



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

**DETERMINACIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS EN
EL SECTOR DEL PARQUE INDUSTRIAL DE LA CIUDAD DE
AMBATO UTILIZANDO BRIOFITAS COMO BIOMONITOR
BIOLÓGICO**

Trabajo de Titulación

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para obtener al grado académico de:

INGENIERA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

AUTOR: TANIA ESTEFANIA ULLOA CALERO

DIRECTORA: Ing. MARÍA SOLEDAD NUÑEZ MORENO MSc.

Riobamba – Ecuador

2022


©2022, Tania Estefania Ulloa Calero

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, TANIA ESTEFANÍA ULLOA CALERO declaro que el presente Trabajo de Titulación es de mi autoría y los resultados de este son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

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

Riobamba, 05 de agosto de 2022

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Tania Estefanía Ulloa Calero', written in a cursive style.

Tania Estefanía Ulloa Calero

180494794-1

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

El Tribunal del trabajo de titulación certifica que: El trabajo de titulación: Tipo Proyecto Técnico, **DETERMINACIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS EN EL SECTOR DEL PARQUE INDUSTRIAL DE LA CIUDAD DE AMBATO UTILIZANDO BRIOFITAS COMO BIOMONITOR BIOLÓGICO**, realizado por la señorita: **TANIA ESTEFANIA ULLOA CALERO**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. María Fernanda Rivera Velásquez MSc. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		28-07-2022
Ing. María Soledad Nuñez Moreno MSc. DIRECTORA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN		28-07-2022
Ing. María Rafaela Viteri Uzcategui MSc. MIEMBRO DEL TRIBUNAL		28-07-2022

DEDICATORIA

Este trabajo de titulación está dedicado principalmente a Dios por todas aquellas bendiciones que puso en mi camino a lo largo de mis estudios, a mis ángeles en el cielo mi papito Jorge y mi pequeño Gabriel sé que están orgullosos de mí aunque no estén hoy presentes, a mi pequeño Matias quien ha sido la luz de mis ojos, a mi padre quien a pesar de cualquier adversidad siempre supo guiarme y apoyarme incondicionalmente, a mi madre por sus consejos, paciencia, ayuda y entrega que puso desde el primer día, finalmente a toda mi familia paterna y materna por su colaboración y ayuda en cada minuto sin duda.

Tania

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por permitirme cumplir una meta, por sus bendiciones a lo largo de mis estudios. A mis padres por la paciencia, entrega, cariño y amor que me han brindado en el diario vivir, sé que el terminar esta etapa de mi vida no es solo un festejo para mi sino para ellos también ya que han confiado siempre en que llegaría este tan anhelado momento.

A David Castillo quien durante todo este tiempo fue mi compañero de aventuras de risas y tristezas a medida que ascendíamos en nuestros estudios, por la paciencia puesta en mi en esos momentos donde la falta de conocimiento me abrumaba, así como el amor y cariño brindado, A mi querida ESPOCH por abrirme sus puertas para iniciar mi vida universitaria, por haberme permitido vivir tantas buenas como malas experiencias, por brindarme tantos conocimientos y valores que los empleare en mi vida personal como profesional.

De manera especial a la Ingeniera Soledad Nuñez por compartir sus conocimientos para el desarrollo de mi trabajo de titulación, por su paciencia a lo largo de mis estudios, por esa sonrisa que da confianza y tranquilidad para realizar un trabajo.

Realizar este trabajo no fue tarea sencilla, pero mientras avanzaba estuvieron a mi lado personas que supieron guiarme para continuar con el objetivo que tenía en mente, agradezco a mi mejor amigo Henry que siempre esta cuando lo necesito, a mi amiga Diana V. que siempre está pendiente de mis avances y en especial a Erika G. y Elizabeth Y. compañeras de carrera y compañeras de grupo que sin conocerme bien me aceptaron en su grupo y siempre pusieron su mejor actitud para ser un gran grupo. Finalmente, a todos los miembros de mi familia que sé que estarán igual o más emocionados que Yo.

Tania

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xi
ÍNDICE DE ANEXOS	xii
RESUMEN.....	xiii
SUMARY	xiv
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1. MARCO REFERENCIAL.....	4
1.1. Antecedentes.....	4
1.2. Aire.....	5
1.3. Atmósfera	5
1.4. Composición de la atmósfera	6
1.5. Estructura de la atmosfera	7
1.5.1. Tropósfera	7
1.5.2. Estratósfera	7
1.5.3. Mesósfera	8
1.5.4. Termósfera	8
1.6. Contaminación atmosférica	8
1.7. Clasificación de los contaminantes.....	8
1.8. Fuentes de emisiones atmosféricas	11
1.8.1. Fuentes fijas	11
1.8.2. Fuentes móviles	12
1.8.3. Fuentes fugitivas.....	12
1.9. Óxidos de nitrógeno.....	12
1.10. Dióxido de azufre.....	13
1.11. Normativa Ambiental.....	13
1.11.1. Límites máximos permisibles.....	13
1.11.2. Código Orgánico Ambiental.....	13
1.11.3. Norma De Calidad Del Aire Ambiente.....	14
1.12. Muestreo Atmosférico	15

1.13.	Muestreo Atmosférico	15
1.11.4.	<i>Tipos de muestreadores atmosféricos</i>	15
1.11.5.	<i>Tipos de muestreadores atmosféricos</i>	16
1.11.6.	<i>Biomonitoreo</i>	16

CAPÍTULO II

2.	MARCO METODOLÓGICO	19
2.1.	Tipo de Investigación.....	19
2.2.	Diseño de la Investigación	19
2.2.1.	<i>Tipo de diseño</i>	19
2.3.	Lugar de estudio	19
2.3.1.	<i>Método de muestreo</i>	20
2.3.2.	<i>Tamaño de la muestra</i>	20
2.4.	Técnicas de recolección de datos	21
2.5.	Biomonitores	22
2.5.1.	<i>Preparación de biomonitores</i>	22
2.6.	Análisis de concentración de contaminantes por espectrofotometría UV-Visible	25
2.6.1.	<i>Metodología para análisis de muestras de briofitas</i>	25
2.6.2.	<i>Preparación de biomonitores para el estudio de NO₂ y SO₂ en el aire</i>	26
2.6.3.	<i>Análisis de biomonitores de dióxido de nitrógeno NO₂</i>	27
2.6.4.	<i>Análisis de biomonitores de dióxido de azufre (SO₂)</i>	29
2.7.	Corrección de resultados.....	30
2.8.	Elaboración de mapas temáticos	31

CAPÍTULO III

3.	MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	32
3.1.	Identificación de especies	32
3.2.	Especie de briofita recolectada	32
3.3.	Cálculo para la concentración de generación de NO ₂ y SO ₂	32
3.4.	Concentración promedio ambiental de NO ₂ con biomonitores	33
3.4.1.	<i>Variación de la concentración ambiente del mes de diciembre corregida de NO₂ con biomonitores</i>	34
3.4.2.	<i>Variación de la concentración ambiente del mes de enero corregida de NO₂ con</i>	

	<i>biomonitores</i>	35
3.4.3.	<i>Variación de la concentración promedio ambiente final corregida de NO₂</i>	36
3.4.4.	<i>Puntos mínimos, promedios y máximos de concentración de NO₂</i>	37
3.5.	Concentración promedio ambiental de SO₂	38
3.5.1.	<i>Variación de la concentración ambiente del mes de diciembre corregida de SO₂ con biomonitores</i>	39
3.5.2.	<i>Variación de la concentración ambiente del mes de enero corregida de SO₂</i>	40
3.5.3.	<i>Variación de la concentración promedio ambiente final corregida de SO₂</i>	41
3.5.4.	<i>Puntos mínimos, promedios y máximos de concentración de SO₂</i>	42
3.6.	Análisis de las concentraciones de NO₂ y SO₂ empleando ArcGis	43
3.6.1.	<i>Concentración promedio final de NO₂</i>	43
3.6.2.	<i>Concentración promedio final de SO₂</i>	44
3.7.	Normativa de la calidad del aire	45
CONCLUSIONES		47
RECOMENDACIONES		49
BIBLIOGRAFÍA		
ANEXOS		

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Gases de la atmósfera	6
Tabla 2-1: Contaminantes primarios emitidos por fuentes antrópicas	10
Tabla 3-1: Taxonomía de la especie Sphagnum	18
Tabla 4-2: Puntos de Bimonitoreo	21
Tabla 5-2: Datos para realizar la curva de calibración de NO_2	27
Tabla 6-2: Datos para realizar la curva de calibración de SO_2	29
Tabla 7-3: Especie de briofita	32
Tabla 8-3: Concentraciones de dióxido de nitrógeno	33
Tabla 9-3: Concentraciones de dióxido de azufre	38
Tabla 10-3: Concentraciones de NO_2 y SO_2 transformadas para comparación con	45

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-2. Sector del parque industrial Ambato	19
Figura 2-2. Puntos de muestreo.....	20
Figura 3-2. Lugar de recolección	22
Figura 4-3. Concentraciones promedio finales de NO ₂	43
Figura 5-3. Concentraciones promedio finales de SO ₂	44

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-2. Curva de calibración para NO ₂	28
Gráfico 2-2. Curva de calibración utilizada para SO ₂	29
Gráfico 3-3. Concentración del mes de diciembre de NO ₂ con biomonitores	34
Gráfico 4-3. Concentración del mes de enero de NO ₂ con biomonitores.....	35
Gráfico 5-3. Concentración promedio final de NO ₂	36
Gráfico 6-3. Puntos mínimos, promedios y máximos de NO ₂	37
Gráfico 7-3. Concentración del mes de Diciembre de SO ₂	39
Gráfico 8-3. Concentración del mes de Enero de SO ₂	40
Gráfico 9-3. Concentración promedio final de SO ₂	41
Gráfico 10-3. Puntos, mínimos, promedios y máximos de SO ₂	42

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: RECOLECCIÓN DE LOS BIOMONITORES

ANEXO B: PREPARACIÓN Y ADECUACIÓN DE LOS BIOMONITORES

ANEXO C: MUESTREO

ANEXO D: ANÁLISIS Y RESULTADOS

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue determinar los contaminantes atmosféricos en el sector del parque industrial de la ciudad de Ambato utilizando briofitas como biomonitor biológico, para lo cual se utilizaron 3 especies de briofitas que fueron sometidas a pruebas de tolerancia para los contaminantes dióxido de nitrógeno (NO₂) y dióxido de azufre (SO₂). Las pruebas realizadas fueron cualitativas y cuantitativas en la cual se observó la marchitez de la briofita y la absorbancia de cada especie respectivamente. Los biomonitores fueron colocados en 22 puntos seleccionados aleatoriamente en el sector del parque industrial de la ciudad de Ambato, la exposición de las muestras se realizó por un periodo de dos meses, retirando las muestras en un mes y colocando nuevas muestras para el segundo mes, el análisis se realizó por espectrofotometría UV-Visible permitiendo obtener la concentración de los contaminantes. Se determinó así que la especie *Sphaugnum* es la más apta para su uso como biomonitor debido a su capacidad de bioacumulación de contaminantes. Los resultados que se obtuvieron determinan que los niveles de contaminación en el sector del parque industrial de la ciudad de Ambato se encuentran dentro de los límites permisibles establecidos por el Ministerio del Ambiente del Ecuador, teniendo así un máximo de 3,4570 microgramos sobre metro cúbico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de dióxido de nitrógeno en medida de una hora y un máximo de 1,230 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de dióxido de azufre en medida de 24 horas. Por tanto, se puede concluir que la aplicación de biomonitores para determinar contaminantes atmosféricos es de gran utilidad por su fácil acceso y su mínimo costo. Se recomienda implementar de manera más continua el uso de biomonitores en estudios relacionados a la calidad de aire o determinación de contaminantes en un lugar determinado, ya que esta técnica de estudio nos da valores aceptables y confiables.

Palabras clave: <CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS>, <BIOMONITORES>, <DIÓXIDO DE NITRÓGENO>, <DIÓXIDO DE AZUFRE>, <PARQUE INDUSTRIAL>, <AMBATO (CANTÓN)>.

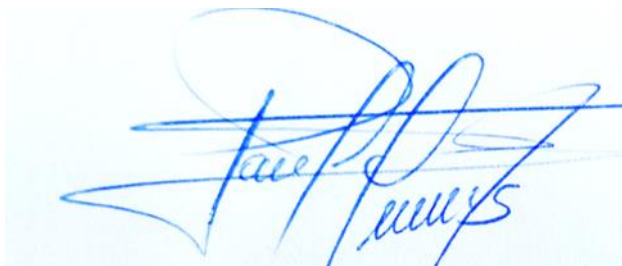


1816-DBRA-UTP-2022

SUMMARY

The aim of the research was to determine the atmospheric pollutants in the area of the industrial park, located in Ambato city using bryophytes as a biological biomonitor; thus, 3 species of bryophytes were subjected to tolerance tests for nitrogen dioxide (NO₂) and sulfur dioxide (SO₂) pollutants. The tests performed were qualitative and quantitative, in which the wilting of the bryophyte and the absorbance of each species were observed respectively. The biomonitors were placed in 22 randomly selected points of the industrial park located in Ambato and the exposure of the samples was carried out during a 2-month period, removing the samples after a month and placing new ones for the second month, the analysis was performed with the use of UV-Visible spectrophotometry, which allowed obtaining the concentration of the pollutants. Thus, it was determined that the *Sphaugnum* species is the most appropriate for using it as a biomonitor due to its capacity to bioaccumulate pollutants. The results obtained revealed that the pollution of the industrial park, located in Ambato, are within the permissible limits established by the Ministry of the Environment of Ecuador, with a maximum of 3.4570 micrograms per cubic meter (µg/m³) of nitrogen dioxide in a 1-hour measurement and a maximum of 1.230 µg/m³ of nitrogen dioxide in a 24-hour measurement. Thus, it is concluded that the application of biomonitors to determine atmospheric pollutants is useful due to their accessibility and minimal cost. It is recommended to use biomonitors in a permanent way for studies related to air quality or determination of pollutants in places established, since this study technique provides acceptable and reliable values.

Keywords: <ATMOSPHERIC POLLUTANTS>, <BIOMONITORS>, <NITROGEN DIOXIDE>, <SULFUR DIOXIDE>, <INDUSTRIAL PARK>, <AMBATO (COUNTRY)>.

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Javier P. ...', is written over a light blue background.

INTRODUCCIÓN

La contaminación atmosférica no es un problema reciente, sin embargo, en los últimos años se ha convertido en uno de los principales problemas ambientales, provocando no solo daños ambientales, sino también en el desarrollo de diversas enfermedades en la población, flora y fauna. Ambato es conocida por su alto nivel comercial, ya que este se encuentra en la zona centro sur constituyéndose un sitio estratégico en donde convergen entrada y salida de productos, así como constituye una importante vía de comunicación con el resto de las provincias del país.

Cabe mencionar que en este cantón se encuentra uno de los mercados que abastece a la mayor parte de provincias del Ecuador, y que del mismo modo recibe a los diversos comerciantes y productores que tiene el país, al mismo tiempo en esta ciudad se localiza el parque industrial en donde se encuentran ubicadas la mayoría de las empresas manufactureras tales como: industria del calzado, textil, agrícola, etc., que mantienen una producción constante a lo largo del año.

Es así que se puede identificar que el sector del parque industrial de la ciudad de Ambato, es un lugar altamente transitado debido a su ubicación geográfica, ya que este se encuentra en la panamericana que recorre de Norte a Sur el país y viceversa, en dicho lugar se puede encontrar una variedad de industrias así como de transporte los cuales producen la emisión de diferentes gases contaminantes hacia la atmósfera tales como: dióxido de carbono, metano, óxidos de nitrógeno, ozono y CFCs (clorofluorocarburos), etc., los cuales afectan de manera directa en la calidad de aire, generando así una contaminación atmosférica y disminuyendo la calidad de vida de los habitantes de dicho sector, esto va en aumento ya que ambos sectores trabajan las 24 horas del día durante todo el año, y debido a ello se puede producir una elevada concentración de estos gases lo cual genera enfermedades respiratorias y estas incluso podrían causar la muerte.

Formulación del problema

¿Cómo analizar la calidad del aire utilizando briofitas como biomonitores en la determinación de contaminantes atmosféricos en el sector del parque industrial de la ciudad de Ambato?

Justificación

La contaminación atmosférica incide de manera directa en la calidad del aire, así como también en la calidad de vida de los seres vivos. En la ciudad de Ambato se tiene una gran cantidad de industrias, como de parque automotor, que generan a diario varios gases contaminantes los cuales no tienen un control o un tratamiento adecuado, es por ello que realizar un estudio que determine los contaminantes que se puedan encontrar en dicha zona resulta de gran utilidad, ya que este tipo de estudios investigativos no solo permiten obtener datos al investigador, sino también que permitirá generar una base de datos a las autoridades del lugar donde se realiza, los cuales posteriormente pueden ser empleados para generar un método que ayude a prevenir, eliminar o reducir la generación de dichos gases. Así mismo la determinación de los contaminantes atmosféricos en la zona del parque industrial de la ciudad de Ambato es sumamente necesaria, ya que al desarrollar una investigación previa no se ha encontrado ningún tipo de estudios sobre este tema en dicho sector, por ende al iniciar este estudio se podría manejar como una guía para que las industrias y los mismos pobladores del sector tomen las medidas necesarias para darle un tratamiento adecuado a los gases que se generan u obligar a las industrias a implementar un sistema de tratamiento de gases, pues como es de conocimiento estos no solo provocan la destrucción de la atmósfera sino que también disminuyen la calidad de vida de aquellos que se encuentran directamente en contacto con los mismos o simplemente transitan por el sector.

OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

Objetivo General

- Determinar contaminantes atmosféricos en el sector del parque industrial de la ciudadde Ambato utilizando briofitas como biomonitor biológico.

Objetivos Específicos

- Identificar la especie adecuada de biomonitor para la determinación de contaminantes atmosféricos en el lugar de estudio.
- Establecer la concentración de *NO2* y *SO2* en el sector del parque industrial de Ambato a través del uso de un biomonitor.
- Evaluar la calidad del aire en la zona de estudio utilizando briofita como biomonitor biológico.

CAPÍTULO I

1. MARCO REFERENCIAL

1.1. Antecedentes

Un contaminante del aire es cualquier gas o partícula que, en una concentración suficientemente alta, puede ser dañino para la vida, el medio ambiente y / o la propiedad. Un contaminante puede provenir de fuentes naturales o antropogénicas, o ambas. Los contaminantes se encuentran en gran parte de la troposfera; sin embargo, la contaminación cercana a la superficie terrestre dentro de la capa límite es la más preocupante debido a las concentraciones relativamente altas que resultan de las fuentes en la superficie (Brusseau et al., 2019, p. 293).

En el planeta Tierra y en Ecuador la contaminación del aire es uno de los principales problemas ambientales tanto para las zonas urbanas y rurales que han provocado cambios perjudiciales en las características físicas, químicas o biológicas del aire, tierra y agua. Afectando nocivamente la vida humana, animales y ecosistemas frágiles en el todo el mundo (Moreira, 2018, p. 274).

También la contaminación del aire surge por las emisiones de gases que son tóxicos por el incremento de carros, automotores pesados de transporte y la quema de elementos tóxicos son los principales contaminantes del aire en Ecuador (Moreira, 2018, p. 274).

El grupo de óxidos de nitrógeno son compuestos de nitrógeno y oxígeno, a veces conocidos colectivamente como gases *NOx*. Los dos óxidos de nitrógeno más comunes y peligrosos son el óxido nítrico y el dióxido de nitrógeno. El óxido nitroso es un gas de efecto invernadero que contribuye al calentamiento global, generalmente emitido desde el escape de los vehículos motorizados y la quema de carbón principalmente de las plantas de energía eléctrica, e incluso de emisiones provenientes de la producción de cigarrillos, de estufas de gas, calentadores de queroseno, leña y silos en el proceso de ensilaje. Este contaminante reacciona con la luz solar y otros químicos para formar el conocido como smog, que no es otra cosa más que la combinación de humo, niebla y diversas partículas que se encuentran en la atmósfera de lugares con elevados índices de contaminación. El fenómeno se produce cuando el aire se estanca por un periodo extendido de alta presión y las partículas contaminantes quedan flotando en las capas atmosféricas inferiores por su mayor densidad (Torres, 2020, p. 18).

La Agencia de Protección Ambiental (EPA por sus siglas en inglés) de los Estados Unidos de Norteamérica, informa que el NO_2 . y otros NO_x . interactúan con el agua, el oxígeno y otros químicos en la atmósfera para formar lluvia ácida, esto es preocupante porque la lluvia ácida daña ecosistemas sensibles como lagos y bosques (Torres, 2020, p. 18).

En el trabajo de investigación presentado por (Bocanegra et al., 2020, pp. 16–17), mencionan que las plantas no vasculares resultan ser muy efectivas como sistema de alerta, debido a que permiten detectar tempranamente signos de cambio ambiental, estos organismos no vasculares reciben la mayor parte de nutrientes directamente de la atmósfera, además están desprovistos de cutícula lo cual, les otorga el carácter poiquilohídricos y permite la recepción de nutrientes y contaminantes aéreos como NO_2 , SO_2 , CO_2 , HF , HCl . Se sabe que la calidad del aire está ligada a la reducción y desaparición de los grupos de briofitos y líquenes más sensibles y la dominancia de los más resistentes, condición que permite observar el grado de resistencia de los organismos criptógamos y la disminución de los organismos más susceptibles al impacto de los contaminantes (Santoni & Lijteroff, 2006, pp. 49–58).

1.2. Aire

O también denominado “aire ambiente” se define como la mezcla gaseosa, cuya composición normal es, de por lo menos veinte por ciento (20%) de oxígeno, setenta y nueve por ciento (79%) de nitrógeno y uno por ciento (1%) de dióxido de carbono, además de las proporciones variables de gases inertes y vapor de agua, en relación volumétrica. Para efectos de la corrección de las concentraciones de emisión sujetas bajo esta norma, se considera que la atmósfera se conforma de veinte y un por ciento (21%) de oxígeno y setenta y nueve por ciento (79%) de nitrógeno, en relación volumétrica (NORMA ECUATORIANA DE CALIDAD DEL AIRE, 2011).

Concentración de una sustancia en el aire:

Es la relación que existe entre el peso o el volumen de una sustancia, y la unidad de volumen de aire en el cual está contenida (NORMA ECUATORIANA DE CALIDAD DEL AIRE, 2011).

1.3. Atmósfera

La atmósfera terrestre es la capa gaseosa que rodea a la Tierra. Juntamente con la hidrosfera constituyen el sistema de capas fluidas terrestres, cuyas dinámicas están estrechamente relacionadas. Protege la vida terrestre absorbiendo gran parte de la radiación solar ultravioleta en la capa de ozono, reduciendo las diferencias de temperatura entre el día y la noche y actuando como

escudo protector contra los meteoritos. El 75 % de la atmósfera se encuentra en los primeros 11 km de altura desde la superficie planetaria (Iglesias, 2010, p.15).

1.4. Composición de la atmósfera

La composición de la atmósfera ha variado a través de la historia del planeta hasta conformar la actual mezcla de gases y aerosoles. Éstos, hoy en día, se pueden dividir en dos grupos: constantes y variables. Los gases constantes mantienen una proporción casi permanente en la atmósfera: los más abundantes son el nitrógeno (78,1 %), el oxígeno (20,9 %) y el argón (0,9 %). Los gases variables son los que cambian en mayor proporción; en este grupo los más importantes son el vapor de agua y el dióxido de carbono. Este último existe en cantidades relativamente altas (0,035 %), pero su concentración presenta variaciones estacionales y de largo plazo. El vapor de agua, por su parte, es muy variable tanto en tiempo como en espacio.

Otros gases como el óxido nítrico, el metano y el ozono se encuentran en menor proporción. Otro elemento variable de la atmósfera que actúa como gas, es el material suspendido en el aire como partículas de polvo, residuos de humo, sal de océano, bacterias, esporas, semillas, ceniza volcánica y partículas meteóricas (Pabón et al., 2019, pp. 36–37).

Tabla 1-1: Gases de la atmósfera

Gas	Formula Empírica	Porcentaje (por volumen)
Gases permanentes		
Nitrógeno	N_2	78,08
Oxígeno	O_2	20,95
Argón	Ar	0,93
Neón	Ne	0,0018
Helio	He	0,0005
Hidrógeno	H	0,00006
Xenón	Xe	0,00009
Gases variables		
Vapor de agua	H_2O	0 a 4
Dióxido de carbono	CO_2	0,036
Metano	CO_4	0,00017
Óxido nítrico	N_2O	0,00003
Ozono	O_3	
Partículas	-	0,000001
Clorofluorocarbonos (CFC)	-	0,0000001

Fuente: (Camilloni & Vera, 2019, p. 3).

Realizado por: Ulloa, Tania, 2022.

1.5. Estructura de la atmosfera

La atmósfera se divide en una serie de capas concéntricas, en función de su composición y temperatura que en orden ascendente desde la superficie terrestre son: troposfera, estratosfera, mesosfera, termosfera, exosfera y magnetosfera (Ruiz, 2020, p. 10).

1.5.1. Tropósfera

Se caracteriza por una disminución regular de la temperatura con la altura, que importa unos $0,6^{\circ}\text{C}$ por 100 m, manteniéndose como una capa relativamente diferenciada a causa del aire más frío de la estratosfera. La zona en que el gradiente negativo de temperatura de la troposfera cambia a temperatura constante se conoce como tropopausa. Esta capa no es continua, sino que suele mostrar dos, y a veces tres, niveles separados de discontinuidad, a latitudes diferentes en ambos hemisferios. La tropopausa tropical tiene un espesor de unos 16-18 km. A 35-500 hay una discontinuidad, en los dos hemisferios, entre esta capa y la tropopausa polar, de espesor comprendido entre 9 y 10 km. Entre las tropopausas polar y tropical existe una tercera, la tropopausa de latitud media, con un espesor de 10-12 km. La posición de las tropopausas varía, de altura y latitud, de un día a otro y con las estaciones. Incluso en un período de 24 horas la altura de la tropopausa sobre un punto dado puede cambiar en varios kilómetros.

A través de la tropopausa se produce un intercambio de materia, relativamente lento, en ambas direcciones. El cambio desde la troposfera se produce, en su mayor parte, en la tropopausa tropical, mientras que hacia la troposfera ocurre principalmente en la tropopausa de latitud media. La duración del cambio de la estratosfera a la troposfera es de meses, hecho de gran importancia para los contaminantes que se vierten a la estratosfera y se destruyen en la tropósfera o en la superficie terrestre. En un hemisferio dado, el tiempo de mezcla en la troposfera es de semanas, mientras que el cambio completo entre hemisferios exige aproximadamente un año. Como la mayor parte de los contaminantes atmosféricos se vierte en el hemisferio norte, el lento tiempo de mezcla interhemisférica es importante a la hora de considerar las consecuencias globales de un contaminante atmosférico (Spedding, 2017, pp. 1-2).

1.5.2. Estratósfera

Las propiedades físicas de esta capa son similares a las de la troposfera, si bien se invierte el gradiente de temperatura, hasta el punto de que, a 60 km, ésta alcanza de 10 a 20°C . Dentro de la estratósfera la mezcla es muy destacada a causa de las fuertes corrientes horizontales de aire y

la considerable mezcla vertical. Su contenido de vapor de agua es muy bajo, por lo que en esta capa no se desarrollan los procesos asociados con la precipitación (Spedding, 2017, p. 3).

1.5.3. Mesósfera

En la mesósfera, la temperatura disminuye de nuevo con la altura, llegando a -70°C en la mesopausa. Se cree que la elevación de temperatura en la estratosfera va asociada con la absorción por el ozono de radiación ultravioleta e infrarroja del sol. Como la concentración de ozono en la mesosfera decrece rápidamente con la altura, es probable que el descenso de temperatura en esta capa se deba a la disminución de la absorción de radiación solar por el ozono (Spedding 2017, p. 3).

1.5.4. Termósfera

Se conoce también como ionosfera y es la capa más alta de la atmósfera admitida hasta ahora. Se caracteriza por un aumento regular de la temperatura con la altura, y a 200 km supera los 5000 e y los 10000 e en el límite superior (700-800 km). Este hecho está relacionado con la absorción de radiación solar ultravioleta por el oxígeno y nitrógeno moleculares. El aire de la termosfera se ioniza por acción de la radiación solar y las partículas resultantes se disponen en una serie de subcapas, responsables de la reflexión de las ondas de radio (Spedding, 2017, p. 3).

1.6. Contaminación atmosférica

Se define como la contaminación del aire causada por las actividades del hombre, como, por ejemplo, los gases que expulsan los automóviles, ciertas industrias, incendios, quemas forestales, basura y desechos industriales y domésticos, principalmente. Pero la contaminación atmosférica puede derivarse de actividades en el que el hombre nada tiene que ver como la dispersión del polen, las erupciones volcánicas o los incendios forestales por acciones naturales (Echeverri, 2019, p. 79).

A escala mundial, la combustión es la principal causa de contaminación. La demanda de energía y la combustión, así como el crecimiento de la población y la actividad industrial, han intensificado fuertemente la contaminación del aire en particular, en el nivel urbano y de los corredores industriales (Echeverri, 2019, p. 79).

1.7. Clasificación de los contaminantes

- Monóxido de carbono (CO): Es un gas incoloro e inodoro. Aparece a elevadas concentraciones en zonas que tienen una aireación escasa. Más del 90% del CO atmosférico proviene de fuentes naturales, principalmente de la oxidación del metano. Entre las fuentes antropogénicas destaca el transporte y, en menor medida, las plantas de combustión, las instalaciones de tratamiento y distribución de combustibles fósiles. El incremento de la cabaña ganadera aumenta también el incremento de metano en la atmósfera (Grijalba, 2016, pp. 53–55).
- Dióxido de carbono o anhídrido carbónico (CO₂): Es uno de los componentes principales de la atmósfera y, en cantidades normales, ayuda a mantener la temperatura adecuada en el planeta y es fundamental en los procesos de la fotosíntesis y la respiración. Se produce, principalmente, en la quema de combustibles fósiles. El exceso de CO₂ aumenta el efecto invernadero, contribuyendo al calentamiento global (Grijalba, 2016, pp. 53–55).
- Óxidos de nitrógeno (NO_x): Son gases emitidos durante procesos de combustión y son uno de los responsables de fenómenos como el smog o la lluvia ácida. Los más importantes son el NO₂ y el NO. En zonas de gran acumulación de tráfico los automóviles llegan a producir cerca del 60% del total de los NO_x. Existe un umbral de alerta de 400 µg/m³ para este contaminante en caso de superarse durante tres horas consecutivas en puntos representativos de la calidad del aire de la ciudad (Grijalba, 2016, pp. 53–55).
- Óxidos de azufre (SO_x): Son gases incoloros. Se distinguen el SO₂ (más abundante) y el SO₃ (es un compuesto inestable). El SO₂ procede, en cantidades prácticamente iguales, de fuentes naturales (la oxidación del sulfuro de hidrógeno en el metabolismo anaerobio de la materia orgánica) y de fuentes antropogénicas (fundamentalmente de procesos de combustión estacionaria, en plantas termoeléctricas, o de plantas de combustión industrial) (Grijalba, 2016, pp. 53–55).
- Hidrocarburos: Son sustancias que contienen hidrógeno y carbono. Están formadas por 4 átomos de carbono que dan lugar a las reacciones fotoquímicas que producen fenómenos como el smog fotoquímico. Pueden encontrarse en estados físicos distintos en función de su estructura molecular. Se producen principalmente en fuentes naturales, destacando la generación de metano. A nivel antropogénico se originan principalmente en el tránsito de vehículos, en procesos de combustión de materia orgánica, en las refinerías de petróleo, en los procesos que utilizan disolventes, etc. (Grijalba, 2016, pp. 53–55).
- Clorofluorocarbonos (CFC): Son derivados de los hidrocarburos, cuyos átomos de hidrógeno han

sido sustituidos por átomos de flúor y cloro. Estos contaminantes se concentran en la estratosfera y reaccionan produciendo la desaparición del ozono estratosférico. Se originan en procesos industriales, sobre todo en los sistemas de refrigeración, y en productos de uso cotidiano como los aires acondicionados o las calefacciones (Grijalba, 2016, pp. 53–55).

- **Compuestos orgánicos volátiles (COV):** Muchos de los compuestos orgánicos que utiliza el hombre se obtienen de forma artificial y generan vapores contaminantes con mucha facilidad. Pueden dañar seriamente la salud y el medio ambiente. Proviene, mayoritariamente, de la quema de combustibles y de la utilización de solventes, pinturas, pegamentos y otros productos que se utilizan tanto en el hogar como en la industria o el transporte. Se clasifican en:
 - **Compuestos extremadamente peligrosos para la salud:** Benceno, cloruro de vinilo y 1,2-dicloroetano (Grijalba, 2016, pp. 53–55).
 - **Compuestos clase A:** Los que pueden causar daños significativos al medio ambiente. Por ejemplo: acetaldehído, anilina o tricloroetileno (Grijalba, 2016, pp. 53–55).
 - **Compuestos clase B:** Tienen menor impacto sobre el medio ambiente. Por ejemplo: acetona y etanol (Grijalba, 2016, pp. 53–55).
- **Metales pesados:** Suelen encontrarse en concentraciones muy bajas, pero originan graves daños en la salud humana y en el medio ambiente. Los más perjudiciales para la salud humana son el mercurio y el plomo. El principal problema es que la naturaleza no es capaz de degradarlos. Proceden de pinturas, procesos de fundición, fabricación de baterías, tintes para el pelo, gasolina, etc. (Grijalba, 2016, pp. 53–55).

Tabla 2-1: Contaminantes primarios emitidos por fuentes antrópicas

Contaminante		Origen
Compuestos de carbono	CO	Combustión de hidrocarburos y biomasa
	CO ₂	Combustión de hidrocarburos
	CH ₄	Extracción de combustibles y emisiones de residuos.
Hidrocarburos	Parafina	Extracción de gas, emisiones de vehículos y refinarias.
	Olefinas	Emisiones de vehículos.
	Hidrocarburos aromáticos	Emisiones de vehículos y evaporación de disolventes.

NO _x	Proceso de combustión.
NH ₃	Combustión de carbón y petróleo, emisiones de residuos.
SO ₂	combustión de hidrocarburos.
SH ₂	Refinerías, industria papelera.
Mercaptanos	Refinerías, industria papelera.
HCl	Combustión de carbón, incineración de plásticos.
Compuestos clorocarbonatados	Evaporación de disolventes, emisiones directas.

Fuente: (Grijalba, 2016, pp. 54–55).

Realizado por: Ulloa, Tania, 2022.

Secundarios:

Se originan como consecuencia de las reacciones y transformaciones que experimentan los contaminantes primarios en la atmósfera. Estas reacciones están catalizadas por la luz solar ultravioleta (Grijalba, 2016, p. 56).

- **Ácido sulfúrico (H₂SO₄):** Su presencia en la atmósfera suele ser consecuencia de la reacción entre el SO₂ y un radical hidroxilo (OH⁻). Esta reacción suele estar impulsada por la luz solar (Grijalba, 2016, p. 56).
- **Ácido nítrico (HNO₃):** Se origina por la interacción de los óxidos de nitrógeno (principalmente el NO y el NO₂ con ozono y humedad atmosférica en presencia de sustancias catalíticas como aerosoles metálicos y de la radiación ultravioleta (Grijalba, 2016, p. 56).
- **Ozono troposférico:** Es una sustancia cuya molécula está formada por tres átomos de oxígeno. En su forma natural aparece en las capas superiores de la atmósfera formando la capa de ozono que protege el planeta de las radiaciones solares. Proviene de la oxidación de los compuestos orgánicos volátiles de los solventes, de la quema de combustibles y de algunos componentes de las pinturas y espráis. Las principales fuentes de emisión son la industria y el transporte (Grijalba, 2016, p. 56).

1.8. Fuentes de emisiones atmosféricas

Se clasifican en fuentes fijas, fugitivas y móviles.

1.8.1. Fuentes fijas

Se considera a toda aquella fuente de emisión de contaminantes en la que se puede identificar el punto en el cual vierten contaminantes hacia la atmósfera.

- Elaboración de productos alimenticios y bebidas
- Fabricación de productos textiles y prendas de vestir
- Producción de madera incluyendo muebles
- Industrias de papel, imprentas, editoriales y productos de papel
- Industria química, de caucho y de plástico
- Fabricación de productos minerales no metálicos
- Fabricación de productos elaborados de metal

(Pareja et al. 2012, p. 349).

1.8.2. Fuentes móviles

Las fuentes móviles es decir el tráfico vehicular representa el mayor porcentaje de emisiones al ambiente, debido principalmente a la utilización de combustibles fósiles. Los combustibles fósiles, son una mezcla de diferentes hidrocarburos, y en el momento que se realiza la combustión los productos generados son dióxido de carbono, dióxido de nitrógeno y dióxido de azufre (Romero & Vaca 2012, p. 67).

1.8.3. Fuentes fugitivas

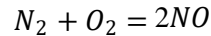
Son aquellas fuentes que no disponen de chimeneas o ductos por lo cual sus contaminantes son expulsados directamente a la atmosfera. Es decir, son las emisiones directas que son producidas por las calles, obras de construcción y demolición así también como de origen natural.

1.9. Óxidos de nitrógeno

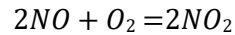
Los óxidos de nitrógeno son los gases formados por diferentes elementos químicos como son el nitrógeno y el oxígeno, los cuales al realizar una combustión liberan óxido nítrico el cual al reaccionar produce dióxido de nitrógeno. La producción de NO_x se debe a la incineración de combustibles fósiles, por lo que dependen directamente de la temperatura y la presencia de

nitrógeno y oxígeno (Alcivar, 2016, p. 19).

El NO al reaccionar con el O₂ forma el NO₂:



(Ecuación 1-1)



(Ecuación 2-1)

1.10. Dióxido de azufre

Es un gas incoloro con un olor desagradable, el cual se disuelve en agua muy fácilmente. El dióxido de azufre en el aire es el resultado principalmente de actividades asociadas con la quemada combustibles fósiles (carbón, petróleo) como en las centrales eléctricas o de la fundición de cobre. En la naturaleza, el dióxido de azufre también puede ser liberado al aire, por ejemplo, de erupciones volcánicas (Feliz et al., 2017, pp. 9–10).

El SO₂ se disuelve en agua para formar ácido e interactúa con otros gases y partículas en el aire para formar sulfatos y otros productos que pueden ser dañinos (Feliz et al., 2017, pp. 9–10).

1.11. Normativa Ambiental

1.11.1. Límites máximos permisibles

Es la concentración de sustancias contaminantes contenidas en las emisiones procedentes de instalaciones, que no deben superarse durante un periodo determinado, cuyo objetivo es evitar, prevenir o reducir los impactos negativos para la salud humana y para el ambiente (Cazorla, 2020, p. 14).

1.11.2. Código Orgánico Ambiental

Según el Art. 190.- De la calidad ambiental para el funcionamiento de los ecosistemas. Las actividades que causen riesgos o impactos ambientales en el territorio nacional deberán velar por la protección y conservación de los ecosistemas y sus componentes bióticos y abióticos, de tal

manera que estos impactos no afecten a las dinámicas de las poblaciones y la regeneración de sus ciclos vitales, estructura, funciones y procesos evolutivos, o que impida su restauración (LEXIS FINDER 2018, p. 55).

Según el Art. 193.- Evaluaciones adicionales de la calidad del aire. La Autoridad Ambiental Nacional o el Gobierno Autónomo Descentralizado competente, según corresponda, dispondrán evaluaciones adicionales a las establecidas en la norma a los operadores o propietarios de fuentes que emitan o sean susceptibles de emitir olores ofensivos o contaminantes atmosféricos peligrosos. La norma técnica establecerá los métodos, procedimientos o técnicas para la reducción o eliminación en la fuente de emisiones de olores y de contaminantes atmosféricos peligrosos (LEXIS FINDER 2018, p. 55).

1.11.3. Norma De Calidad Del Aire Ambiente

Según el literal 2.22 establece que es el valor que establece el límite máximo permisible de concentración, a nivel del suelo, de un contaminante del aire durante un tiempo promedio de muestreo determinado, definido con el propósito de proteger la salud y el ambiente. Los límites permisibles descritos en esta norma de calidad de aire ambiente se aplicarán para aquellas concentraciones de contaminantes que se determinen fuera de los límites del predio de los sujetos de control o regulados (Ministerio del Ambiente 2017, p. 310).

Según el literal 4.1.2.1 para los contaminantes comunes del aire, se establecen las siguientes concentraciones máximas permitidas. El Ministerio del Ambiente establecerá la frecuencia de revisión de los valores descritos en la presente norma de calidad de aire ambiente. La Entidad Ambiental de Control utilizará los valores de concentraciones máximas de contaminantes del aire ambiente aquí definidos, para fines de elaborar su respectiva ordenanza o norma sectorial. La Entidad Ambiental de Control podrá establecer normas de calidad de aire ambiente de mayor exigencia que los valores descritos en esta norma nacional, esto si los resultados de las evaluaciones de calidad de aire que efectúe dicha Autoridad indicaren esta necesidad (Ministerio del Ambiente 2017, p. 311–314).

Dióxido de azufre SO_2 : El promedio aritmético de la concentración de SO_2 determinada en todas las muestras deberán exceder de 60 microgramos por metro cúbico al año, 125 microgramos por metro cúbico en 24 horas (Ministerio del Ambiente 2017, p. 311–314).

Óxidos de nitrógeno, expresados como NO_2 El promedio aritmético de la concentración de óxidos de nitrógeno, expresada como NO_2 , y determinada en todas las muestras en un año no deberá exceder de 40 microgramos por metro cúbico. La concentración máxima en una hora es 200

microgramos por metro cúbico (Ministerio del Ambiente 2017, p. 311– 314).

1.12. Muestreo Atmosférico

Es aquel proceso en el cual se toman muestras en puntos específicos en la atmósfera, con la finalidad de aplicar técnicas y metodologías que permitan conocer el estado de la calidad del aire del sector muestreado en un tiempo determinado.

1.13. Muestreo Atmosférico

Es aquel proceso en el cual se toman muestras en puntos específicos en la atmósfera, para aplicar técnicas o metodologías que permitan conocer el estado de la calidad del aire del sector muestreado en un tiempo determinado.

1.11.4. Tipos de muestreadores atmosféricos

- Muestreo a caudal constante

Se fija un determinado caudal de toma de muestra y se mantiene durante todo el muestreo. El caudal se elige en función del contaminante a muestrear, tipo de emisión, cantidad de elemento de retención, concentración de contaminante esperado y tiempo de muestreo. Se utilizan normalmente en muestreos de gases y en emisiones constantes (Crespo, 2018, pp. 6–7).

- Muestreo proporcional

Es aquel en el que el caudal de toma de muestra se ajusta de manera que se mantenga proporcional al caudal del gas emitido por la chimenea. Para establecer el caudal de muestreo, además de las consideraciones del muestreo a caudal constante hay que tener en cuenta el caudal de emisión (Crespo, 2018, pp. 6–7).

- Muestreo puntual

Es aquel en el que se recolecta una única muestra durante un período corto de tiempo. Para un estudio representativo son necesarias múltiples y frecuentes muestras. La ventaja que presenta este método es que proporciona variaciones de concentración en el tiempo o lo largo del conducto o chimenea (Crespo, 2018, pp. 6–7).

- Muestreo de partículas

Para la obtención de muestras representativas de partículas sólidas o líquidas la muestra ha de ser tomada en condiciones isocinéticas, es decir que la velocidad en la boquilla de aspiración y velocidad de los gases de la chimenea en el punto de muestreo son los mismos (Crespo, 2018, pp. 6–7).

1.11.5. Tipos de muestreadores atmosféricos

- Muestreador pasivo

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

- Muestreador activo

Necesita de energía eléctrica para absorber el aire a muestrear a través de un colector físico o químico. La sensibilidad del muestreo aumenta cuando se obtiene un volumen adicional, por lo que pueden obtenerse mediciones diarias promedio (Carrales & Hernandez, 2019, pp. 9–10).

- Muestreo con bio-indicadores:

Para este método se emplea el uso de especies vivas generalmente vegetales donde su superficie actúa como receptora de los contaminantes. Pero aún existen problemas en cuanto a la estandarización y armonización de esta técnica (Carrales & Hernandez, 2019, pp. 9–10).

1.11.6. Biomonitoreo

Es el uso de organismos y/o biomateriales para obtener información sobre ciertas características de la biosfera. La información se deduce comúnmente ya sea, por cambios en el comportamiento del organismo biomonitor (composición de especies y/o riqueza, fisiológicos y/o el rendimiento ecológico y morfología) o por concentraciones específicas de sustancias en el tejido del biomonitor (Aguilera, 2018, p. 14).

Esta técnica se basa en el principio de que una sustancia tóxica es perjudicial a los organismos vivos, así por medio de estos logramos determinar la concentración de contaminantes tanto en el organismo como en el medio en el que se desenvuelven. Entre los organismos más usados, como bioindicadores y bioacumuladores, se encuentra los musgos. Las técnicas del biomonitoreo de un producto biológico dado se dan analizando la variación de la morfológica, fisiológica o genética de los organismos, medidas de las concentraciones de sustancias en los organismos (Noriega, 2016, pp. 9–11).

- **Biomonitores**

Los Biomonitores se utilizan en diversos aspectos de las investigaciones ambientales. Los primeros pasos en este campo fueron realizados para evaluar los niveles de contaminación a lo largo de muchos países. En la actualidad hay un cambio de paradigma, ya que al presente la mayor preocupación está dada no por el medio ambiente en sí, sino por la salud humana; por lo tanto, se utilizan biomonitores para estimar el impacto de las fuentes de contaminantes sobre la salud de la población (Aguilera, 2018, p. 15).

Los biomonitores deben cumplir una serie de requerimientos, entre los que se puede citar:

- Poseer una amplia distribución geográfica y ecológica, lo que permite la comparación de resultados.
- Ser común y relativamente estático para tener una referencia espacial clara.
- Estar disponible todo el año y, si es posible, varios años, con el fin de seguir la evolución de la contaminación en el tiempo y por clases de edad.
- Poseer un tamaño o densidad suficiente para poder disponer de biomasa mínima para los análisis.
- Ser un buen acumulador, de tal forma que la concentración corporal sea lo suficientemente elevada para permitir su análisis directo (factor de bioacumulación elevado).

(Aguilera, 2018, p. 15).

Los líquenes, musgos y algunas plantas epífitas son ampliamente utilizados en estudios de biomonitoreo de contaminación atmosférica, ya sea como bioindicadores de la calidad del aire o como bioacumuladores de contaminantes atmosféricos (Aguilera, 2018, p. 15).

- **Briofitas:**

En el ambiente terrestre, con cerca de 20.000 especies, las briofitas son el segundo grupo más importante de plantas verdes. Son plantas de pequeño tamaño que han colonizado el medio terrestre, aunque abundan principalmente en lugares de elevada humedad, puesto que necesitan del agua para llevar a cabo su ciclo reproductor. Otra característica de las briofitas es que presentan una alternancia de generaciones heteromórfica, en la cual el gametófito es haploide y es la generación dominante frente al esporófito que es diploide y se desarrolla sobre el gametófito (Noriega, 2016, p. 14).

- *Sphagnum*

Sphagnum es el género más abundante dentro de las briófitas, es una especie cosmopolita pero restringida a ecosistemas húmedos. *Sphagnum* es más abundante en zonas boreales donde domina gran parte de la vegetación de humedales. Probablemente hay cerca de 150 especies reconocibles; sin embargo, han sido descritas más de 300 (Canchuricra et al., 2017, p. 3).

Sphagnum está distribuido a través de todo el mundo y se extiende con mayor abundancia en la porción templada fría del hemisferio norte, donde es la vegetación dominante de los humedales (Canchuricra et al., 2017, p. 4).

Tabla 3-1: Taxonomía de la especie *Sphagnum*

División	<i>Bryophyta</i>
Reino	Plantae
Clase	<i>Sphagnopsida</i>
Orden	<i>Sphagnales</i>
Familia	<i>Sphagnaceae</i>
Genero	<i>Sphagnum</i>

Fuente: (Canchuricra et al., 2017, p. 4).

Realizado por: Ulloa, Tania, 2022.

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1. Tipo de Investigación

El tipo de investigación está basada en una metodología de investigación cuantitativa, ya que las variables que fueron utilizadas son variables estadísticas, según el nivel de profundización en el objeto de estudio explicativa ya que se buscó determinar contaminantes atmosféricos que se encontraron en el sector del parque industrial de Ambato, según la manipulación de variables es no experimental ya que se observó los cambios que se dan en el biomonitor.

2.2. Diseño de la Investigación

2.2.1. Tipo de diseño

Por el método de investigación cuantitativa, ya que las variables en estudio fueron variables estadísticas y según la manipulación de variables experimental, es no experimental ya que se observó los cambios que se dan en el biomonitor.

2.3. Lugar de estudio

El sector del parque industrial de Ambato se encuentra ubicado en la provincia de Tungurahua, al norte de la ciudad, en la vía principal de la Panamericana Norte o más conocida como Paso Lateral. En el sector se encuentran ubicadas la mayoría de las empresas manufactureras tales como: industrias del calzado, textil, agrícola, etc., que mantienen una producción constante a lo largo del año, y que abastecen a la misma provincia y a las otras, así como también debido a su ubicación se puede identificar la circulación de diversos automotores en todo el sector.



Figura 1-2. Sector del parque industrial Ambato
Realizado por: Ulloa, Tania, 2022.

2.3.1. Método de muestreo

El tipo de muestreo que se utilizó para la determinación de contaminantes atmosféricos en el sector del parque industrial de la ciudad de Ambato fue de tipo no probabilístico debido a que no se utilizó ninguna fórmula estadística sino se manejó un muestreo por aleatoriedad estratificada.

2.3.2. Tamaño de la muestra

Se analizaron 22 puntos los cuales se ubicaron alrededor de la zona de estudio en puntos determinados, para ello se colocó en cada punto un biomonitor. El biomonitoreo se realizó en un periodo de dos meses, teniendo en cuenta que los biomonitores fueron analizados mensualmente por lo cual al finalizar el primer mes se debió retirar los primeros biomonitores y se colocaron nuevamente los siguientes.



Figura 2-2. Puntos de muestreo
Realizado por: Ulloa, Tania, 2022.

Tabla 4-2: Puntos de Bimonitoreo

Puntos	Coordenada Este m	Coordenada Norte m
1	767811,2	9867801,7
2	767969,4	9867589,6
3	768070,3	9867770,9
4	768176,4	9867764,6
5	768239,3	9867753,9
6	768231,3	9867670,5
7	768212	9867512,1
8	768195,1	9867426,1
9	768127,6	9867398
10	768094,3	9867483,3
11	768100,7	9867669,7
12	768007,7	9867721,4
13	-78,59176	9867630,5
14	767977,1	9867481,8
15	767900,3	9867427,4
16	767853,6	9867484,2
17	767868,5	9867589,6
18	767784,9	9867685,2
19	767751	9867473,6
20	767770,7	9867291
21	767907,1	9867198
22	768110,7	9867099,5

Realizado por: Ulloa, Tania, 2022.

2.4. Técnicas de recolección de datos

La metodología de recolección de datos para el biomonitor consistió en la aplicación de tres fases:

- Primera fase: Se preparó y adecuó los biomonitores.
- Segunda fase: Se ubicaron los biomonitores en los puntos de muestreo, una vez transcurrido un mes se retiró y colocó los nuevos biomonitores.
- Tercera fase: Se empleó espectrofotometría UV-visible para realizar el análisis de los biomonitores recolectados.

2.5. Biomonitores

2.5.1. Preparación de biomonitores

- Selección del lugar de recolección de briofitas

Las briofitas son plantas terrestres que crecen en lugares donde la humedad es alta, por lo cual mediante consulta bibliográfica se identificó que, en la provincia de Tungurahua, en el cantón Baños, parroquia Río Negro se pueden encontrar diferentes variedades de briofitas, en el sector conocido como las Estancias que se encuentra ubicado en las coordenadas 811076,9 m E y 9843472,2 m S, en latitud $-1,4144572^\circ$ y longitud $-78,20470^\circ$.



Figura 3-2. Lugar de recolección
Realizado por: Ulloa, Tania, 2022.

- Identificación de especies de briofitas

Para identificar la especie se realizó una búsqueda de los tipos de briofitas en un bosque húmedo perteneciente a la provincia de Tungurahua, cantón Baños parroquia Río Negro, exactamente en el sector de las Estancias. Para ello se siguió los siguientes pasos:

- Identificación y reconocimiento el sector para constatar la presencia de briofitas que se utilizaron

en este estudio.

- **Recolección de especies:** Para proceder a recolectar, se necesitó un recipiente de plástico de gran capacidad en el cual se almacenó las diferentes especies recolectadas, realizando una separación de las briofitas de la superficie, para ellos se debió tener en cuenta la contaminación que se pudo producir al manipular de manera directa las especies, por ello se utilizó guantes para disminuir la contaminación y evitar alguna alteración en las especies recolectadas.
- **Análisis de especies:** Se analizó los diferentes tipos de briofitas localizadas en el sector según sus características morfológicas para cada especie (Fonseca, 2021, p. 30).
- **Mediante visualización y comparación en fuentes bibliográficas se logró identificar a que especie corresponde cada tipo de briofita encontrada** (Fonseca, 2021, p. 30).
- **Identificación de especies aptas para que actúen como biomonitor:**

Para identificar la especie adecuada de briofita que se utilizó en la determinación de contaminantes atmosféricos en el sector del parque industrial de la ciudad de Ambato utilizando briofitas como biomonitor biológico se empleó un biorreactor en que se colocaron las briofitas recolectadas.

Materiales

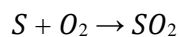
- Biorreactor con sello hermético
- Manguera transparente
- Kitasato de 500 mL
- Reverbero

Reactivos

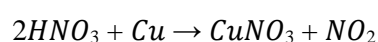
- Azufre
- Cobre
- Ácido nítrico

- Metodología de inyección directa de contaminantes a las briofitas:
- Se realizó un agujero en la parte lateral del recipiente en el cual se introdujo la manguera para formar el biorreactor.
- Se realizó separaciones dentro del biorreactor donde se colocaron las diversas especies de briofitas y se procedió a sellar.
- Se unió la manguera al Kitasato, seguido se agregó azufre.
- Se colocó el Kitasato a altas temperaturas para calentarlo. Debido a la alta temperatura a la cual se expuso el azufre este reaccionó generando SO_2 , por lo cual se observó la presencia de humo de color naranja el cual se dirigió por la manguera hacia el biorreactor, se esperó hasta que se evapore completamente la reacción y no se presencie humo dentro del biorreactor.
- Para obtener NO_2 se procedió a realizar el proceso anterior, en el cual se debió colocar el cobre en el Kitasato y lentamente el HNO_3 . La producción de NO_2 se debe a la reacción que se produce por la interacción que se tiene del Cu con el HNO_3 (García, 2010, p. 143).
- La inyección de contaminante se realizó por cinco días añadiendo distintas cantidades de azufre, cobre y ácido nítrico respectivamente. Se añadió estos compuestos debido a que la reacción del azufre con el calor permitió generar SO_2 y la reacción entre el cobre y ácido nítrico generó NO_2 que son los contaminantes para estudiar contaminantes atmosféricos en el sector del parque industrial de la ciudad de Ambato utilizando briofitas como biomonitor biológico se empleó un biorreactor en que se colocaron las briofitas recolectadas.

Ecuación de generación de SO_2



(Ecuación 3-2)



(Ecuación 4-2.)

2.6. Análisis de concentración de contaminantes por espectrofotometría UV-Visible

Para identificar la capacidad de absorción de contaminantes utilizando biomonitores biológicos, se empleó la siguiente técnica en los tres tipos de briofitas previamente seleccionadas.

Materiales

- 5 Erlenmeyer de 100 mL
- 5 pipetas de 5 mL
- Pera de succión
- Pinza para tubos de ensayo
- 5 balones de aforo de 50 mL
- Reverbero

Reactivos

- Agua destilada
- Ácido clorhídrico
- Ácido nítrico
- Peróxido de hidrogeno al 30% Equipos
- Estufa
- Sorbona
- Espectrofotómetro UV-Visible

2.6.1. Metodología para análisis de muestras de briofitas

Se colocó las diferentes muestras en la estufa a una temperatura de 80°C durante 5 horas, las muestras contenían una cantidad aproximada de 200 mg. Para mantener sus características se colocaron en fundas herméticas refrigerándolas hasta realizar el tratamiento de estas.

- Se colocó en un erlenmeyer de 125 mL la muestra a analizar, y de manera lenta se colocó sobre la muestra 10 mL de ácido nítrico para proceder a calentar la muestra a una temperatura media.
- Se aumentó la temperatura del reverbero lo cual generó un cambio de color a marrón.
- Una vez producido el color marrón se procedió a retirar y dejar enfriar el erlenmeyer.
- En la muestra fría se añadió 5 mL de ácido nítrico.
- Se repitió el paso número 2 y 3 para añadir 2 mL de ácido nítrico.
- Se calentó a altas temperaturas hasta producir una reducción del volumen de la muestra entre 5-10 mL y se dejó enfriar.
- Se añadió 2 mL de peróxido de hidrógeno al 30% y se procedió a la calentar la muestra, en la cual se observó una aclaración de la solución.
- Se repitió el paso 8 varias veces hasta que la solución se tornó clara, y se dejó enfriar.
- Se añadió 2 mL de ácido clorhídrico en la muestra a altas temperatura provocando que esta se evapore hasta que se obtiene una cantidad aproximada de 5-7 mL.
- El contenido de la solución restante fue puesto en un balón de aforo de 50 mL y se procedió a aforar con agua destilada.
- Se traspasó la solución a tubos de 10 mL, seguido se realizó el análisis por espectrofotómetro donde fueron medidos en base a las longitudes establecidos para cada contaminante. Para NO_2 la longitud de onda es de 540 nm mientras que para SO_2 es de 571 nm según menciona (Fonseca, 2021, p. 33).

2.6.2. Preparación de biomonitores para el estudio de NO_2 y SO_2 en el aire

- Elaboración exposición y recolección de biomonitores

La especie utilizada en este estudio fue la briofita *Sphagnum*, la cual mostro mediante análisis de espectrofotometría una mayor cantidad de concentración de gases contaminantes al cual fue expuesta.

- Se desinfectó la briofita utilizando la técnica de (Fonseca, 2021, p. 33) lavándola con agua destilada en periodos de 2, 5, 15 y 20 minutos respectivamente.
- Se elaboró una bolsa de tela para colocar las muestras.
- Se pesó alrededor de 2000 mg de briofita y se colocó dentro de la bolsa.

- Se transportó los biomonitores en fundas herméticamente selladas hasta el lugar de estudio.
- Se colocó a una altura de dos metros y medio cada muestra de biomonitor.

Una vez transcurrido el tiempo de exposición (un mes), se procedió a retirar los biomonitores, los cual fueron etiquetados y se guardados en bolsas libres de contaminación hasta su preparación.

- Preparación de la solución para analizar los Biomonitores

La metodología utilizada en este proceso es la misma que se encuentra descrita en el literal 2.6.1 metodología para analizar muestras de briofitas.

- Análisis de biomonitores de dióxido de nitrógeno NO_2

Método de obtención de la concentración de NO_2 ($\mu g/m^3$)

Utilizando la curva calibración se procedió a relacionar las absorbancias obtenidas con la concentración de nitrito en la briofita. Los valores fueron los siguientes:

Tabla 5-2: Datos para realizar la curva de calibración de NO_2

Volumen	Concentración de nitritos en la muestra	Absorbancia a 540
40	40,095	0,5
20	20,254	0,25
10	9,302	0,112
0	0	0

Realizado por: Ulloa, Tania, 2022.

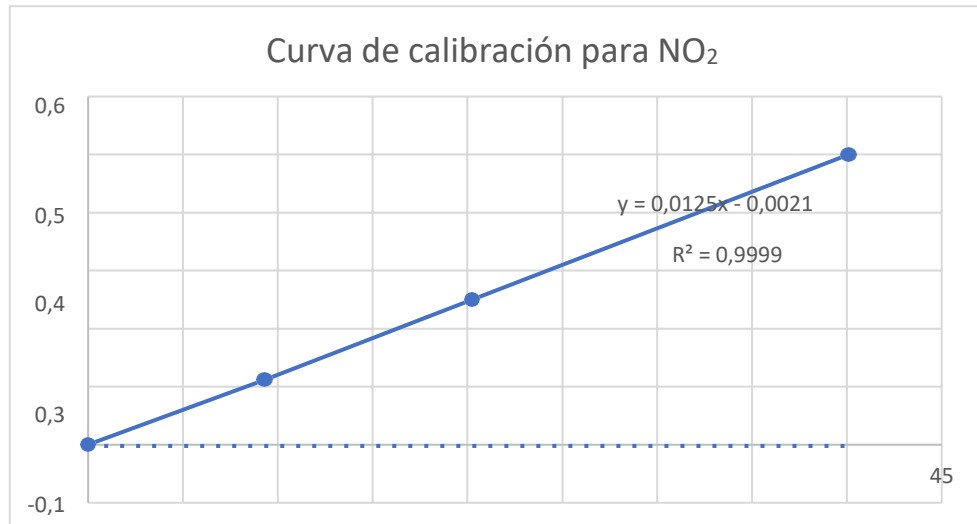


Gráfico 1-2. Curva de calibración para NO₂

Realizado por: Ulloa, Tania, 2022.

Se realizó una regla de tres para obtener la concentración de nitrito en la briofita en la cual se relacionó la absorbancia que presentó la muestra y la curva de calibración (Fonseca, 2021, p. 35).

$$C_2 \frac{\mu g}{ml} = \frac{C_1 * Abs_2}{Abs_1}$$

(Ecuación 5-2)

Donde:

- C1 (ug/mL) =Concentración de la absorbancia para NO₂.
- C2 (ug/mL) =Concentración de nitrito en la muestra.
- Abs1=Absorbancia en la curva de calibración.
- Abs2=Absorbancia de la muestra.

Para calcular la masa de nitritos se aplicó la siguiente formula

$$mNO_x(ug) = C_2 * V$$

(Ecuación 6-2)

Donde:

- m NO_x (ug)=Masa de nitritos en la muestra.
- C₂ (ug/mL) = Concentración de nitrito.
- V (mL)= Volumen de reactivos.

Para el cálculo de la concentración de NO₂ en el Ambiente, se aplicó la siguiente fórmula:

$$C_{NO_2} \frac{\mu g}{ml} = \frac{m_{NO_x} * L}{D_{12} * A * t}$$

(Ecuación 7-2)

- C_{NO_2} ($\mu g/m^3$) = Concentración de NO_2 en el ambiente.
- m_{NO_x} (μg) = Masa de nitritos en la muestra
- L (m) = Longitud.
- D_{12} (m^2/s) = Coeficiente de difusión entre NO_2 Aire.
- A (m^2) = Área.
- T (s) = Periodo de muestreo

(Fonseca, 2021, p. 37)

2.6.3. Análisis de biomonitores de dióxido de azufre (SO_2)

- Método de obtención de la concentración de SO_2 ($\mu g/m^3$)

Para determinar el contenido de sulfatos se utilizó la misma técnica que en el punto 2.6.4.1 en el que se relacionó la absorbancia obtenida de la muestra con la curva de calibración.

Tabla 6-2: Datos para realizar la curva de calibración de SO_2

Volumen	Absorbancia a 540
60	0,164
40	0,10933333
20	0,05466667
10	0,02733333
0	0

Realizado por: Ulloa, Tania, 2022.

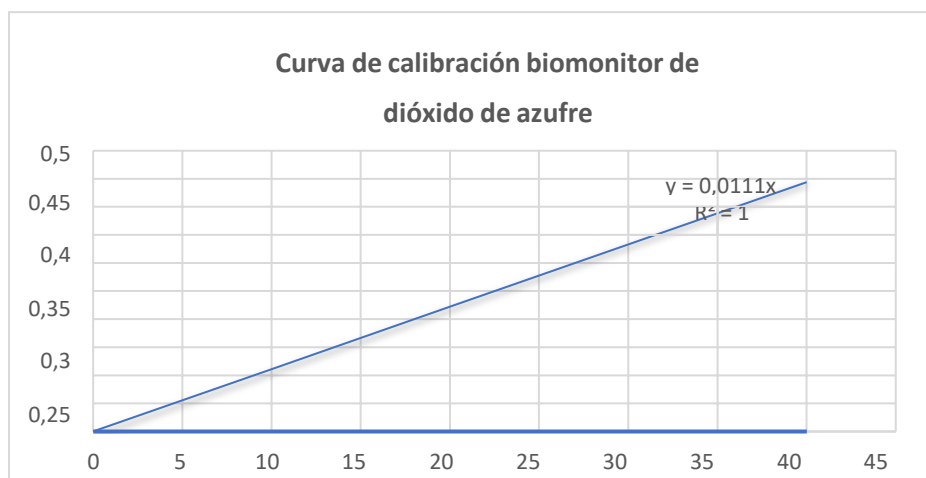


Gráfico 2-2. Curva de calibración utilizada para SO_2

Fuente: (Fonseca, 2021, p. 34).

$$C_2 \frac{\mu g}{ml} = \frac{C_1 * Abs_2}{Abs_1}$$

(Ecuación 8-2)

Donde:

- C1 (ug/mL) =Concentración de la absorbancia para NO_2 .
- C2 (ug/mL) =Concentración de nitrito en la muestra.
- Abs1=Absorbancia en la curva de calibración.
- Abs2=Absorbancia de la muestra.

Para calcular la masa de nitritos se aplicó la siguiente formula

$$mSO_2(ug) = CSO_2 * V_{RX}$$

(Ecuación 6-2)

Donde:

- $m SO_2$ (ug)=Masa de nitritos en la muestra.
- CSO_2 (ug/mL) = Concentración de sulfatos
- V_{RX} (mL)= Volumen de reactivos.

(Ecuación 9-2)

Para el cálculo de la concentración de SO_2 en el Ambiente, se aplicó la siguiente fórmula:

$$CSO_2 \frac{\mu g}{ml} = \frac{mSO_x * L}{Qk * t}$$

(Ecuación 10-2)

- $C SO_2$ (ug/m³) =Concentración de SO_2 en el ambiente.
- mSO_x (ug)=Masa de sulfatos en la muestra
- L (m)= Longitud.
- Qk (m³/min) =Valor de frecuencia de muestreo (119 m³/min).
- T(s)=Periodo de exposición

(Fonseca, 2021, p. 37).

2.7. Corrección de resultados

Para realizar las correcciones de las concentraciones NO_2 y de SO_2 , se emplearon los datos temperatura y presión promedio del periodo en el que se realizó el muestreo, como se menciona

en la normativa ecuatoriana “Las mediciones observadas de concentraciones de contaminantes criterio del aire deberán corregirse de acuerdo con las condiciones de la localidad en que se efectúen dichas mediciones, para lo cual se utilizará la siguiente ecuación” (LEXIS FINDER, 2015, p. 287).

$$C_c \rightarrow C_o = \frac{770 \text{ mmHg}}{P_{prom}} * \frac{T_{prom}}{298^\circ K}$$

(Ecuación 11-2)

Donde

- C_a = Concentración del contaminante.
- P_{prom} = Presión promedio.
- T_{prom} = Temperatura promedio.
- C_c = Concentración corregida.

(Bermeo & Vega, 2018, p. 47).

2.8. Elaboración de mapas temáticos

Para la elaboración de mapas se utilizó el software ArcGis en el cual al ingresar los datos obtenidos presenta las concentraciones de contaminación de NO_2 y SO_2 en los 22 puntos de muestro colocados en el sector del parque industrial de la ciudad de Ambato. Para ello el primer paso fue elaborar un Excel que contenga los datos promedio finales de NO_2 y SO_2 , así como los puntos y las coordenadas de posición de cada punto de muestreo. La base de datos generada se incorporó en el programa ArcGis así como un mapa georreferenciado. Con la herramienta Spatial Analyst Tools en Interpolation y Kriging o IDW se logró generar una interpolación referente a las concentraciones de cada contaminante que generó una variación de colores respecto a los rangos de contaminación en los puntos de estudio (Nieto, 2019, p. 40).

CAPÍTULO III

3. MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

3.1. Identificación de especies

En la investigación realizada por (Fonseca, 2021) sobre la evaluación de la calidad del aire mediante la aplicación de biomonitores específicamente briofitas aplicadas como muestreadores biológicos se logró conocer sobre las características y el lugar donde se podría localizar dicha especie, ya que esta se ubica en mayor cantidad en los bosques o sectores húmedos.

En el lugar de extracción se logró visualizar una gran cantidad de especies propias del lugar. Por lo que se procedió a extraer tres diferentes especies, que presentaban diferencias en sus características físicas.

3.2. Especie de briofita recolectada

Tabla 7-3: Especie de briofita

Codificación	Nombre de la especie
A1	<i>Breutelia trianae</i>
B1	<i>Dicranaceae</i>
C1	<i>Sphagnum</i>

Realizado por: Ulloa, Tania, 2022.

3.3. Cálculo para la concentración de generación de NO₂ y SO₂

El balance de ecuaciones nos permitió conocer la cantidad de reactivos que fueron utilizados en la generación de dióxido de nitrógeno y dióxido de azufre. Según (Marin, 2017, p. 1) El balanceo de ecuaciones no es más que una consecuencia de la ley de conservación de la masa de Lavoisier, por lo que la masa de los reactivos debe ser igual a la masa de los productos, esto implica que la cantidad y variedad de átomos presentes en los reactivos debe mantenerse en los productos, lo único que varía es la forma en que están combinados.

En base a la información anterior se realizó el balanceo de las ecuaciones (1-2) y (2-2) los cuales mediante cálculos cuantitativos arrojaron las siguientes cantidades: Se requirió 0,5 g de Azufre para generar 380.2 mL de SO₂, para los próximos cuatro días se incrementó el valor inicial en un 0.5 por día es decir para el día dos tres cuatro y cinco se añadió los valores de 1g, 1.5g, 2g, 2.5g respectivamente generando así 760.5 mL los próximos cuatro días se produjo un volumen de SO₂ de 1140.67 mL, 1520.81 mL y 1901.14 respectivamente. Mientras que para generar los valores

para NO₂ se utilizaron valores de 0.761g de Cu y 1.0629 mL de HNO₃ en el primer día los cuales generaron 380.38 mL el primer día, para los siguientes días se incrementaron los valores iniciales de reactivos obteniendo 760.4 mL, 1140.6388 mL, 1520.8518 mL y 1901.0647 mL de NO₂ para los siguientes cuatro días respectivamente.

3.4. Concentración promedio ambiental de NO₂ con biomonitores

Tabla 8-3: Concentraciones de dióxido de nitrógeno

Concentración Ambiente Medida De NO ₂ (µg/m ³) datos corregidos			Concentración promedio De NO ₂ por punto	
Diciembre-Enero				
PUNTO	Mes 1	Mes 2	Punto	µg/m ³
1	166,783	46,059	1	106,421
2	60,841	25,253	2	43,047
3	469,475	100,732	3	285,104
4	1168,693	204,167	4	686,430
5	112,299	36,435	5	74,367
6	263,644	290,829	6	277,237
7	3148,296	368,172	7	1758,234
8	987,078	223,736	8	605,407
9	4825,208	152,916	9	2489,062
10	2730,582	638,407	10	1684,494
11	663,197	132,415	11	397,806
12	1889,099	410,105	12	1149,602
13	463,421	212,554	13	337,987
14	3066,569	286,169	14	1676,369
15	212,187	630,952	15	421,569
16	1746,834	415,696	16	1081,265
17	2660,963	272,192	17	1466,577
18	526,986	397,991	18	462,488
19	1274,635	247,032	19	760,833
20	1982,933	356,058	20	1169,495
21	1574,299	237,713	21	906,006
22	1598,515	430,605	22	1014,560

Realizado por: Ulloa, Tania, 2022.

En la Tabla 10-3 se tiene los resultados de las concentraciones de NO₂ analizados durante los meses de diciembre y enero en el sector del Parque Industrial de la ciudad de Ambato, utilizando briofitas en 22 puntos de muestreo los cuales indican valores diferenciados entre un mes y otro, en diciembre se tienen valores que van desde 60,841 µg/m³ hasta 4825,208 µg/m³, mientras que para enero se tienen valores desde 25,253 µg/m³ hasta 638,407 µg/m³. Así mismo se tienen valores que van desde 43,047 µg/m³ hasta 2489,062 µg/m³, en los datos de las concentraciones promedio corregidas.

3.4.1. Variación de la concentración ambiente del mes de diciembre corregida de NO₂ con biomonitores

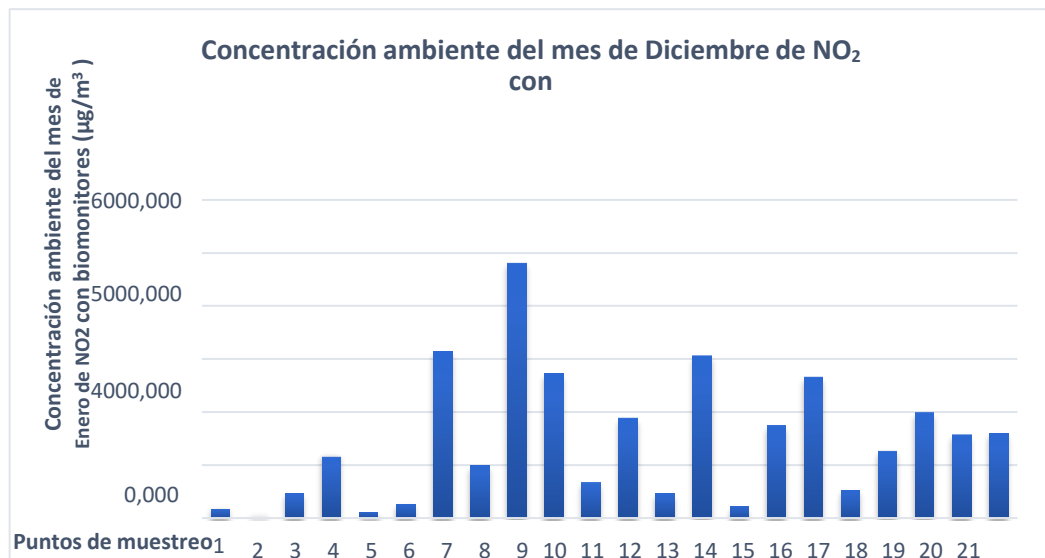


Gráfico 3-3. Concentración del mes de diciembre de NO₂ con biomonitores

Realizado por: Ulloa, Tania, 2022.

El Gráfico 3-3 representa los resultados obtenidos en el primer mes de estudio correspondiente a diciembre, en estos datos se puede evidenciar que se tiene valores que van desde 60,841 µg/m³ hasta 4825,208 µg/m³. Los valores anteriormente mencionados corresponden al punto 2 y 9 respectivamente los cuales indican que sus valores corresponden al punto más alto y bajo de concentración de contaminantes al que se encontraron expuestos en dicho mes. Así mismo en base a la gráfica se puede observar que dentro del mismo lugar se tienen una variación en la concentración de contaminantes. Es así como se puede notar que los puntos 7 y 14 presentan una contaminación alta después del punto 9. Mientras que los puntos 1,2, 3, 5, 6, 11, 13, 15 y 18 representan a aquellos que tienen una concentración un poco más alta que el punto 2 pero más baja que el punto 9, tomando en cuenta lo antes mencionado estos cambios en las diferentes concentraciones se puede dar debido a la ubicación que tienen los biomonitores dentro del sector de estudio. En el estudio realizado por (Bocanegra et al., 2019, p. 15) menciona que las briofitas resultan ser muy efectivas como sistema de alerta, debido a que permiten detectar tempranamente signos de cambio ambiental reciben la mayor parte de nutrientes directamente de la atmósfera además están desprovistos de cutícula lo cual, les otorga el carácter poiquilohídricos y permite la recepción de nutrientes y contaminantes aéreos como SO₂, NO₂, CO₂, HF y HCl, con lo cual se puede comprobar el uso efectivo de la briofita para alisar concentraciones de NO₂ Y SO₂ en el sector del parque industrial de la ciudad de Ambato.

3.4.2. Variación de la concentración ambiente del mes de enero corregida de NO₂ con biomonitores

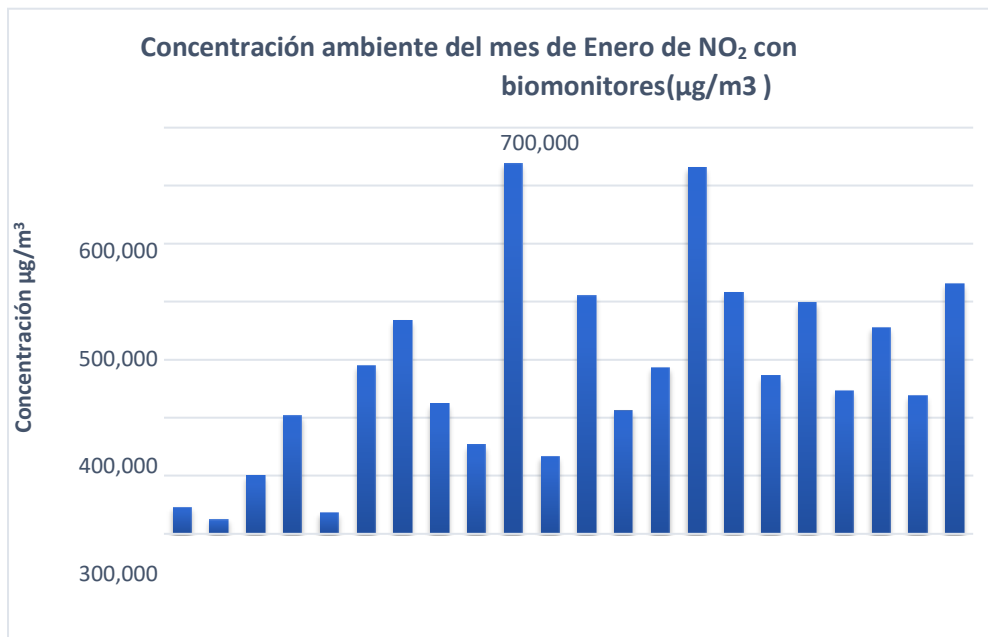


Gráfico 4-3. Concentración del mes de enero de NO₂ con biomonitores
Realizado por: Ulloa, Tania, 2022.

En el Gráfico 4-3 indica los resultados obtenidos de concentración de NO₂ durante el mes de enero, el cual muestra una variación significativa en comparación con los resultados obtenidos durante el primer mes de análisis (diciembre). A diferencia del mes anterior los rangos que se obtuvieron van desde 25,253 µg/m³ hasta 638,407 µg/m³. Considerado como el punto mínimo al punto 2 y al máximo el punto 10 respectivamente.

Las variaciones que se obtienen entre los meses de diciembre y enero varían de la siguiente manera: En relación con el punto 2 que en el mes de enero presentó un valor de 25,253 µg/m³ en el mes de diciembre nos dio un valor de 60,841 µg/m³ por lo cual podemos identificar una disminución en la generación de NO₂, de la misma manera en el punto 10 el valor de enero que es de 638,407 µg/m³ muestra una disminución más significativa ya que en el mes de diciembre se tuvo 2730,582 µg/m³ como valor de contaminación. Así mismo al realizar una comparación entre el uno y el otro mes se pudo observar que la mayoría de los puntos muestran una disminución en el segundo mes de muestreo, esto se puede dar debido al periodo de muestreo en el que se realizó, la actividad que realizan las diferentes empresas que se encuentran en el sector, así como el factor climático. En el estudio realizado por (Gutiérrez 2021, p. 63) menciona que una causa por la que se presenta bajas concentraciones puede encontrarse asociada en el periodo de la toma de datos, como el trabajo fue realizado en los meses de diciembre y enero que corresponden a temporada de lluvias, se puede

asumir que este es un factor que pudo disminuir el contaminante en el aire, ya que al ocurrir reacciones de los gases medidos y las moléculas de agua forman deposición de estos en suelo.

3.4.3. Variación de la concentración promedio ambiente final corregida de NO₂

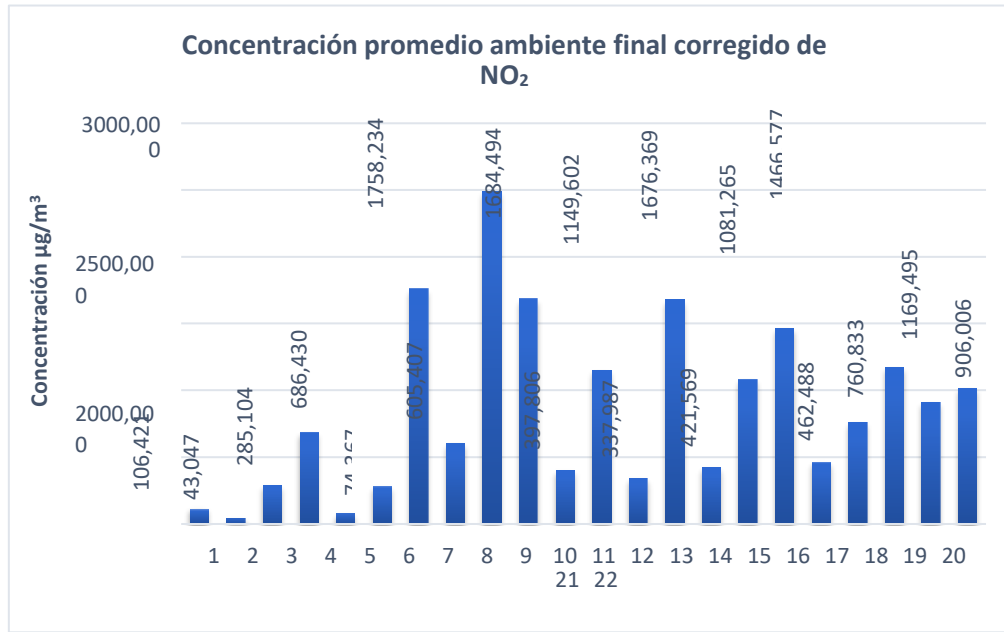


Gráfico 5-3. Concentración promedio final de NO₂
Realizado por: Ulloa, Tania, 2022.

En el Gráfico 5-3 refleja los datos obtenidos de la concentración promedio ambiente final corregido para NO₂ en los meses de diciembre y enero. Los datos obtenidos van desde 43,047 µg/m³ que corresponde al punto 2, hasta 2489,062 µg/m³ que corresponde al 9, siendo el mínimo y el máximo respectivamente. Al realizar una comparación de los valores obtenidos entre diciembre y enero de los 22 puntos de muestreo se pudo identificar que de los 22 puntos tan solo dos de ellos aumenta su valor en el mes de enero mientras que los otros 20 muestran una disminución en la cantidad de contaminante presente. Sin embargo, el punto 15 es significativo ya que es uno de los puntos que muestran un incremento de un mes al otro, debido a su ubicación frente a la fábrica de destilación de licor ubicada dentro del parque industrial. Así mismo los puntos 7, 9, 10 y 14 representan los valores más significativos al compararlos con el punto 9 que es el de mayor contaminación con un valor de 2489,062 µg/m³ esto se da debido a que dicho punto se encuentra frente a la industria embargo la cual se dedica a la importación, registro, distribución, envasado y comercialización de productos agroquímicos de alta calidad.

3.4.4. Puntos mínimos, promedios y máximos de concentración de NO₂

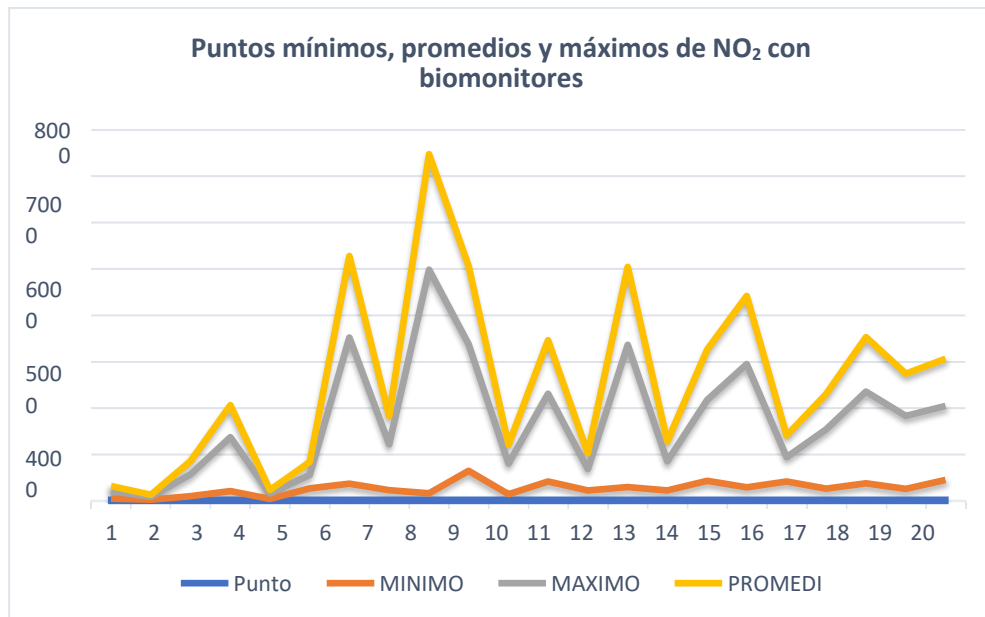


Gráfico 6-3. Puntos mínimos, promedios y máximos de NO₂

Realizado por: Ulloa, Tania, 2022.

Los resultados obtenidos de puntos mínimos, promedios y máximos se representan en el Gráfico 6-3, el cual indica una variación en todos los puntos. En la gráfica se observa que el punto máximo de contaminación corresponde al punto 9, sin embargo, considerando desde el punto 1 se tiene un crecimiento en la mayoría de los puntos de muestreo, mientras que a partir del punto 9 se tiene un decrecimiento en los diferentes puntos. Los picos más altos de contaminación se tienen en los puntos 7, 14 y 17, mientras que los picos más bajos donde existe decrecimiento son 5, 13 y 18. Los puntos 1 y 2 muestran un nivel de contaminación similar y son los que presentan menor contaminación. Los valores de concentración de NO₂ de van desde 43,047 µg/m³ hasta 2489,062 µg/m³ siendo el máximo y el mínimo respectivamente. Para analizar los puntos que son considerados como máximos y mínimos se partió del lugar donde se encontraron ubicados, es así como el punto 9 al encontrarse cerca de una industria nos presenta un valor de concentración de contaminantes mayor en comparación a los otros, esto se puede deber a los meses en que se realizó los muestreos y a al nivel de producción que realizan las industrias en dichos meses. Según (Gutiérrez 2021, p. 63) menciona que las condiciones geográficas facilitan la dispersión de los contaminantes, como por el ejemplo el viento, ya que el sector de estudio se encuentra ubicado a las afueras de la ciudad no cuenta con obstáculos como son las montañas, por lo cual la velocidad del viento puede afectar en gran medida la concentración de los contaminantes en el área de estudio.

3.5. Concentración promedio ambiental de SO₂

Tabla 9-3: Concentraciones de dióxido de azufre

Concentración Ambiente Medida de SO ₂ (µg/m ³) datos corregidos			Concentración promedio De SO ₂ por punto	
Diciembre-Enero				
PUNTO	S1	S2	Punto	µg/m ³
1	32,659	12,019	1	22,339
2	224,144	6,124	2	115,134
3	112,444	38,874	3	75,659
4	56,594	68,348	4	62,471
5	0,745	8,089	5	4,417
6	83,721	99,133	6	91,427
7	1065,614	124,350	7	594,982
8	330,524	76,863	8	203,694
9	1662,409	50,336	9	856,372
10	935,830	217,359	10	576,594
11	284,781	43,459	11	164,120
12	645,411	136,467	12	390,939
13	154,996	69,986	13	112,491
14	1045,401	96,840	14	571,121
15	62,445	213,429	15	137,937
16	585,838	140,725	16	363,281
17	890,086	93,565	17	491,826
18	165,634	135,812	18	150,723
19	429,458	85,051	19	257,254
20	676,261	122,057	20	399,159
21	529,456	81,121	21	305,288
22	527,328	147,275	22	337,301

Realizado por: Ulloa, Tania, 2022.

En la Tabla 8-3 se tiene los resultados de las concentraciones de SO₂ analizados durante los meses de diciembre y enero en el sector del Parque Industrial de la ciudad de Ambato, utilizando briofitas en 22 puntos de muestreo los cuales indican valores diferenciados entre unmes y otro, en diciembre se tienen valores que van desde 0,745 µg/m³ a 1662,409 µg/m³, mientras que para enero se tiene valores desde 6,124 µg/m³ hasta 217,359 µg/m³. Así mismose tiene valores que van desde 4,417 µg/m³ hasta 856,372 µg/m³, en los datos de lasconcentraciones promedio corregidas.

3.5.1. Variación de la concentración ambiente del mes de diciembre corregida de SO₂ con biomonitores

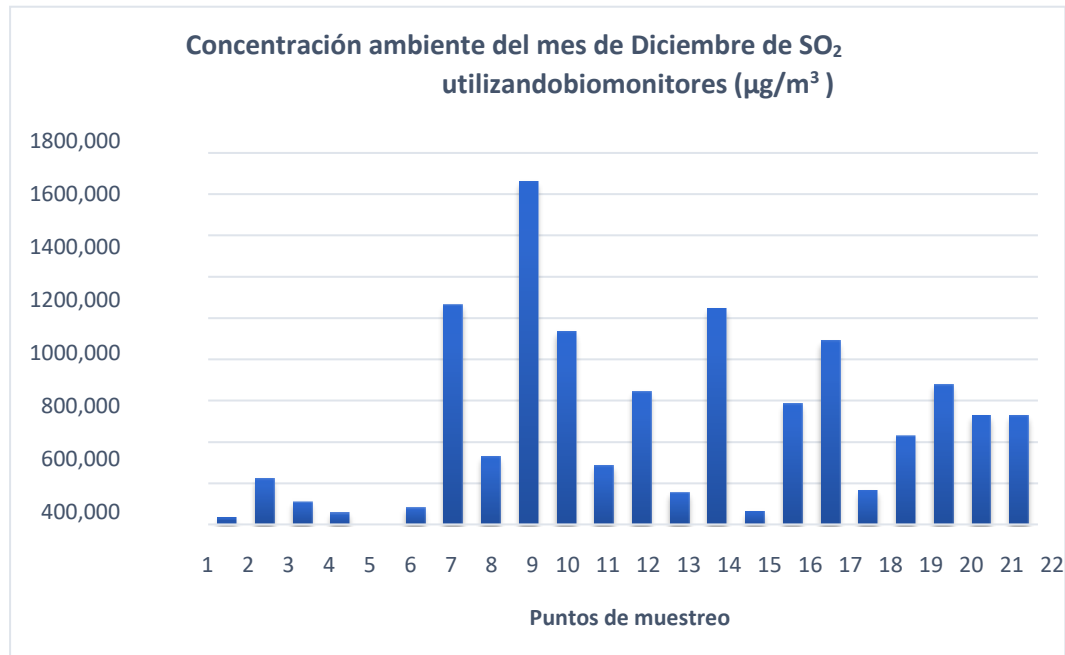


Gráfico 7-3. Concentración del mes de Diciembre de SO₂
Realizado por: Ulloa, Tania, 2022.

En el Gráfico 7-3 se observa los resultados correspondientes a diciembre utilizando briofitas como biomonitor para determinar la calidad del aire en el sector del parque industrial de la ciudad de Ambato, el cual representa las concentraciones de dióxido de azufre en cada punto de muestreo. En el estudio presentado por (Fonseca, 2021) muestra la efectividad de utilizar briofitas para determinar concentraciones de SO₂ en el ambiente, el cual corrobora el uso de esta especie para determinar contaminantes como el SO₂. Los datos de concentración de SO₂ van desde 0,745 µg/m³ hasta 1662,409 µg/m³. El valor más alto de concentración de contaminante se encuentra en el punto 9 y el mínimo en el punto 5. La grafica también indica la presencia de valores de concentración altos como son los puntos 7, 10, 14 y 17. Los puntos 12, 16 y 20 son puntos que se encuentran en un rango medio al compararlos con los otros datos estos puntos están ubicados dentro del parque industrial y uno a la entrada del paso lateral de Ambato, el punto 16 se encuentra frente a la fábrica de producción de calzado VECHACHI mientras que el punto 12 se encuentra frente a la industria SPROM que se dedica a la fabricación de esponjas de poliuretano. Los puntos 1, 2, 3, 4, 6, 11, 13, 15 y 18 son los más bajos dentro del análisis ya que indican una menor absorción del contaminante en la gráfica, esto puede ser debido al lugar de ubicación de cada punto, así como al mes en el que se realizó el muestreo ya que al ser un sector cuya actividad principal es la manufacturera se entiende que tiene mayor producción en el mes de diciembre que en el de enero, así también el factor climático puede afectar en la absorción de los contaminantes.

3.5.2. Variación de la concentración ambiente del mes de enero corregida de SO₂

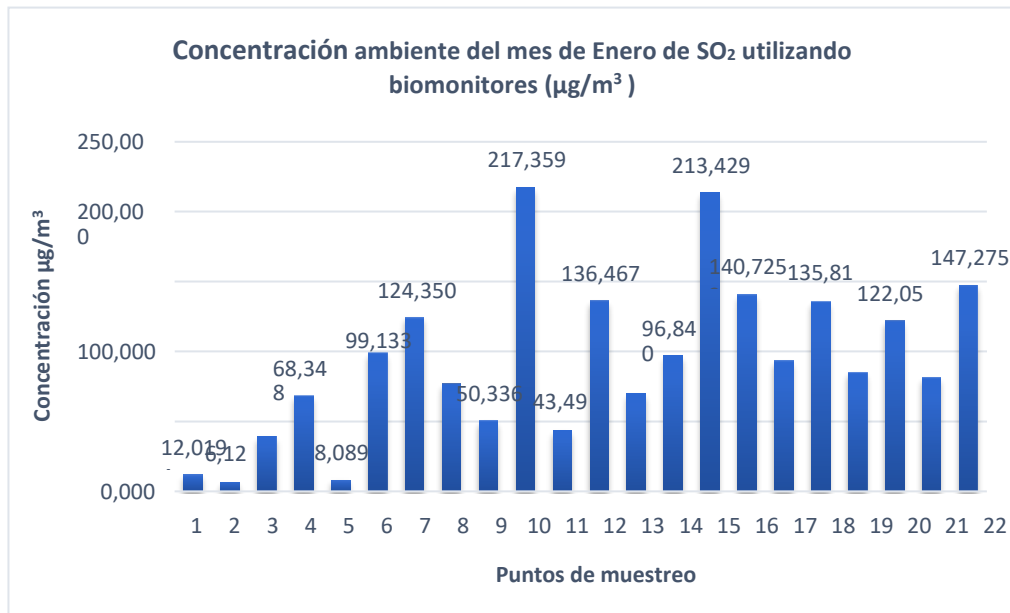


Gráfico 8-3. Concentración del mes de Enero de SO₂
Realizado por: Ulloa, Tania, 2022.

En el Gráfico 8-3 se tiene los datos obtenidos durante el mes de enero para el análisis de dióxido de azufre. La concentración mínima de SO₂ se encuentra el punto 2 con un valor de 0,124 µg/m³, y la concentración máxima en el punto 9 con un valor de 217,359 µg/m³. El uso de especies como la briofita indican un resultado efectivo en el análisis de contaminantes atmosféricos, en el estudio realizado por (Fonseca, 2021) se pudo comprobarla efectividad que presenta el utilizar las briofitas en este tipo de estudio, en el mismo estudio utilizaron como muestreador los captadores pasivos, con ello se evidencio que las briofitas muestran una absorción mayor de contaminante que el captador pasivo. Del mismo modo se puede realizar una comparación entre los resultados obtenidos entre el mes de diciembre y enero mediante el cual se puede identificar que de los 22 puntos solo 4 de ellos muestran un aumento de concentración de dióxido de azufre, mientras que los 18 puntos restantes reflejan una disminución. Esto indica que durante el primer mes de muestreo existió mayor absorción de contaminantes por parte de los biomonitores, así como una mayor producción por parte de las industrias del sector.

En el estudio realizado por (Moscoso et al., 2018, p. 44) menciona que las emisiones dependen de la cantidad de fuentes fijas que posee la industria y del ritmo de producción esto confirma los datos obtenidos en el análisis donde se refleja variaciones entre uno y otro punto ya que las industrias no producen al mismo nivel ni utilizan el mismo tipo de maquinaria para su producción.

3.5.3. Variación de la concentración promedio ambiente final corregida de SO₂

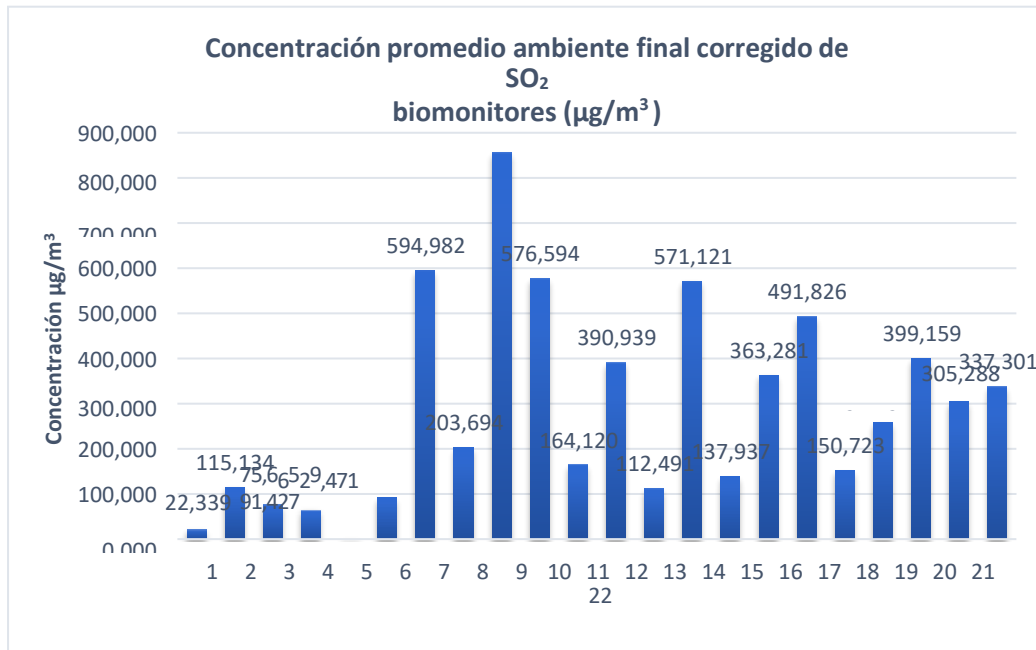


Gráfico 9-3. Concentración promedio final de SO₂

Realizado por: Ulloa, Tania, 2022.

El Gráfico 9-3 indica los valores obtenidos en relación con la concentración promedio ambiente final corregido de SO₂ durante los meses de diciembre y enero. Los valores de concentración de contaminantes van desde 4,417 µg/m³ que corresponde al punto 5 hasta 856,372 µg/m³ que corresponde al punto 9. Así mismo se puede observar menos concentración de contaminación en los puntos 1, 2, 3, 4, 6, 13 y 15 esto debido a lugar de ubicación, al mes de muestreo, así como a las condiciones climáticas del sector. Sin embargo, el punto 15 es significativo ya que es uno de los puntos que muestran un incremento de un mes al otro, este punto se encuentra ubicado frente a la fábrica de destilación de licor Cartago dentro del parque industrial. Los puntos 7, 9, 10 y 14 pertenecen a los puntos que tiene un nivel de contaminación alto sin embargo el punto 9 es el más significativo con el valor de 856,372 µg/m³ esto se da debido a que dicho punto se encuentra frente a la industria Ambagro la cual se dedica a la importación, registro, distribución, envasado y comercialización de productos agroquímicos de alta calidad. Los puntos restantes se toman como valores medios en comparación con los otros puntos sin embargo dentro de ellos un punto significativo es el punto 17 que se encuentra diagonal a la entrada principal al parque industrial, así como a la empresa Vechachi.

3.5.4. Puntos mínimos, promedios y máximos de concentración de SO₂

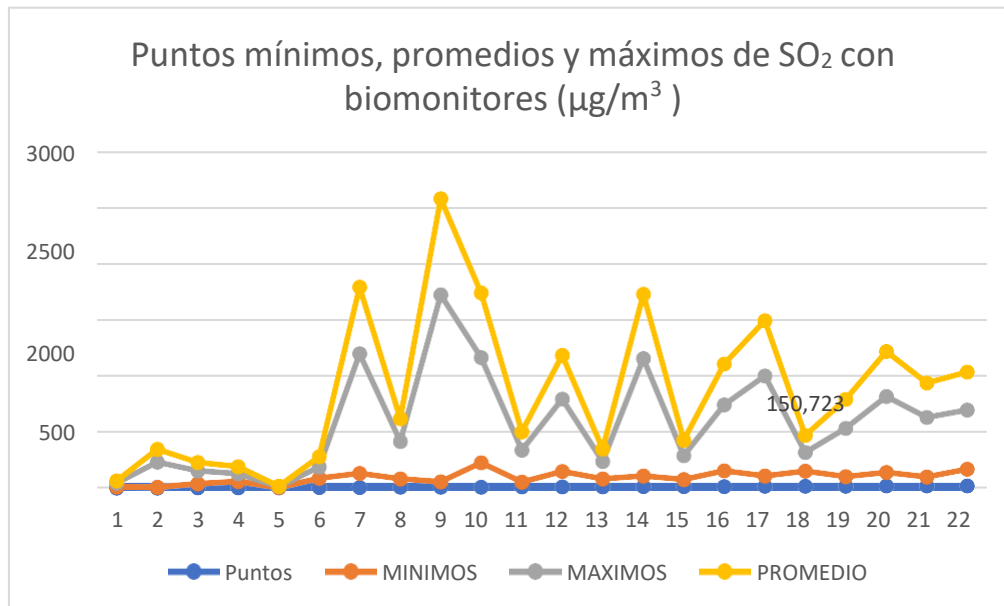


Gráfico 10-3. Puntos, mínimos, promedios y máximos de SO₂
Realizado por: Ulloa, Tania, 2022.

Los resultados obtenidos de puntos mínimos, promedios y máximos se representan en el Gráfico 6-3, el cual indica una variación en todos los puntos analizados en el sector del parque industrial de la ciudad de Ambato. Desde el punto 1 hasta el punto 6 se puede observar que los puntos tienen una concentración baja de contaminantes teniendo como la menor contaminación al punto 5 con un valor de 4,417 µg/m³, sin embargo, desde el punto 6 se presenta un crecimiento en los valores de concentración del dióxido de azufre hasta llegar al punto 9 donde se identifica el punto con mayor contaminación con un valor de 856,372 µg/m³. Desde el punto 9 hasta el punto 14 tenemos un decrecimiento y crecimiento entre los puntos 11 al 14 respectivamente señalando que en el punto 14 es un punto alto de contaminación con un valor de 571,121 µg/m³. Los siguientes puntos muestran un ascenso y descenso en diferentes puntos es así como tenemos a los puntos 15 y 18 como los puntos con menor concentración cuyos valores son 137, 937 µg/m³ y 150,723 µg/m³ respectivamente, mientras que los puntos 16, 17, 19, 20, 21 y 22 presentan valores medios de contaminación en comparación con los anteriores puntos.

Basados en los datos obtenidos en el gráfico 10-3, se puede evidenciar que el rango de contaminación es variado y que existe tanto crecimiento como decrecimiento entre un mes y otro, esto debido al mes en que se realizó el muestreo, así como a las condiciones climáticas.

3.6. Análisis de las concentraciones de NO₂ y SO₂ empleando ArcGis

3.6.1. Concentración promedio final de NO₂

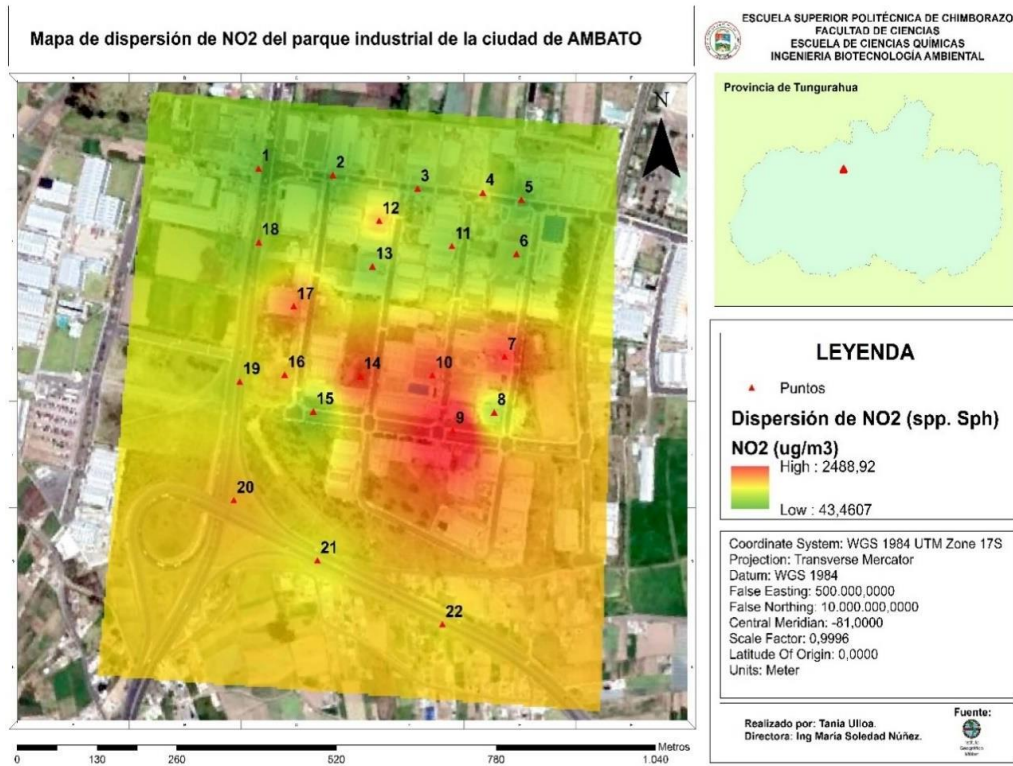


Figura 4-3. Concentraciones promedio finales de NO₂

Realizado por: Ulloa, Tania, 2022.

La Figura 6-3 representa las concentraciones promedio finales de NO₂ en los 22 puntos de muestreo en un periodo de dos meses de estudio. Se puede identificar la variación de la concentración de los contaminantes observando los rangos que se diferencian con colores:

- El color rojo muestra los puntos que presentan una mayor absorción del contaminante.
- El color naranja muestra los puntos con concentraciones significativamente altas.
- El color amarillo muestra los puntos con concentraciones intermedias y finalmente el azul muestra aquellos puntos que presentan una menor concentración del contaminante.

Es así como al observar la figura 5-3. se puede identificar a los siguientes puntos 7, 9, 10, 14 y 17 como aquellos que presentan una alta concentración siendo el punto 9 el más alto representado con el color rojo esto se da debido a que dicho punto se encuentra frente a la industria Ambagro la cual se dedica a la importación, registro, distribución, envasado y comercialización de productos

agroquímicos de alta calidad. Los puntos más bajos se encuentran resaltados con color azul y son el 1, 2, 3, 4, 5, 6, 11, 13 y 18 en estos puntos se encuentran microempresas dedicadas a venta y distribución de productos varios. En el trabajo de (Gutiérrez 2021, p. 24) indica que las condiciones climáticas, el lugar donde se va a realizar el estudio así como la temporada en la que se realiza el análisis son factores que influyen en la dispersión de contaminantes, como se puede ver en la figura 6-3 la mayoría de puntos con concentraciones altas se encuentran dentro del parque industrial, sin embargo en el mismo se tiene puntos con concentraciones bajas esto se puede dar a que los puntos más altos son empresas que tienen mayor producción y se encuentran a un costado de la entrada principal por lo que tienen más edificios a su alrededor lo cual provoca una disminución del viento. Por lo que a menor viento mayor concentración de contaminantes.

3.6.2. Concentración promedio final de SO_2

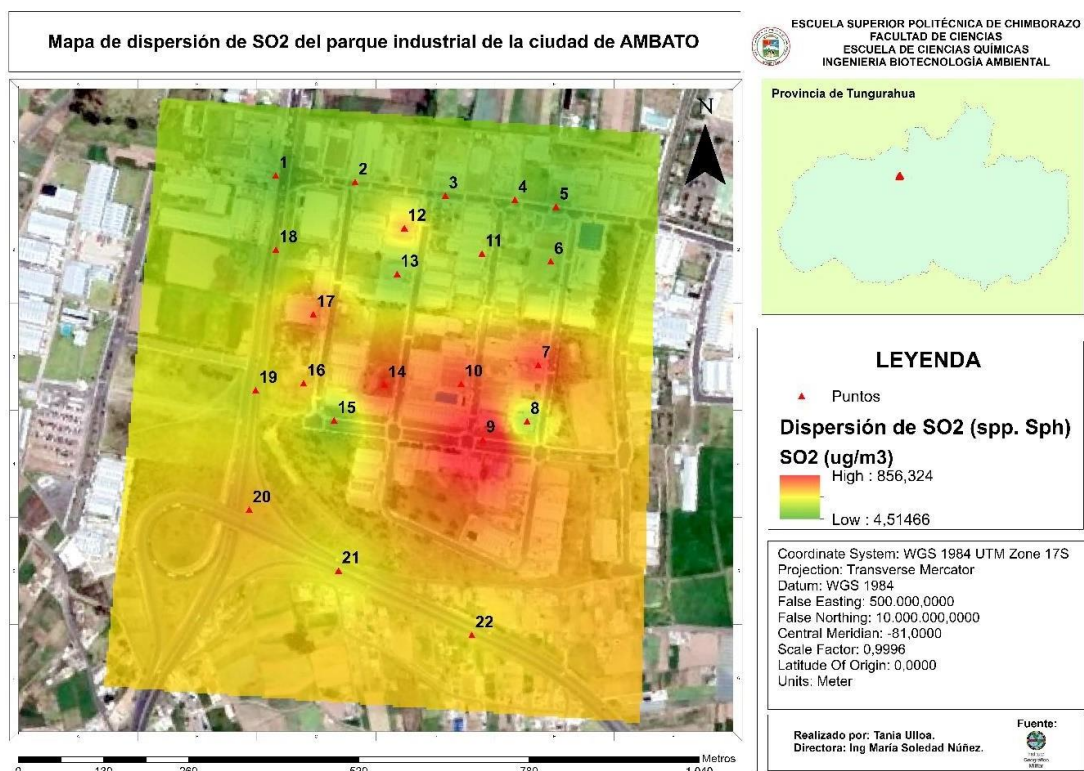


Figura 5-3. Concentraciones promedio finales de SO_2
Realizado por: Ulloa, Tania, 2022.

En la Figura 7-3 se logra visualizar las concentraciones promedio finales de SO_2 utilizando biomonitores en los 22 puntos de muestreo en un periodo de dos meses de estudio. Se puede identificar la variación de la concentración de los contaminantes observando los rangos que se diferencian con colores:

- El color rojo muestra los puntos que presentan una mayor absorción del contaminante.

- El color naranja muestra los puntos con concentraciones significativamente altas.
- El color amarillo muestra los puntos con concentraciones intermedias y finalmente el azul muestra aquellos puntos que presentan una menor concentración del contaminante.

Es así como al observar la figura 6-3. se puede identificar a los siguientes puntos 7, 9, 10, 14 y 17 como puntos con alta concentración de contaminante teniendo al punto 9 como el más alto resaltado con un color rojo esto se da debido a que dicho punto se encuentra frente a la industria embargo la cual se dedica a la importación, registro, distribución, envasado y comercialización de productos agroquímicos de alta calidad. Los puntos que presentan una menor contaminación se encuentran resaltados con color verde y son el 1, 2, 3, 4, 5, 6, 11, 13, 15 y 18, esto se da debido a su ubicación ya que alrededor de puntos no se encuentran industrias cercanas y otras están rodeadas de zonas verdes. En el trabajo de (Cueva, 2017) menciona que el sector automotor es el que genera mayor cantidad de SO_2 , con ello se puede verificar que en el sector del parque industrial no existe una alta generación de SO_2 ya que este sector se basa más en la producción.

3.7. Normativa de la calidad del aire

En el análisis de los datos obtenidos en el presente estudio fue necesario emplear un análisis cuantitativo entre los datos obtenidos y los límites permisibles según la norma de calidad ambiental, según la tabla 10-3.

Tabla 10-3: Concentraciones de NO_2 y SO_2 transformadas para comparación con los límites permisibles

Nº de puntos de muestreo	NO_2	SO_2
	Concentración en una hora en el biomonitor $\mu g/m^3$	Concentración en 24 horas en el biomonitor $\mu g/m^3$
1	0,14780705	0,032
2	0,0597875	0,165
3	0,39597719	0,109
4	0,95337474	0,090
5	0,10328731	0,006
6	0,38505073	0,131
7	2,44199151	0,855
8	0,84084261	0,293
9	3,45703029	1,230
10	2,33957507	0,828
11	0,5525087	0,236

12	1,59666903	0,562
13	0,46942683	0,162
14	2,32829078	0,821
15	0,58551293	0,198
16	1,50175651	0,522
17	2,03691265	0,707
18	0,64234506	0,217
19	1,05671288	0,370
20	1,6242992	0,574
21	1,25834227	0,439
22	1,40911109	0,485

Realizado por: Ulloa, Tania, 2022.

Para realizar un análisis adecuado es necesario transformar los valores mensuales de NO_2 y SO_2 a valores que representen 1 hora y 24 horas respectivamente según los límites permisibles obtenidos del Ministerio del Ambiente. Los límites permisibles de concentración de NO_2 en el aire medidos en una hora son valores muy bajos, ya que el límite permisible según el ministerio del ambiente es de 200 mg/m^3 , por lo cual se determina que los valores obtenidos en el estudio se encuentran dentro de los límites permisibles.

Para SO_2 el límite permisible de concentración en 24 horas es de 125 ug/m^3 por lo cual al comparar con los datos de la tabla 9-3 se obtiene que los valores se encuentran dentro del límite permisible ya que los valores que reflejan son bajos.

CONCLUSIONES

Para determinar los contaminantes atmosféricos en el sector del parque industrial de la ciudad de Ambato utilizando briofitas como biomonitor biológico, se establecieron criterios de calidad de aire, considerando que en el sector se encuentran la mayoría de las empresas manufactureras de la ciudad, por lo cual se tiene como principales contaminantes NO_2 y SO_2 cuya fuente de emisión son las empresas y como minoría los automotores. Es así como se establecieron los puntos de monitoreo en un radio que cubra las zonas de mayor influencia en el sector del parque industrial determinando así la concentración de dióxido de nitrógeno y dióxido de azufre. Para ello se establecieron 22 puntos de monitoreo en las zonas de mayor influencia del sector del parque industrial de la ciudad de Ambato en un periodo de 2 meses para determinar contaminantes atmosféricos. En cada punto de monitoreo se colocó un biomonitor a una altura de 2.5 metros. Para realizar el análisis de las muestras se realizó un análisis espectrofotométrico y los cálculos respectivos mediante los cuales se obtuvieron las concentraciones de cada punto de monitoreo.

Para identificar la especie más apta se sometió a 3 especies de briofitas a pruebas cuantitativas y cualitativas de tolerancia a los contaminantes dióxido de nitrógeno y dióxido de azufre, es así que se determinó como la especie apta para este estudio a la briofita *Sphangum* la cual presentó mayor resistencia, al aplicar pruebas de espectrofotometría esta presentó una mayor absorbancia lo cual indica un mayor número de moléculas de contaminantes presentes en ella.

Utilizando el biomonitor en los 22 puntos de muestreo se establecieron las concentraciones de NO_2 y SO_2 presentes en el sector del parque industrial como se puede observar en la tabla 8-3 y 9-3 que indica las concentraciones obtenidas en los meses de diciembre y enero, teniendo así al punto 9 como el que presenta mayor contaminación con un valor de 4825, 208 mg/m^3 mientras que el punto 2 como el de menor contaminación cuyo valor es 60, 841 durante el mes de diciembre, para el mes de enero el punto con mayor contaminación es el punto 10 con un valor de 638,407 mg/m^3 mientras que el punto 2 se mantiene como el de menor concentración para NO_2 . Para SO_2 se tiene como el punto con mayor concentración de contaminante al 9 con un valor de 1662,409 mg/m^3 , mientras que el punto 5 presenta menor contaminación con un valor de 0,745 mg/m^3 durante el mes de diciembre, mientras que para enero se mantiene al punto 5 con una menor concentración y al punto 10 como el de mayor concentración con un valor de 217,359.

Durante los 2 meses de monitoreo en el sector del parque industrial de la ciudad de Ambato el nivel de contaminación promedio por hora correspondiente a NO_2 utilizando biomonitores es de 1,193 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, la concentración promedio por día de SO_2 utilizando biomonitores es de 0,410 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Es así como se evaluó la calidad del aire en el sector de estudio realizando una comparación

de los valores obtenidos con la Norma Ecuatoria de Calidad del Aire Ambiente, mediante la cual se tiene que los valores obtenidos se encuentran dentro de los límites permisibles establecidos, Según el (Ministerio del Ambiente 2017) los límites permisibles para NO_2 son: concentración máxima de $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en una hora y para el SO_2 : concentración máxima de $125 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en un periodo de 24 horas. Al encontrarse dentro de los límites permitidos se determina que la presencia de estos contaminantes no ocasiona directamente daños a la salud humana.

RECOMENDACIONES

La implementación de especies como la briofita para estudios de la calidad del aire debería ser más utilizada debido a la capacidad de absorción que estas presentan, la facilidad de obtenerlas e incluso por su mínimo costo.

Para obtener datos aún más precisos sobre la calidad del aire del sector en el que se realice el estudio se debería extender el área en la que se va a realizar dicho estudio.

Colocar las plantas a una altura de 3 metros para evitar la pérdida de las muestras

BIBLIOGRAFÍA

AGUILERA, S. Biomonitorio atmosférico en la Provincia De San Juan: caracterización y composición de material particulado atmosférico (haps y metales pesados) [en línea]. San Juan: Universidad Nacional De San Juan. pp 14-15. [Consulta: 18 mayo 2022]. Disponible en: https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/93320/CONICET_Digital_Nro.e757b837-a092-4527-bda1-66d708be2b56_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y.

ALCIVAR, O. “Estudio analítico de ácido nítrico producido por fuentes móviles a partir de mediciones en óxidos de nitrógeno en sectores urbanos ciudad Guayaquil” [en línea]. S.l.: s.n. 2016, p. 19. [Consulta: 8 junio 2022]. Disponible en: http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/12856/1/TESIS%20MGA%20001_OSCAR%20ALC%c3%8dVAR_REVISI%c3%93N%20FINAL_OCTUBRE%206_2016%20%281%29.pdf.

BOCANEGRA ET AL. Briofitos y líquenes como bioindicadores de contaminación Del aire en sede Barcelona y sede San Antonio de la Universidad de los Llanos, Villavicencio, meta. [en línea], 2019. DOI 10.13140/RG.2.2.21035.16161. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/351821072>

BRUSSEAU ET AL. Atmospheric Pollution. Scencedirect [en línea], 2019. pp. 293–309. [Consulta: 24 noviembre 2021]. DOI 10.1016/B978-0-12-814719-1.00017-3. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780128147191000173>

CAMILLONI, I & VERA, C. La Atmósfera. Explora [en línea], 2019. pp. 1–16. [Consulta: 6 Diciembre 2021]. Disponible en: <http://www.bnm.me.gov.ar/giga1/documentos/EL002316.pdf>

CANCHURICRA ET AL. Condiciones De Secado Y Humedad De Sphagnum Magellanicum Brid. Durante Su Aprovechamiento-Junin Y Huánuco. [en línea], vol. 05, no. 2. 2017. pp. 14–23. ISSN 2310-3485. Disponible en: <https://ceprosimad.com/>

CARRALES, B & HERNANDEZ, I. Metodologías para el muestreo de la calidad del aire. *Vidsupra* [en línea]. 2019. pp. 8–10. [Consulta: 16 Mayo 2022]. Disponible en: https://www.ciidirdurango.ipn.mx/assets/files/ciidirdurango/docs/VIDSUPRA/REVISTAS/V_S-V11N1.pdf#page=11

CAZORLA, E. Evaluación de emisiones no reguladas para centrales termoeléctricas, a través de

la aplicación de índices de calidad para la determinación de límites máximos permisibles. Universidad Internacional SEK-Quito. 2020. p 14.

CRESPO, E. Técnicas de muestreo. S.l.: 2018. pp 6-7.

CUEVA, P. Estudio De SO₂ Y NO₂ Empleando Muestreo Pasivo En La Zona Industrial De Vía A La Costa - Guayaquil. [en línea]. 2017. [Consulta: 26 Junio 2022]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/7853/1/236T0287.pdf>

ECHEVERRI, C. Contaminación atmosférica [en línea]. Primera. Bogotá: Ediciones de la U. 2019. p 79. [Consulta: 6 Diciembre 2021]. ISBN 978-958-762-941-5. Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?id=QzSjDwAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=contaminacion+ambiental&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwjZk7-ztL0AhUpSjABHehMDXYQ6AF6BAgFEAI#v=onepage&q&f=false>

FELIZ ET AL. Proyecto De Investigación Para La Fiscalización Ambiental. [en línea]. S.l.: 2017. [Consulta: 4 enero 2022]. Disponible en: <https://repositorio.oefa.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12788/157/Grupo%20Proyecto%20de%20Investigaci%c3%b3n.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

FONSECA, David., 2021. Evaluación De La Calidad De Aire Mediante La Aplicación De Biomonitores En El Terminal Inter cantonal De La Ciudad De Riobamba. Escuela Superior Politécnica De Chimborazo-Riobamba. 2021. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/14675/1/236T0532.pdf>

GARCÍA, L. Un sifón a partir de una reacción química. Revista Eureka sobre enseñanza y divulgación de las ciencias, vol. 7, no. 1. 2010 pp. 142–150. ISSN 1697-011X. DOI 10.25267/rev_eureka_ensen_divulg_cienc. 2010.v7.i1.10

GONZALES, A. Evaluación de la capacidad bioacumuladora de contaminantes en líquenes, utilizados en el monitoreo de la calidad del aire de la parroquia san carlos, cantón la joya delos sachas, provincia de orellana. [en línea]. ESPOCH-Riobamba. 2018. p 51. [Consulta: 6 enero 2022]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/10244/1/236T0381.pdf>.

GRIJALBA, L. Elaboración de inventarios de focos contaminantes UF1941 [en línea]. S.l.: Editorial Tutor Formación. 2016. pp 53-55. [Consulta: 6 enero 2021]. ISBN 9788416482276. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/esPOCH/44219?page=54>.

GUTIERREZ, F. Monitoreo de SO₂, NO₂ y CO para estimar la calidad del aire en la ciudadde montería Aldair. S.l.: s.n. 2021.

IGLESIAS, I. Interacción Océano-Atmósfera: Influencia De La Sst Y De La Circulación Termohalina [en línea]. S.l.: s.n. 2010. p 15 [Consulta: 26 junio 2022]. Disponible en: <http://www.psc.edu/science/OKeefe/OKeefe.html>.

LEXIS FINDER. Código orgánico del ambiente [en línea]. 14 febrero 2018. S.l.: s.n. [Consulta: 6 diciembre 2021]. Disponible en: www.lexis.com.ec.

MAE. Norma Ecuatoriana De Calidad Del Aire [en línea]. 7 June 2011. S.l.: s.n. 2011. [Consulta: 11 diciembre 2021]. Disponible en: http://www.quitoambiente.gob.ec/images/Secretaria_Ambiente/red_monitoreo/informacion/norma_ecuato_calidad.pdf

MARIN, A. Balanceo de ecuaciones químicas. [en línea]. 2017 [Consulta: 19 mayo 2022]. Disponible en: <https://www.rua.unam.mx/portal/recursos/ficha/3632/balanceo-de-ecuaciones-quimicas>.

MINISTERIO DEL AMBIENTE. Texto Unificado De Legislación secundaria De Medio Ambiente [en línea]. 29 marzo 2017. S.l.: s.n. 2017. [Consulta:4 febrero 2022]. Disponible en: www.lexis.com.ec

MOREIRA, A. Contaminación del aire en el medio ambiente por las emisiones de gases tóxicos de empresas industriales en Ecuador. Polo del Conocimiento, vol. 3, no. 7. 2018. p. 299. ISSN 2550-682X. DOI 10.23857/pc.v3i7.553.

MOSCOSO ET AL. Inventario de emisiones atmosféricas provenientes de fuentes fijas de combustión del parque industrial del Cantón Cuenca-Ecuador. [en línea], 2018. p 44. [Consulta: 26 Junio 2022]. ISSN 2223-4861. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2223-48612018000200004.

NORIEGA, P. Biomonitores de contaminantes, mediante el uso de briofitas como muestreadores biológicos, para el aire de la ciudad de quito [en línea]. Primera. S.l.: s.n. 2016.pp 9-

11. [Consulta: 11 diciembre 2021]. ISBN 978-9978-10-041-7. 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>.

PABÓN ET AL. La atmósfera, el tiempo y el clima. [en línea]. 2019. pp. 33–91. [Consulta: 6 diciembre 2021]. Disponible en: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/005192/medioambiente/cap3parteI.pdf>

PAREJA ET AL. Inventario de Emisiones Atmosféricas Contaminantes de la Ciudad de Cochabamba, Bolivia, año 2008. [en línea], vol. 5. 2012. pp. 344–374. [Consulta: 8 junio 2022]. ISSN 1683-0768. Disponible en: <http://www.scielo.org.bo/pdf/ran/v5n3/v5n3a02.pdf>

ROMERO, A & VACA, P. Inventario de emisiones atmosféricas a partir de fuentes fijas, móviles y de área en la ciudad de Latacunga [en línea]. Universidad Central del Ecuador-Quito. 2012. [Consulta: 8 junio 2022]. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/235/1/T-UCE-0012-37.PDF>

RUIZ, E. “Aprende Sobre La Atmósfera” [en línea]. S.l.: Universidad de JAÉN. 2020. p10. [Consulta: 6 diciembre 2021]. Disponible en: http://tauja.ujaen.es/bitstream/10953.1/13289/1/RUIZ_DAZ_ENRIQUE_TFM_BIOLOGA_Y_GEOLOGA.pdf

SPEEDING, D. Contaminación atmosférica [en línea]. Barcelona: Reverté S.A. 2017. pp 1-3. [Consulta: 6 diciembre 2021]. ISB 978-84-291-9196-7. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/epoch/183524?page=13>

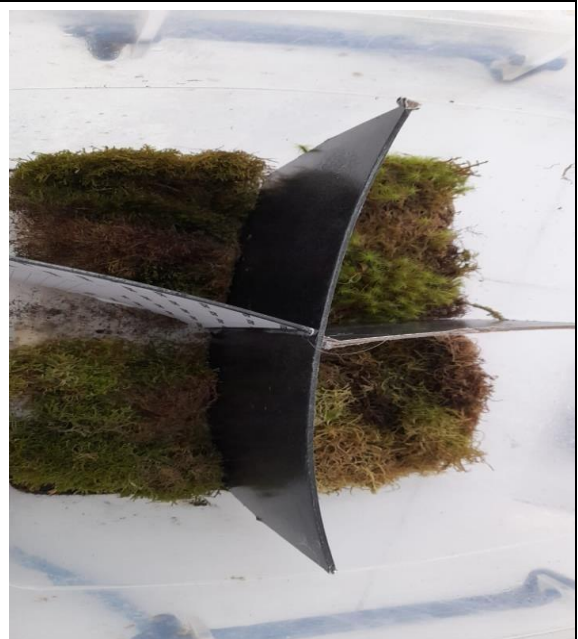
TORRES, V. Contaminantes Atmosféricos. EDOMEX [en línea], vol. 1. 2020. pp. 6–50. [Consulta: 4 diciembre 2021]. ISSN 2007-5162. Disponible en: https://salud.edomexico.gob.mx/cevece/docs/revista_IE/revista_1_20inteli.pdf#page=18

ANEXOS

ANEXO A: RECOLECCIÓN DE LOS BIOMONITORES



Fotografía 1: Recolección de briofitas Sphagnum.



Fotografía 2: Especie de briofitas recolectadas.



Fotografía 3: Recolección de briofitas.

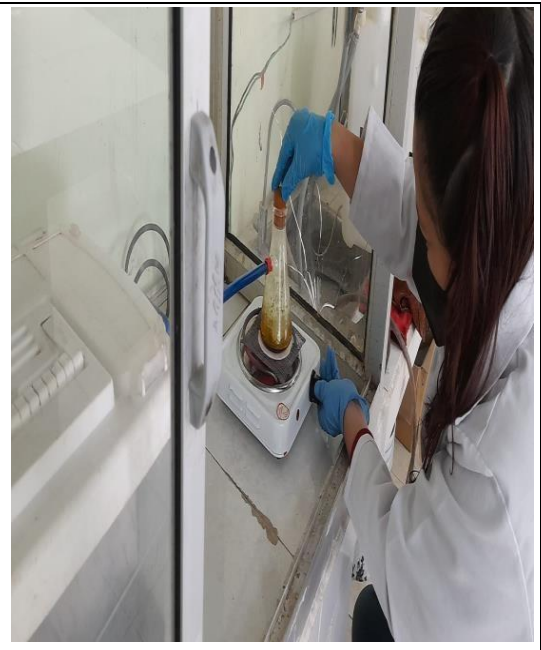


Fotografía 4: Transporte de muestras de briofitas.

ANEXO B: PREPARACIÓN Y ADECUACIÓN DE LOS BIOMONITORES



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



Fotografía 6: Pruebas de tolerancia en biomonitores.



Fotografía 7: Preparación de los biomonitores.

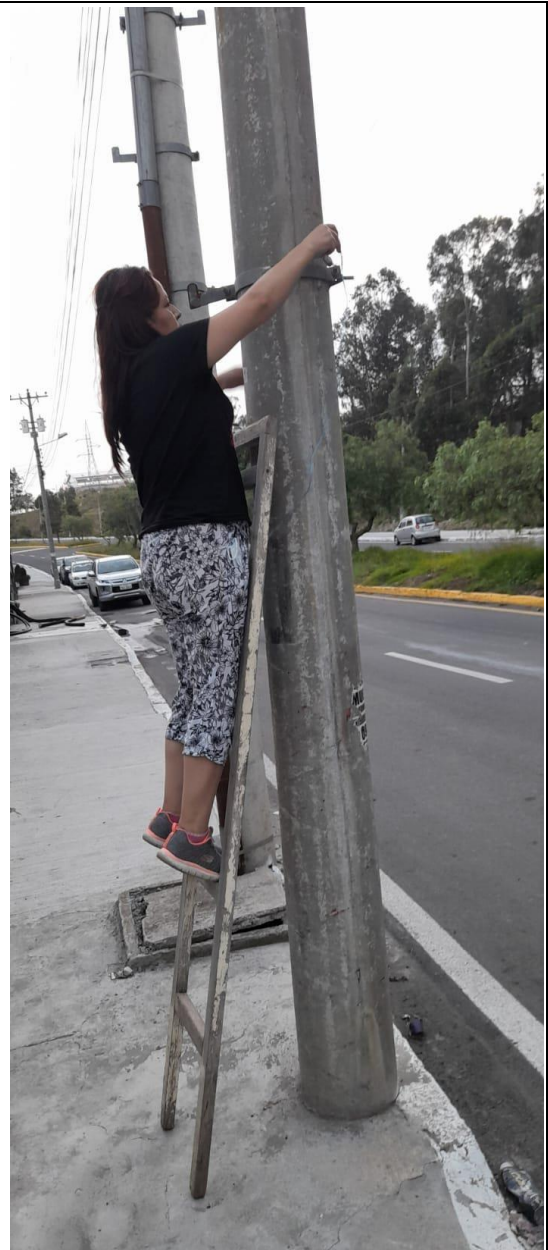


Fotografía 8: Muestras de biomonitores.

ANEXO C: MUESTREO



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

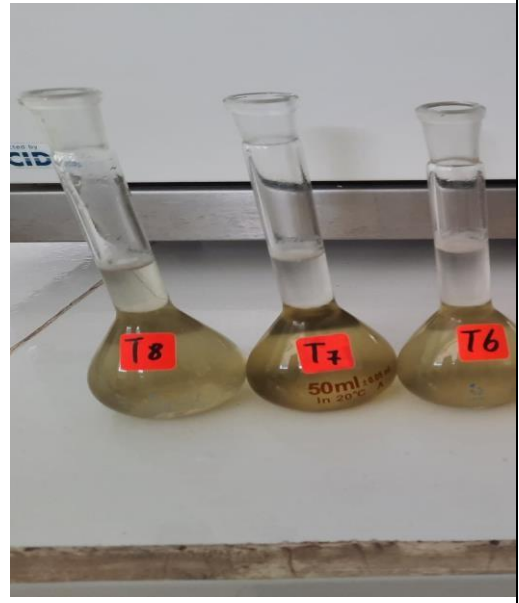


Fotografía 10: Colocación de los biomonitores en el Parque Industrial de la ciudad de Ambato.

ANEXO D: ANÁLISIS Y RESULTADOS



Fotografía 11: Preparación para análisis de biomonitores.



Fotografía 12: Soluciones resultantes de las muestras de biomonitores.



Fotografía 13: Análisis de las muestras de biomonitores.



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: 07 / 10 / 2022

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: Tania Estefania Ulloa Calero
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Ciencias
Carrera: Ingeniería en Biotecnología Ambiental
Título a optar: Ingeniera en Biotecnología Ambiental
f. Analista de Biblioteca responsable: Ing. Leonardo Medina Ñuste MSc.

1816-DBRA-UTP-2022