, Andrea.** *Evaluación de la capacidad bioacumuladoras de contaminantes en líquenes, utilizados en el monitoreo de la calidad del aire de la parroquia San Carlos, cantón La Joya de los Sachas, provincia de Orellana*. [En línea] (Trabajo de titulación). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba, Ecuador. 2018. pp. 51-68. [Consulta: 08 de septiembre de 2022]. Disponible en:  
<http://dspace.espace.edu.ec/bitstream/123456789/10244/1/236T0381.pdf>

**GRADSTEIN, Stephan Robbert; & WEBER, William A.** “*Bryogeography of the Galapagos Islands*”. The Journal of the Hattori Botanical Laboratory. [En línea], 1982, vol. 52, pp. 127-152. [Consulta: 20 de diciembre de 2022]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/286905144\\_Bryogeography\\_of\\_the\\_Galapagos\\_Islands](https://www.researchgate.net/publication/286905144_Bryogeography_of_the_Galapagos_Islands)

**GREENFACTS.** *Contaminante* [blog]. Hechos sobre la Salud y el Medio Ambiente, 2022. [Consulta: 20 de diciembre de 2022]. Disponible en: <https://www.greenfacts.org/es/glosario/abc/contaminante.htm>

**GUTIÉRREZ, Héctor, et al.** *Contaminación del aire: riesgos para la salud*. Facultad de Medicina de la UNAM. México. 1997. pp. 452.

**HAWKSWORTH, David L; & ITURRIAGA, Teresa; CRESPO, Ana.** “*Líquenes como bioindicadores inmediatos de contaminación y cambios medio-ambientales en los trópicos*”. Revista Iberoamericana de micología. [En línea], 2005, vol. 22, pp. 71-92. [Consulta: 08 de septiembre de 2022]. Disponible en: <https://www.reviberoammicol.com/2005-22/071082.pdf>

**HAWKSWORTH, D. L; & ROSE, F.** “*Qualitative scale for estimating Sulphur dioxide air pollution in England and Wales using epiphytic lichens*”. Nature. [En línea], 1970, vol. 227, no 5254, pp. 145. [Consulta: 08 de septiembre de 2022]. DOI: 10.1038/227145a0. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/5428399/>

**INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO.** *Documentación toxicológica para el establecimiento del límite de exposición profesional del dióxido de azufre*. [En línea], España, 2014. pp. 1-5. [Consulta: 08 de septiembre de 2022]. Disponible en: <https://www.insst.es/documents/94886/289651/DLEP+86+DIOXIDO+DE+AZUFRE.pdf/d339b938-aa66-4f09-a056-39c2866676af>

**INTENDENCIA MUNICIPAL DE MONTEVIDEO.** *Índice de Calidad del Aire (ICAire)*. Departamento de Desarrollo Ambiental. Intendencia Municipal de Montevideo. [En línea], Uruguay, 2010, pp. 3. [Consulta: 11 de diciembre de 2022]. Disponible en: [https://montevideo.gub.uy/sites/default/files/biblioteca/icaire2010\\_0.pdf](https://montevideo.gub.uy/sites/default/files/biblioteca/icaire2010_0.pdf)

**LA MANCHA.** *NOx - Óxidos de Nitrógeno* [blog]. Junta de Comunidades de Castilla. Gobierno regional. Información Ambiental. Información General sobre Calidad del Aire. Agosto, 2015. [Consulta: 20 de diciembre de 2022]. Disponible en: <http://pagina.jccm.es/medioambiente/rvca/calidad/nox.htm>

**LA MANCHA.** *SOx - Óxidos de Azufre* [blog]. Junta de Comunidades de Castilla. Gobierno regional. Información Ambiental. Información General sobre Calidad del Aire. Agosto, 2015. [Consulta: 20 de diciembre de 2022]. Disponible en: <http://pagina.jccm.es/medioambiente/rvca/calidad/sox.htm#:~:text=A%20nivel%20ambiental%2C%20su%20combinaci%C3%B3n,gama%20de%20materiales%20de%20construcci%C3%B3n.>

**MALAGÓN, María Dolores Encinas.** *MEDIO AMBIENTE Y CONTAMINACIÓN, PRINCIPIOS BÁSICOS.* Medio Ambiente y Contaminación. Principios Básicos, [En línea], 2011, Edición 1. pp. 20. [Consulta: 20 de diciembre de 2022]. ISBN: 978-84-615-1145-7 Disponible en: <https://addi.ehu.es/bitstream/handle/10810/16784/Medio%20Ambiente%20y%20Contaminaci%C3%B3n.%20Principios%20b%C3%A1sicos.pdf?sequence=6&isAllowed=y>

**MANCILLA MÉNDEZ, Yasmany.** *La atmósfera.* Mercados de carbono: una forma de mitigar el cambio climático. [En línea] Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, 2015. pp. 1-4. [Consulta: 20 de diciembre de 2022]. Disponible en: [https://repositorio.tec.mx/bitstream/handle/11285/631367/4\\_t1s1\\_c7\\_html\\_contex\\_1.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.tec.mx/bitstream/handle/11285/631367/4_t1s1_c7_html_contex_1.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

**MANRIQUE CARVAJAL, Angélica María; OSSA MORALES, Diana Marcela.** *Validación de los métodos espectrofotométricos para la determinación de SOx y NOx en muestras de aire.* [En línea], 2010. pp. 30. [Consulta: 20 de diciembre de 2022]. Disponible en: <https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/610d7d02-9995-4e42-bed9-59c88097caf4/content>

**MARCIAL, Noel Angulo.** “¿Qué son los observatorios y cuáles son sus funciones?” Innovación educativa. [En línea], Instituto Politécnico Nacional, México, 2009, vol. 9, no 47, pp. 10. [Consulta: 20 de diciembre de 2022]. ISSN: 1665-2673. Disponible en: [https://www.redalyc.org/pdf/1794/Resumenes/Resumen\\_179414895002\\_1.pdf](https://www.redalyc.org/pdf/1794/Resumenes/Resumen_179414895002_1.pdf)

**MARKERT, Bernd; OEHLMANN, Jörg; ROTH, Mechthild.** *General aspects of heavy metal monitoring by plants and animals.* [En línea] Environmental Biomonitoring. 1997, pp. 19-29. [Consulta: 20 de diciembre de 2022]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/235328664\\_BIOMONITORING\\_OF\\_AIR\\_POLLUTION\\_WITH\\_ZINC\\_IN\\_CROATIA\\_STUDIED\\_BY\\_MOSS\\_SAMPLES\\_AND\\_ICP-AES](https://www.researchgate.net/publication/235328664_BIOMONITORING_OF_AIR_POLLUTION_WITH_ZINC_IN_CROATIA_STUDIED_BY_MOSS_SAMPLES_AND_ICP-AES)

**MARTÍN FERNÁNDEZ, Josep Antoni; PAWLOWSKY GLAHN, Vera; LAMMER, Helmut.** *La geología de los planetas: Análisis estadístico de datos composicionales al servicio de la planetología.* [En línea] Enseñanza de las Ciencias de la Tierra. 2011, vol. 19, no 2, p. 220-221. [Consulta: 11 de diciembre de 2022]. Disponible en: <https://raco.cat/index.php/ECT/article/view/247823/331782>

**MATAMOROS APOLO, Daniela Elizabeth.** *Efectos de la alteración antrópica sobre la diversidad de las comunidades de líquenes y briófitos en los bosques secos del sur del Ecuador.* [En línea] (Trabajo de titulación) (Licenciatura) universidad Técnica Particular de Loja. 2017. pp. 8-19. [Consulta: 08 de septiembre de 2022]. <https://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/20.500.11962/21127/1/Matamoros%20Apolo%2c%20Daniela%20Elizabeth..pdf>

**MAYORGA, César; RUIZ, Mery; ALDAS, Darwin.** “Percepciones acerca de la contaminación del aire generada por el transporte urbano en Ambato”. Revista Espacios. [En línea] Ecuador, 2020, vol. 41, no 17, pp. 11. [Consulta: 10 de diciembre de 2022]. ISSN 0798 1015. Disponible en: <https://www.revistaespacios.com/a20v41n17/a20v41n17p11.pdf>

**MEDICI, Alessandro, et al.** “Estudio de la concentración de cadmio y plomo en el aire de la ciudad de Quito, empleando briofitas como biomonitores”. LA GRANJA. Revista de Ciencias de la Vida. [En línea] Ecuador, 2008, vol. 8, no 2, pp. 18-19. [Consulta: 08 de septiembre de 2022]. ISSN: 1390-3799. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/4760/476047392004.pdf>

**MINISTERIO DEL AMBIENTE.** *Registro Oficial - Edición Especial N° 387.* [En línea] Ecuador, 2015, pp.55. [Consulta: 08 de septiembre de 2022]. Disponible en: [https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018-09/Documento\\_Registro-Oficial-No-387-04-noviembre-2015\\_0.pdf](https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018-09/Documento_Registro-Oficial-No-387-04-noviembre-2015_0.pdf)

**MEIJER, Seline; DONOHOE, Simon O.'Moore.** *The effect of air pollution on lichen distribution, diversity and abundance in Hell's Gate National Park.* [En línea], 2006, pp. 1-12.

<https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=633c4166875645be781d748d97706bd442b5e954>

**MOREIRA ROMERO, Ángel F.** “Contaminación del aire en el medio ambiente por las emisiones de gases tóxicos de empresas industriales en Ecuador”. Polo del conocimiento. [En línea], julio 2018, vol. 3, no 7, pp. 299-306. [Consulta: 10 de diciembre de 2022]. ISSN: 2550 - 682X. Disponible en: <file:///C:/Users/MSI%20KATANA/OneDrive/Esitorio/553-1335-2-PB.pdf>

**NIETO, Jéssica.** *Evaluación de contaminantes atmosféricos provenientes del sector automotriz en la avenida 9 de octubre de la ciudad de Riobamba.* [En línea]. (Trabajo de titulación) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2019. pp. 29-49. [Consulta: 10 de diciembre de 2022]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/11164/1/236T0448.pdf>

**NIÑO MARTÍNEZ, Jhonatan Harvey.** *Revisión sobre la utilización de briofitos como bioindicadores de contaminación atmosférica urbana para futuros monitoreos en la ciudad de Bucaramanga.* [En línea] Unidades Tecnológicas de Santander, 2022. [Consulta: 22 de diciembre de 2022]. Disponible en: <http://repositorio.uts.edu.co:8080/xmlui/handle/123456789/9357>

**NORIEGA, Paco.** *Biomonitoreo de contaminantes, mediante el uso de briofitas como muestreadores biológicos, para el aire de la ciudad de Quito.* [En línea] Universidad Politécnica Salesiana. Ecuador, 2008. pp. 4-6. [Consulta: 22 de diciembre de 2022]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/6095/1/Biomonitoreo%20de%20contaminantes%20mediante%20el%20uso%20de%20briofitas%20como%20muestreadores%20biologicos%20para%20el%20aire%20de%20la%20Ciudad%20de%20Quito.pdf>

**PALACIOS, J. C., et al.** “Monitoreo de la ionosfera colombiana por medio de un sistema de posicionamiento global (GPS)”. Revista de la Sociedad Colombiana de Física. [En línea], 2006, vol. 38, p. 1395-1398. [Consulta: 08 de septiembre de 2022]. ISSN-e 0120-2650. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2153123>

**PARDO, Miguel.** *DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE NO<sub>x</sub> A LA QUE SE ENCUENTRAN EXPUESTAS LAS PERSONAS QUE FRECUENTAN EL SECTOR DEL TERMINAL TERRESTRE – LATACUNGA.* [En línea] Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador, 2019. pp. 43. [Consulta: 10 de diciembre de 2022]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/11128/1/236T0435.PDF>



**QUEROL, Xavier.** “*La calidad del aire en las ciudades*”. Fundación Gas Natural Fenosa. [En línea] Barcelona, España, 2018. pp. 29-91. [Consulta: 10 de diciembre de 2022] ISBN: 978-84-09-01905-2. Disponible en: <https://www.fundacionnaturgy.org/wp-content/uploads/2018/06/calidad-del-aire-reto-mundial.pdf>

**RODRÍGUEZ MIRANDA, Alejandro Aurelio, et al.** *Modelización y análisis de la calidad del aire en la ciudad de Oviedo (norte de España), mediante los enfoques PSO-SVM, red neuronal MLP y árbol de regresión M5*. [En línea] (Trabajo de Titulación) (Doctorado) Universidad de León. España. 2018. pp. 94-97. [Consulta: 08 de septiembre de 2022]. Disponible en: <https://buleria.unileon.es/handle/10612/7953>

**ROMERO PLACERES, Manuel; DIEGO OLITE, Francisca; ÁLVAREZ TOSTE, Mireya.** “*La contaminación del aire: su repercusión como problema de salud. Revista cubana de higiene y epidemiología*”. Instituto Nacional de Higiene, Epidemiología y Microbiología. [En línea] Cuba, 2006, vol. 44, no 2, p. 1-3. [Consulta: 10 de diciembre de 2022]. ISSN 1561-3003. Disponible en: <http://scielo.sld.cu/pdf/hie/v44n2/hie08206.pdf>

**SÁENZ, Rodolfo, et al.** *Monitoreo de la calidad del aire en América Latina*. [En línea] Programa de Control de Contaminación del Aire. Lima. 1999. pp. 1-2. [Consulta: 10 de diciembre de 2022]. Disponible en: [https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/55453/monitoreocalidadal\\_spa.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/55453/monitoreocalidadal_spa.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

**SAGÑAY, José Augusto, et al.** *Base para inventario de emisiones del parque automotor en la ciudad de Guayaquil*. [En línea] (Trabajo de titulación) (Maestría) Escuela Superior Politécnica del Litoral. 2020. pp. 5. [Consulta: 10 de diciembre de 2022]. Disponible en: <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/123456789/49677/D-76531%20Sagnay.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

**SANZ, Elena Morillo.** *Líquenes y musgos como bioindicadores de contaminación atmosférica*. [En línea] (Trabajo fin de grado) Facultad de Farmacia, Universidad Complutense, 2018. pp. 5. [Consulta: 08 de septiembre de 2022]. Disponible en: <http://147.96.70.122/Web/TFG/TFG/Memoria/ELENA%20MORILLO%20SANZ.pdf>

**SARLEJ, María Inés; MICHLIG, Andrea; FERRARO, Lidia I.** “*El género Heterodermia (Physciaceae, Lecanorales) en la reserva de biosfera Yaboty (Misiones, Argentina)*”. Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica. [En línea], 2018, vol. 53, no 1, pp. 14. [Consulta: 10 de

diciembre de 2022]. ISSN 0373-580 Disponible en:  
<http://www.scielo.org.ar/pdf/bsab/v53n1/v53n1a02.pdf>

**SEGOVIA, Sonia Silva; PERIS, Pedro Mora.** “Registro de emisiones y transferencia de contaminantes de EPER a PRTR”. *Cemento Hormigón*. [En línea], 2007, no 905, pp. 74-82. Universidad de la Rioja. [Consulta: 08 de septiembre de 2022]. ISSN 0008-8919 Disponible en:  
[https://cemento-hormigon.com/medio\\_ambiente/registro-de-emisiones-y-transferencia-de-contaminantes-de-eper-a-prtr/](https://cemento-hormigon.com/medio_ambiente/registro-de-emisiones-y-transferencia-de-contaminantes-de-eper-a-prtr/)

**SERRANO VALDIVIEZO, Yolanda.** Evaluación de Potencial Forrajero del *Bromus sitchensis* con diferentes Niveles de Azufre y Fósforo. [En línea] (Tesis de Grado) (Ingeniería) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2008. pp. 20. [Consulta: 08 de septiembre de 2022]. Disponible en:  
<http://dspace.esoch.edu.ec/bitstream/123456789/1576/1/17T0857.pdf>

**MATO BERRIOS, Juan Rogelio.** *El geosistema terrestre, elementos constitutivos, litósfera hidrósfera, atmósfera y biósfera*. [En línea] (Trabajo de titulación) (Licenciatura) Universidad Nacional de Educación Enrique Guzmán y Valle, 2019. pp. 89. [Consulta: 10 de diciembre de 2022]. Disponible en:  
<https://repositorio.une.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14039/3690/MONOGRAF%C3%8DA%20-%20MATO%20BERRIOS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

**URIBE, M; & CIFUENTES, L.** "Aplicación de técnicas de cultivo in vitro en la propagación de *Legrandia concinna*". *BOSQUE*. [En línea], 2004, pp. 131. Departamento de Ciencias Básicas, Unidad Académica Los Ángeles, Universidad de Concepción. Chile. [Consulta: 10 de diciembre de 2022]. ISSN: 0717-9200 Disponible en: <https://www.scielo.cl/pdf/bosque/v25n1/Art12.pdf>

**URZAY, Sergio Chueca.** *Estrellas artificiales de referencia: estructura y dinámica de la mesosfera terrestre*. [En línea] (Tesis Doctoral) Universidad de La Laguna, España. 2002. [Consulta: 08 de septiembre de 2022]. Disponible en:  
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=10809>

**VALDÉS GARCÍA, Cecilio.** “Contaminación ambiental”. *Avances*. [En línea], 2019, vol. 21, no 2, p. 138. [Consulta: 08 de septiembre de 2022]. ISSN 1562-3297. Disponible en:  
<http://www.ciget.pinar.cu/ojs/index.php/publicaciones/article/view/441/1452>

**VALLE, Otto; RIVERA, Otto.** *Monitoreo e indicadores.* [En línea] IDIE Guatemala, Andalucía. 2008. pp. 2. [Consulta: 10 de diciembre de 2022]. Disponible en: [https://aularedim.net/wp-content/uploads/monitoreo\\_indocadores.pdf](https://aularedim.net/wp-content/uploads/monitoreo_indocadores.pdf)

**WEBER, W.A.** The Lichen Flora of the Galápagos Islands, Ecuador. Mycotaxon. [En línea], 1986, pp. 451. [Consulta: 10 de diciembre de 2022]. Disponible en: <https://www.darwinfoundation.org/es/datazone/checklist?species=2802>

**ZHOU, Xiaoli, et al.** Using moss to assess airborne heavy metal pollution in Taizhou. International journal of environmental research and public health. [En línea], 2017, vol. 14, no 4, pp. 430. China. [Consulta: 10 de diciembre de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/ijerph14040430>



## ANEXOS

### ANEXO A: RECOLECCIÓN DE EPÍFITOS

	
<p>Uso de espátula para recolección</p>	<p>Líquenes extraídos con parte de la corteza del hospedador</p>
	
<p>Extracción de Briófitas</p>	<p>Líquenes y briófitas recolectados</p>

**ANEXO B: INSTALACIÓN Y RECOLECCIÓN DE BIOMONITORES**

	
<p><i>F. ciliaris</i> en fundas de malla de tela</p>	<p><i>H. leucomelos</i> en fundas de malla de tela</p>
	
<p>Instalación de monitores biológicos</p>	<p>Punto de monitoreo instalado a 2,50 m de altura</p>
	
<p>Recipiente de protección para biomonitores</p>	<p>Recolección de biomonitores en fundas herméticas</p>

## ANEXO C: ANÁLISIS EN LABORATORIO

	
<p>Reactor con especies para absorción de contaminante</p>	<p>Pesado de azufre para pruebas de tolerancia</p>
	
<p>Pesaje de cobre para pruebas de tolerancia</p>	<p>Generación de contaminante y transporte a través de una manguera hacia el reactor.</p>
	
<p>Secado de biomonitores contaminados</p>	<p>Pesaje de biomonitores secos</p>



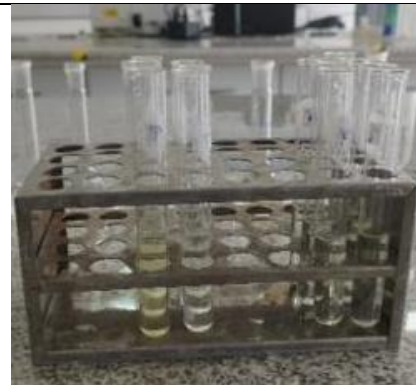
Introducción de reactivos en biomonitores



Reacción química en condiciones de temperatura elevada



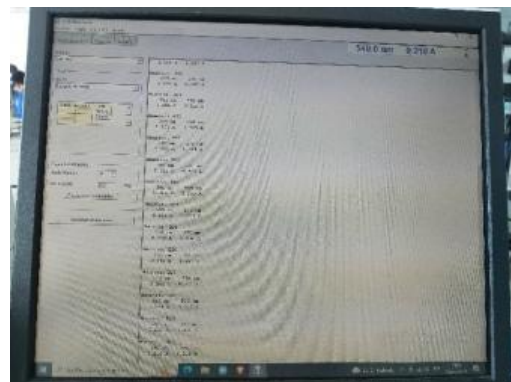
Solución final para aforar



Muestras para analizar en espectrofotómetro



Análisis en espectrofotómetro



Datos de espectrofotometría



epoch

Dirección de Bibliotecas y  
Recursos del Aprendizaje

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y  
DOCUMENTAL

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 06 / 12 / 2023

<b>INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)</b>
<b>Nombres – Apellidos:</b> Carlos Vladimir Ojeda Bustos
<b>INFORMACIÓN INSTITUCIONAL</b>
<b>Facultad:</b> Ciencias
<b>Carrera:</b> Ingeniería en Biotecnología Ambiental
<b>Título a optar:</b> Ingeniero en Biotecnología Ambiental
<b>f. Analista de Biblioteca responsable:</b> Ing. Rafael Inty Salto Hidalgo

1613-DBRA-UPT-2023

