



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE QUITO

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA, ÍNDICE DE VEGETACIÓN Y CONCENTRACIÓN DE METALES EN ZONAS CERCANAS A ESTACIONES DE MONITOREO EN LA CIUDAD DE QUITO.

Trabajo de Titulación previo a la obtención del Título de Ingenieras Ambientales

AUTORES:

PAMELA MISHELL CABEZAS LLUGLLUNA

DAYANA SALOMÉ TUFÍÑO CHICAIZA

TUTOR: CARLOS ANDRÉS ULLOA VACA

Quito - Ecuador

2023

**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Nosotras, Pamela Mishell Cabezas Lluglluna con documento de identificación N° 1754520714 y Dayana Salomé Tufiño Chicaiza con documento de identificación N° 1721404307; manifestamos que:

Somos Autoras responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 27 de septiembre del año 2023

Atentamente,



Pamela Mishell Cabezas Lluglluna
1754520714



Dayana Salomé Tufiño Chicaiza
1721404307

CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Nosotras, Pamela Mishell Cabezas Lluglluna con documento de identificación No. 1754520714 y Dayana Salomé Tufiño Chicaiza con documento de identificación N° 1721404307, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos Autoras del Trabajo Experimental: “Evaluación de la contaminación atmosférica, índice de vegetación y concentración de metales en zonas cercanas a estaciones de monitoreo en la Ciudad de Quito”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de Ingeniera Ambiental, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 27 de septiembre del año 2023

Atentamente,

Pamela Mishell Cabezas Lluglluna
1754520714

Dayana Salomé Tufiño Chicaiza
1721404307

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Carlos Andrés Ulloa Vaca con documento de identificación N° 1716457971, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA, ÍNDICE DE VEGETACIÓN Y CONCENTRACIÓN DE METALES EN ZONAS CERCANAS A ESTACIONES DE MONITOREO EN LA CIUDAD DE QUITO, realizado por Pamela Mishell Cabezas Lluglluna con documento de identificación N° 1754520714 y por Dayana Salomé Tufiño Chicaiza con documento de identificación N° 1721404307 obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Trabajo Experimental que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 27 de septiembre del año 2023

Atentamente,



Bioq. Carlos Andrés Ulloa Vaca MSc.
1716457971

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación lo dedico a mis padres María y Juan, por su apoyo incondicional en todas las etapas de mi vida, por motivarme a seguir adelante y enseñarme que los malos momentos no son eternos, y que la familia siempre es luz en medio de la oscuridad.

Gracias, hermanos, y cuñado Alex, Sandra y Diego, por sus palabras de aliento, por creer en mí y motivarme siempre para ser mejor persona.

A ti mi sol, mi corazón, mi remolino Juan Daniel, tú quién eres mi principal motivación y fortaleza desde aquel 12 de abril. Para ti mi compañero de largas noches de desvelo, mi compañero en los buenos y peores momentos, solo me queda decir gracias por tanto amor, paciencia y sobre todo tu comprensión. Te amo.

A mi ángel de la guarda por todas las sonrisas que regalaste, por ese amor incondicional hacia las personas que más amo. Besos al cielo.

Y finalmente a mis amigos, gracias por apoyarme y estar junto a mí durante todo este tiempo, me faltan las palabras para agradecer todas las risas y lo feliz que me hace seguir contando con su amistad.

Pamela Mishell Cabezas Lluglluna

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mi familia seres queridos, quienes me han apoyado y han estado conmigo en todo momento.

A mi querida madre Isabel por siempre amarme y brindarme su apoyo incondicional a mi padre Klever, por su paciencia, cuidado y apoyo constante en cada etapa de mi vida.

A mis abuelitas María y Mercedes quienes siempre me han brindado su sabiduría, amor siendo un ejemplo de vida, a mi abuelito Cesar que está en el cielo, por el amor que nunca dejo de darme y el legado que ha dejado en mi vida, siempre estará presente en mi corazón.

Gracias a mis hermanos por siempre estar cuando más los necesito por enseñarme a no rendirme nunca y luchar por lo que quiero.

A mi novio, por estar conmigo en los peores y mejores momentos dándome su apoyo incondicional y siempre cuidar de mi con su amor y su paciencia.

Y finalmente a mis amigos Avengers por permitirme aprender junto a ellos más de la vida en todos estos años, dándome su amistad y su felicidad en todo momento.

Dayana Salomé Tufiño Chicaiza

AGRADECIMIENTO

En primer lugar queremos agradecer a Dios por su guía y fortaleza en momentos de debilidad.

A nuestras familias, por brindarnos su amor, entrega y sacrificios a lo largo de este tiempo, gracias por el apoyo incondicional que tuvieron con nosotras, por su paciencia y comprensión. Todo su amor y palabras de aliento fueron nuestra mayor motivación para lograr nuestros objetivos.

A nuestro tutor Carlos Ulloa quien con su guía, dedicación y paciencia durante cada etapa de la investigación nos ha impartido grandes conocimientos, sus consejos fueron pilares para lograr culminar nuestro proyecto.

Su compromiso con nuestro crecimiento académico ha dejado una marca que no desaparecerá de nuestras vidas.

Ofrecemos este trabajo con gratitud a cada una de las personas que nos han apoyado en el transcurso de nuestra carrera universitaria.

Pamela y Salomé

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT.....	xvi
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Justificación.....	2
1.3 Objetivos.....	3
1.3.1 General.....	3
1.3.2 Específicos.....	3
2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	4
2.1 Marco Teórico.....	4
2.1.1 Aire.....	4
2.1.2 Contaminantes del aire.....	4
2.1.2.1 Contaminantes en la vegetación.....	5
2.1.2.2 La vegetación en las ciudades.....	6
2.1.3 Guía Internacional de calidad del aire - Organización Mundial de la Salud.....	7
2.1.4 Normativa Para Calidad de Aire en Ecuador.....	8
2.1.5 Calidad de Aire en Quito.....	8
2.1.6 Índice de vegetación.....	9
2.1.7 Bioindicadores.....	9
2.1.7.1 Diente de León – <i>Taraxacum</i>	10
2.1.8 Metales en la vegetación Cu, Cd, Pb.....	10
2.1.8.1 Cadmio.....	10
2.1.8.2 Cobre.....	11

2.1.8.3	Plomo.....	11
3.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	12
3.1	Ubicación y descripción del Área de Estudio	12
3.2	Metodología Índice de Vegetación.....	13
3.3	Metodología para definir el nivel de Contaminación Atmosférica	14
3.4	Metodología para determinar la concentración de Metales Pesados en Vegetación..	14
3.4.1	Fase de campo	14
3.4.1.1	Materiales y equipos para la recolección de las muestras de	
	vegetación.....	14
	Toma de muestras vegetales.....	15
3.4.2	Fase de laboratorio	15
3.4.2.1	Limpieza de los materiales	15
3.4.2.2	Secado.....	16
3.4.2.3	Materiales y equipos utilizados en la etapa de digestión de	
	muestras	16
3.4.2.4	Digestión de la muestra	17
3.4.2.5	Materiales utilizados en la etapa de preparación de muestras	18
3.4.2.6	Preparación de estándares de metales.....	18
3.4.2.7	Análisis de metales pesados mediante espectrofotometría de	
	absorción atómica.....	19
3.4.2.8	Métodos de medición de metales pesados.....	20
3.4.2.9	Hipótesis planteada para apreciación de los ANOVAS	21

4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	22
4.1	Análisis anual de valores de contaminación del aire en el DMQ.....	22
4.1.1	Monóxido de Carbono CO	23
4.1.2	Dióxido de nitrógeno NO ₂	25
4.1.3	Ozono O ₃	27
4.1.4	Material particulado MP 2,5.....	28
4.1.5	Dióxido de azufre SO ₂	30
4.2	Determinación del índice de vegetación NDVI	32
4.2.1	Belisario.	33
4.2.2	Carapungo	34
4.2.3	Centro	36
4.2.4	El Camal.....	37
4.2.5	Guamaní	38
4.2.6	Tumbaco.....	40
4.2.7	Análisis estadístico del índice de vegetación (ANOVA)	42
4.2.8	Análisis de correlación entre variables.....	43
4.3	Determinación de metales pesados en especie Tataxaco	44
4.3.1	Determinación de Cadmio.....	45
4.3.1.1	Análisis estadístico Cadmio.....	47
4.3.2	Determinación de Cobre.....	47
4.3.2.1	Análisis estadístico Cobre	50
4.3.3	Determinación de Plomo.....	50
4.3.3.1	Análisis estadístico Plomo.....	53

5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	55
5.1	Conclusiones	55
5.2	Recomendaciones	56
6.	BIBLIOGRAFÍA	57
7.	ANEXOS	59

ÍNDICE DE TABLA

Tabla 1	<i>Concentración de contaminantes que define la OMS.</i>	7
Tabla 2	<i>Concentración de contaminantes como criterio que define el nivel máximo anual permisible.</i>	8
Tabla 3	<i>Ubicación en coordenadas UTM, de las 6 estaciones de monitoreo atmosférico en el DMQ.</i>	12
Tabla 4	<i>Reactivos utilizados en la etapa de digestión de muestras.</i>	17
Tabla 5	<i>Programa de temperatura para digerir plantas.</i>	17
Tabla 6	<i>Reactivos utilizados en la etapa de preparación de muestras previo análisis.</i>	18
Tabla 7	<i>Solución de estándares de metales para la curva de calibración.</i>	19
Tabla 8	<i>Numeración de las muestras.</i>	20
Tabla 9	<i>Métodos y equipo en la etapa de medición de metales</i>	20
Tabla 10	<i>Resumen de promedios anuales de los contaminantes por cada estación.</i>	22
Tabla 11	<i>Resumen de datos promedio anual monóxido de carbono (valores en ug/m³).</i>	23
Tabla 12	<i>Promedios anuales de dióxido de nitrógeno (valores en ug/m³).</i>	25
Tabla 13	<i>Promedios anuales de ozono (valores en ug/m³).</i>	27

Tabla 14 <i>Promedios Material Particulado 2,5 (valores en ug/m3).</i>	28
Tabla 15 <i>Promedios anuales de dióxido de azufre (valores en ug/m3).</i>	30
Tabla 16 <i>Clasificación de los valores del NDVI.</i>	32
Tabla 17 <i>Coeficiente de relación de entre contaminantes y NDVI</i>	43
Tabla 18 <i>Datos de los estándares de cadmio para la elaboración de la curva de calibración</i>	45
Tabla 19 <i>Resultados de la concentración de cadmio (ppm) en las muestras de Diente de León de cada estación de monitoreo</i>	46
Tabla 20 <i>Datos de los estándares de cobre para la elaboración de la curva de calibración</i>	48
Tabla 21 <i>Resultados de la concentración de cobre (ppb) en las muestras de Diente de León de cada estación de monitoreo</i>	49
Tabla 22 <i>Datos de los estándares de plomo para la elaboración de la curva de calibración</i>	51
Tabla 23 <i>Resultados de la concentración de plomo (ppb) en las muestras de Diente de León de cada estación de monitoreo</i>	52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Área de estudio cercana a estaciones de monitoreo del DMQ</i>	13
Figura 2 <i>Resultados monóxido de carbono.</i>	24
Figura 3 <i>Resultados dióxido de nitrógeno.</i>	26
Figura 4 <i>Resultados ozono.</i>	27
Figura 5 <i>Resultados Material Particulado 2,5</i>	29
Figura 6 <i>Resultados Material Particulado 2,5</i>	30
Figura 7 <i>Resultados Dióxido de Azufre</i>	31

Figura 8 <i>Valores de NDVI en los años 2019, 2020, 2022 en la estación de Belisario.</i>	33
Figura 9 <i>NDVI representado en ArcGIS estación Belisario.</i>	33
Figura 10 <i>Valores de NDVI en los años 2019, 2020, 2022 en la estación de Carapungo.</i>	34
Figura 11 <i>NDVI representado en ArcGIS estación Belisario.</i>	35
Figura 12 <i>Valores de NDVI en los años 2019, 2020, 2022 en la estación de Centro.</i>	36
Figura 13 <i>NDVI representado en ArcGIS estación Centro.</i>	36
Figura 14 <i>Valores de NDVI en los años 2019, 2020, 2022 en la estación de El Camal.</i>	37
Figura 15 <i>NDVI representado en ArcGIS estación Belisario</i>	38
Figura 16 <i>Valores de NDVI en los años 2019, 2020, 2022 en la estación de Guamaní.</i>	39
Figura 17 <i>NDVI representado en ArcGIS estación Belisario</i>	39
Figura 18 <i>Valores de NDVI en los años 2019, 2020, 2022 en la estación de Tumbaco.</i>	40
Figura 19 <i>NDVI representado en ArcGIS estación Belisario</i>	41
Figura 20 <i>Análisis estadístico NDVI -ANOVA</i>	42
Figura 21 <i>Curva de calibración de Cadmio</i>	46
Figura 22 <i>Análisis estadístico -ANOVA Cadmio</i>	47
Figura 23 <i>Curva de calibración estándar de Cobre</i>	48
Figura 24 <i>Análisis estadístico -ANOVA- Cobre</i>	50
Figura 25 <i>Curva de calibración estándar de Plomo</i>	51
Figura 26 <i>Análisis estadístico -ANOVA- Plomo</i>	53

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1 <i>Puntos de monitoreo atmosférico analizados</i>	59
Anexo 2 <i>Recolección de muestras</i>	59

Anexo 3 <i>Diente de león</i>	60
Anexo 4 <i>Limpieza de muestras</i>	60
Anexo 5 <i>Colocación de muestras en la estufa para secar</i>	61
Anexo 6 <i>Muestras secas</i>	61
Anexo 7 <i>Muestras trituradas y tamizadas</i>	62
Anexo 8 <i>Peso de las muestras</i>	62
Anexo 9 <i>Limpieza del digestor</i>	63
Anexo 10 <i>Extracción de muestras</i>	63
Anexo 11 <i>Soluciones estándar para curva de calibración</i>	64
Anexo 12 <i>Muestras aforadas a 25ml</i>	64
Anexo 13 <i>Equipo espectrofotómetro de absorción atómica mediante Horno de grafito</i>	65
Anexo 14 <i>Automuestreador</i>	65
Anexo 15 <i>Lamparas espectrales</i>	66
Anexo 16 <i>Inyección de la muestra para el análisis</i>	66

RESUMEN

La contaminación ambiental, específicamente contaminación del aire tiene graves consecuencias en el ambiente y personas. Según la OMS el número de personas que mueren por efectos de la exposición a contaminantes de aire en ambientes internos y externos asciende a 7 millones de personas (OPS/OMS, 2014). Además 9 de cada 10 personas respira aire contaminado en diferente grado(OMS, 2018). Por otro lado, las actividades antropogénicas de transporte, explotación de recursos, uso de energías, cultivos intensivos y masivos, generan alrededor de dos millones de toneladas de CO₂ que se expande en la atmósfera, trayendo como consecuencia, un aumento en la concentración de CO₂; es decir, después de 200 años de la revolución industrial el CO₂ ha ido de 250ppm a más de 400ppm en la actualidad (OMS, 2016).

La presente investigación pone en juego 3 aspectos que coinciden en la emisión contaminantes, por lo que se realizó un análisis estructurado acerca de los contaminantes en un criterio de tres años consecutivos, para dar a conocer sus valores de concentración, que se encuentran monitoreados por la REMMAQ y su relación con el estado de la cobertura vegetal de las zonas cercanas a las estaciones de monitoreo. Los datos de cobertura vegetal fueron obtenidos por medio de imágenes del satélite Copernicus S2 para los años 2019, 2020 y 2022 con una extensión de 500m a la redonda de cada una de las 6 estaciones consideradas (Belisario, Carapungo, Centro, El Camal, Guamaní, Tumbaco), mientras que los registros de valores de monitoreo atmosférico fueron obtenidos de las bases de datos públicas que mantiene la Secretaría de Ambiente del Municipio del DMQ para los tres años. Además, se compararon estos resultados con la cantidad de metales almacenada en la especie vegetal *Taraxacum officinale*, obtenidas por

absorción atómica. Dicha especie vegetal fue tomada en cuenta como punto principal de investigación en el presente trabajo, por su existencia en las estaciones más cercanas de monitoreo.

Como resultados se determina que la estación de monitoreo del Camal es la que tiene concentraciones más altas de material particulado durante los 3 años de análisis de resultados (2019, 2020, 2022) superando el valor máximo anual de la normativa de calidad de aire ambiente. Por otro lado, la calidad de la cobertura vegetal que más ha disminuido es la que se extiende alrededor de la estación del Centro con un valor de 0,15. Además, en los análisis realizados para determinación de Cobre, Plomo y Cadmio, se evidencia un alto contenido de estos metales especialmente en la estación de Belisario.

Palabras Clave: Contaminación, cobertura vegetal, estaciones de monitoreo

ABSTRACT

Environmental pollution, specifically air pollution, has serious consequences for the environment and people. According to the WHO, the number of people who die from the effects of exposure to air pollutants in internal and external environments amounts to 7 million people (PAHO/WHO, 2014). In addition, 9 out of 10 people breathe polluted air to a different degree (WHO, 2018). On the other hand, the anthropogenic activities of transport, exploitation of resources, use of energy, intensive and massive crops, emit millions of tons of CO₂ into the atmosphere, which has caused that in barely 200 years after the industrial revolution, the concentration CO₂ has increased from 250 ppm to more than 400 ppm today (WHO, 2016.)

The present investigation puts into play 3 aspects that coincide in the emission of pollutants, so an analysis of the concentration values of the criteria pollutants of three consecutive years monitored by REMMAQ and their relationship with the state of the vegetation cover of the areas near the monitoring stations. The vegetation cover data were obtained through images from the Copernicus S2 satellite for the years 2019, 2020 and 2022 with an extension of 500m around each of the 6 stations considered (Belisario, Carapungo, Centro, El Camal, Guamaní, Tumbaco), while the records of atmospheric monitoring values were obtained from the public databases maintained by the Secretary of the Environment of the DMQ Municipality for the three years. In addition, these results were compared with the amount of metals stored in the plant species "taraxacum officinale", obtained by atomic absorption. This plant species was considered for the present study because all the monitoring stations exist nearby.

As results, it is determined that the Camal monitoring station is the one with the highest concentrations of particulate matter during the 3 years of analysis of results (2019, 2020, 2022),

exceeding the maximum annual value of the ambient air quality regulations. On the other hand, the quality of the vegetation cover that has decreased the most is the one that extends around the Center station with a value of 0.15. In addition, in the analyzes carried out to determine Copper, Lead and Cadmium, a high content of these metals is evident, especially at the Belisario station.

Keywords: Pollution, vegetation cover, monitoring station.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

La contaminación atmosférica tiene que ver con las diferentes concentraciones existentes que sobrepasan los niveles máximos permisibles determinados por la ley, que por lo general pueden ser nocivas para la población y ecosistemas. Para el año 2016, alrededor del 92% de la población total del planeta, se encontraban residiendo en lugares que sobrepasaban los límites establecidos como máximos de concentración de contaminantes del aire (OMS, 2016).

La contaminación frecuente del aire, su aumento en la temperatura y entre otros factores, se asocian a la ausencia de espacios verdes; lamentablemente, la ausencia de los mismos hace que se pierda la mejoría en la calidad de vida, salud y otros factores asociados al bienestar del ser humano contribuyendo muchas veces a la eliminación del polvo, el ruido, enriquecimiento de la biodiversidad y la protección del suelo.

Según datos oficiales, se recomienda que en Latinoamérica al menos debe existir un área mínima de 3.5m²; de esta manera, la población en general se desarrolla en un ambiente limpio y con óptimas condiciones y equilibrio, en garantía del derecho a la vida (OMS, 2015).

Por otra parte, la densidad de los metales pesados es superior a 6000 kg/m³ comprendiendo metales pesados como Cadmio, Cobre, Plomo y Cromo, los cuales son contaminantes ambientales que se encuentran en áreas con alta concentración urbana. La evaluación de metales pesados permite conocer la capacidad bioacumulativa que ciertas especies vegetales adquieren y sirven como herramientas para diagnosticar, gestionar y monitorear dentro de los sistemas ambientales,

generando un impacto en el ambiente que toma gran importancia debido a la toxicidad y ecotoxicidad.

1.2 Justificación

La contaminación del aire es producto de actividades antropogénicas y naturales, que con el pasar de los años, desde tiempos antiguos han ido en evolución y desarrollo, trayendo como consecuencia, la alteración de las propiedades del aire. Entre los principales contaminantes se encuentran materiales como óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono, dióxido de azufre, ozono, que se califican como “contaminantes criterio” y que se miden automáticamente por ciertos municipios especialmente de países desarrollados. Según estudios, el 99% de la población general se encuentra respirando aire que excede los límites establecidos en cuanto a calidad del aire, siendo principalmente los más afectados aquellos países que se encuentran en vías de desarrollo o subdesarrollados, estimando que en el año 2019 este aire dañino provocó en estos países el 89% de los 4,2 millones de muertes prematuras en todo el mundo. (OMS, 2019).

La vegetación urbana es fundamental en el rol de reducción de la contaminación del aire, porque sirve como sumidero de carbono al filtrar y absorber los contaminantes atmosféricos en sus hojas, tejidos y liberar oxígeno durante la fotosíntesis. Además, la contaminación ambiental hacia la vegetación puede llegar a afectar su capacidad para realizar la fotosíntesis, situación que conlleva a la pérdida de la vegetación. Los contaminantes atmosféricos como el dióxido de azufre, el ozono y las partículas pueden ser perjudiciales para el suelo, el agua y pueden afectar la vegetación, produciendo clorosis, estrés oxidativo, desequilibrios nutricionales y modifica la actividad de enzimas.

1.3 Objetivos

1.3.1 General

Evaluar la concentración atmosférica, índice de vegetación y concentración de metales existente en zonas cercanas a estaciones de monitoreo en la ciudad de Quito.

1.3.2 Específicos

Determinar el nivel de contaminación de: material particulado, dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno y ozono de las estaciones de monitoreo ambiental.

Determinar la presencia de metales pesados en especies bioindicadoras, que se encuentran cercanas a las estaciones de monitoreo ambiental.

Determinar el índice de vegetación en cada zona de las estaciones de monitoreo ambiental.

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1 Marco Teórico

2.1.1 Aire

El aire es una mezcla invisible de gases que rodea nuestro planeta y que es esencial para la vida tal como la conocemos (Velasco Duránte, 1961). “Está compuesto principalmente por nitrógeno (78%), oxígeno (21%), y trazas de otros gases como argón, dióxido de carbono, neón y helio, que suman alrededor del 1% que también contiene: partículas sólidas suspendidas como polvo, polen y contaminantes” (Ducloux, 2017).

El Aire es fundamental en la vida de los seres vivos, ya que, por medio de él, se realiza el proceso de respiración, ya que el oxígeno que contiene es necesario para el funcionamiento de nuestros órganos y tejidos. Además de ser esencial para la vida, el aire también desempeña otros roles importantes. Actúa como aislante térmico, ayudando a regular la temperatura de la Tierra. También transporta la humedad, facilitando la creación y formación de nubes, que más tarde se convertirá en lluvia. El aire en movimiento crea el viento, que tiene un impacto en el clima y el esparcimiento de diferentes sustancias que rodean el ambiente.

2.1.2 Contaminantes del aire

La presencia de materiales, tipos de energía y otras sustancias en la atmósfera, implica daños hacia la salud, ambiente y organismos presentes en las misma. Los principales medios de generación de contaminantes son: los procesos industriales que consumen combustibles

fósiles como fuente de energía, fuentes móviles para transportación aérea, terrestre y marítima. También existen procesos industriales que producen contaminantes gaseosos como los COVs y que no necesariamente utilizan combustibles; por ejemplo, el uso de solventes o producción de compuestos químicos.

Segun Castro (2019) en su investigación argumenta que:

Algunos componentes tóxicos que se esparcen en el aire resultan ser tóxicos; por ende, la aspiración de dichos componentes hace que los riesgos en la salud aumenten progresivamente. Aquellas personas con mayor vulnerabilidad a presentar enfermedades o exacerbaciones de sus enfermedades son las que tienen: preexistencias de enfermedades cardiorrespiratorias, en cualquier generación poblacional. La polución en el ambiente no solamente corresponde en el medio exterior, sino también en espacios cerrados, ya que, la calidad del aire que se aspira resulta ser menor a la de los espacios abiertos. (De et al., s. f.)

Entre los principales componentes tóxicos que se encuentran en la atmósfera están:

- Monóxido de carbono (CO)
- Óxido de nitrógeno (NO)
- Ozono (O₃)
- Partículas (PM 2,5 y PM 10)
- Dióxido de azufre (SO₂)

2.1.2.1 Contaminantes en la vegetación.

La contaminación en la vegetación tiene que ver con las consecuencias negativas, resultado de los contaminantes ambientales en las plantas y en los ecosistemas vegetales en general. Los

orígenes de dichos contaminantes pueden ser naturales o de tipo artificial; es decir, a causa de la actividad humana y pueden afectar a las plantas de diferentes maneras.

Uno de los principales contaminantes que afecta a la vegetación es el dióxido de azufre (SO₂), a consecuencia de diferentes actividades industriales; entre ellas, la quema de combustibles fósiles. El SO₂ se deposita sobre las hojas y puede causar daños directos, como la necrosis o muerte de los tejidos vegetales, además contribuye a la disminución y retroceso del proceso de fotosíntesis de las plantas.

Además de estos contaminantes gaseosos, las partículas en suspensión presentes en el aire, como el polvo, el hollín y otros materiales particulados, pueden depositarse sobre las hojas y obstruir los poros de las plantas, dificultando así su capacidad para realizar la fotosíntesis y respirar adecuadamente. El material particulado al que están expuestas las plantas puede tener diferente composición según su origen, por ejemplo, el material particulado generado por actividad minera para construcción es rico en Silice Sodio, Fierro y otros minerales mientras que el material particulado producido por la generación de energía en base al uso de combustibles fósiles puede contener metales pesados como el Pb, Cd, Co, carbón negro, compuestos orgánicos entre otros.

2.1.2.2 La vegetación en las ciudades.

La presencia de vegetación en las ciudades ofrece una serie de beneficios significativos que aumentan las posibilidades de un mejor estilo de vida de las personas y el funcionamiento de los entornos urbanos. Respecto a la calidad del aire, las plantas tienen la capacidad de absorción de CO₂ y la liberación de oxígeno a través de la fotosíntesis. Al hacerlo, contribuyen a la purificación del aire; por consecuencia, los contaminantes que se encuentran en la atmósfera se reducen. La

vegetación urbana actúa como un filtro natural, capturando partículas en suspensión y absorbiendo gases nocivos, lo que contribuye a reducir la contaminación y promover un entorno más saludable.

2.1.3 Guía Internacional de calidad del aire - Organización Mundial de la Salud

La OMS desde el año 1987, publica directrices respecto a la calidad de un aire adecuado para proteger la salud integral de la población, enfatizando que los principales contaminantes atmosféricos son perjudiciales para la salud.

Según la OMS (2021) afirma que:

Para determinar los niveles de concentración recomendados sin exceder los límites, se dio parte a diferentes ensayos cuya evaluación trajo como resultado un nivel alto entre la contaminación y el grado correcto de un ambiente saludable. (Directrices mundiales de la OMS, s. f.)

Tabla 1

Concentración de contaminantes que define la OMS.

Contaminantes	Limites permisibles OMS
Concentración de Ozono (O ₃) promedio anual	100 ug/m ³
Concentración de Monóxido de Carbono (CO) promedio anual	10000 ug/m ³
Concentración de Dióxido de azufre (SO ₂) promedio anual	20 ug/m ³
Concentración de Material Particulado 2,5 promedio anual	10 ug/m ³
Concentración de Dióxido de Nitrógeno (NO ₂) promedio anual	10 ug/m ³

Nota. Describe los limites promedios anuales de los contaminantes según la OMS. Elaborado por: Autoras.

2.1.4 Normativa Para Calidad de Aire en Ecuador

La Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire Ambiente (NECA) es “publicada como parte constituyente del Texto Unificado de la Legislación ambiental Secundaria, cuya versión vigente se publicó en el Registro Oficial Nro. 464 del 7 de junio del 2011” (Ministerio del Ambiente, 2011).

Tabla 2

Concentración de contaminantes como criterio que define el nivel máximo anual permisible.

Contaminantes	Limite permisible anual
Concentración de Ozono (O ₃) promedio anual	100 ug/m ³
Concentración de Monóxido de Carbono (CO) promedio anual	15000 ug/m ³
Concentración de Dióxido de azufre (SO ₂) promedio anual	60 ug/m ³
Concentración de Material Particulado 2,5 promedio anual	15 ug/m ³
Concentración de Dióxido de Nitrógeno (NO ₂) promedio anual	40 ug/m ³

Nota. Describe los limites promedios anuales de los contaminantes a ser, según NECA.

Elaborado por: Autoras.

2.1.5 Calidad de Aire en Quito

La calidad del aire en el Distrito Metropolitano de Quito, generalmente se considera buena o satisfactoria. La concentración de PM 2.5, es el principal contaminante que se registra en la ciudad. Un estudio que se realizó durante la pandemia de COVID-19, demostró que la contaminación a causa del smog se redujo en un 70% debido a las restricciones de movilidad.

(RMMAQ, 2020). El aire distribuido en la ciudad de Quito y el monitoreo de su calidad se realiza las 24 horas del día, los 7 días de la semana y durante todo el año.

2.1.6 Índice de vegetación

Son parámetros calculados a partir de valores de la reflectancia a distancias longitudinales de onda, y que son particularmente sensibles a la cubierta vegetal (Aguayo, 2013). Dichos índices se utilizan en la diferenciación entre suelo y vegetación para su mejoría; es decir, si los valores son bajos indica una vegetación poco vigorosa, o si sus valores son altos, por consecuencia, su vegetación tiene un alto índice de vigorosidad. En este trabajo se utilizará el Índice de vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), debido a la facilidad de cálculo, poniendo a disposición un rango de variación fijo entre -1 y + 1.

2.1.7 Bioindicadores

Las especies bioindicadoras son organismos vivos que se utilizan para evaluar el estado de salud de un ecosistema o para detectar cambios en el ambiente. Estas especies son sensibles a los impactos ambientales y, por lo tanto, pueden proporcionar información valiosa sobre la calidad del hábitat y los posibles efectos de la contaminación u otros cambios ambientales.

Un organismo se considera un indicador biológico cuando muestra una respuesta discernible ante diversas formas de perturbación del entorno, como la contaminación del aire, por ejemplo. Muchas especies no pueden ajustarse de manera ecológica o genética a condiciones ambientales alteradas, por lo que su ausencia en realidad señala un problema. Su comportamiento en tales circunstancias difiere de su estado natural en aspectos como su comportamiento, fisiología, población y su interacción con otros seres vivos (García y Rubiano 1984).

2.1.7.1 Diente de León – *Taraxacum*

Su nombre científico es *Taraxacum officinale*, considerada perenne herbácea, forma parte de la familia de las asteráceas. Es nativo de Europa y se ha naturalizado en otras muchas partes del mundo. El diente de león es una flor amarilla y su cabeza de semilla blanca y esponjosa que se dispersa fácilmente con el viento. Esta planta tiene la capacidad de adaptarse a las condiciones que el medio ambiente le presente. (Rosselli, Rossi & Sasu, 2006)

2.1.8 Metales en la vegetación Cu, Cd, Pb

Los metales pesados pueden alterar a los procesos fisiológicos de las plantas, reduciendo su crecimiento y disminuir la producción de biomasa y al llegar al suelo estos metales pesados causan inhibición del crecimiento de las raíces y órganos de la planta, daños estructurales y estrés oxidativo.

2.1.8.1 Cadmio

El cadmio es un metal pesado con un alto índice de toxicidad; en las plantas se involucra en el crecimiento, clorosis, aunque en pequeñas proporciones es esencial para las plantas, pero en el ser humano afecta al hígado y riñones debido a que en esos órganos se acumula (Hernández-Baranda et al., 2019). Se considera que no se debe ingerir más de 400 a 500 mg de cadmio por persona a la semana, mientras en sangre para una persona que no consume tabaco es de 0.376 ug/L (ATSDR, 2016). Este metal llega al ser humano por el consumo de cigarrillo, consumo de alimentos contaminados y la inhalación de este.

2.1.8.2 Cobre

Este metal se encuentra naturalmente en el suelo, agua y en niveles bajos en el aire., se encuentra en animales y plantas. Además, el cobre puede ingresar al medio ambiente por la liberación de minas de cobre, por basurales, aguas residuales y combustión de desperdicios y combustibles fósiles, producción de abonos, madera, entre otros (ATSDR, 2016). Es esencial para la dieta de todos los organismos.

OSHA (2004), ha establecido que

El límite de 1.0 mg/m³ de polvo de cobre para proteger la salud humana.

2.1.8.3 Plomo

Es un contaminante ambiental cuya presencia se debe principalmente a actividades antropogénicas como minería, la industria, incineradoras y vertederos. Este metal no es esencial en las plantas, entre los síntomas que denotan su toxicidad es que detienen el crecimiento de la planta tanto en las hojas como tallo, representando en las hojas necrosis de color rojizo.

La Agencia de protección Ambiental – EPA, considera que el plomo al estar concentrado en el aire no debe exceder a 1,5 ug/m³ como promedio durante 3 meses.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación y descripción del Área de Estudio

El proyecto se desarrolló en la ciudad de Quito, específicamente en un área de 500 metros a la redonda de cada una de las 6 estaciones de monitoreo atmosférico a estudiar.

El área de estudio fue delimitada con el Programa ArcGIS utilizando los Shapefiles de “parroquias” del DMQ existente en el Geo portal Metropolitano y se seleccionaron 6 de las 8 estaciones.

Tabla 3

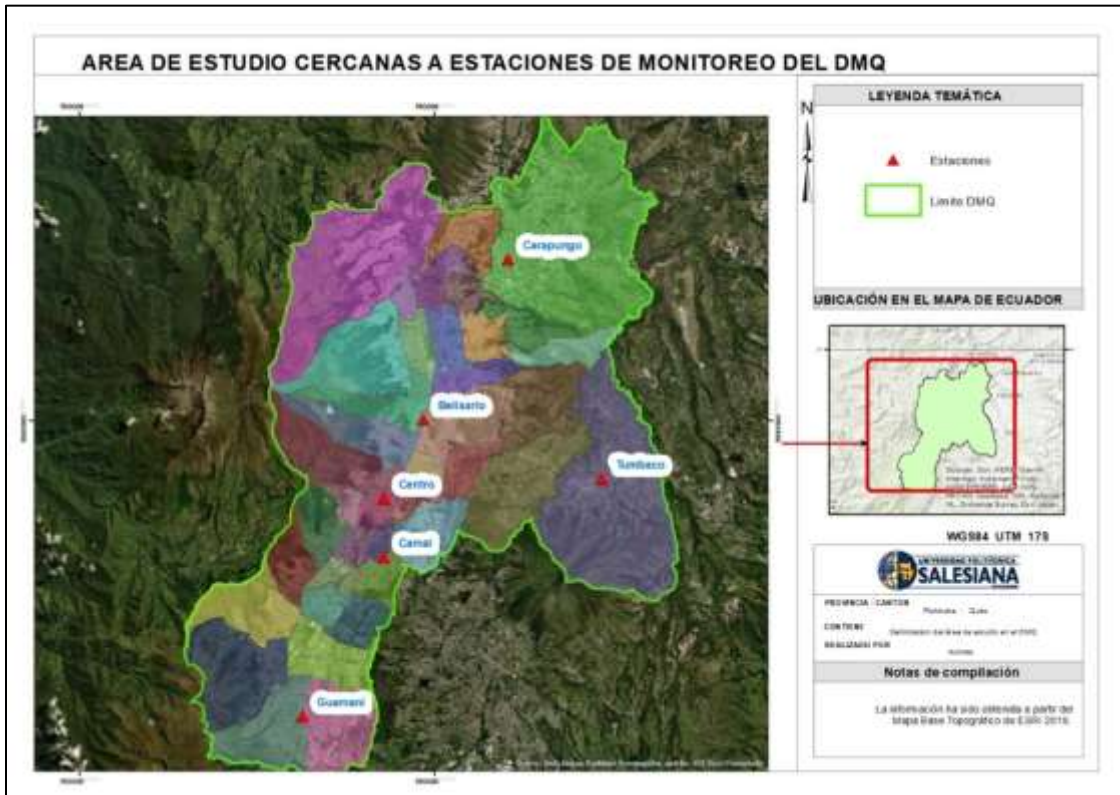
Ubicación en coordenadas UTM, de las 6 estaciones de monitoreo atmosférico en el DMQ.

Estaciones	Coordenadas	
	Este	Norte
Belisario	778739,00	9979593,70
Carapungo	783876,10	9989458,40
Centro	776727,30	9975537,40
El Camal	777190,80	9972371,90
Guamaní	772331,50	9963061,30
Tumbaco	789072,50	9976242,20

Nota. Registro de la ubicación de cada estación a estudiar. Elaborado por: Autoras.

Figura 1

Área de estudio cercana a estaciones de monitoreo del DMQ.



Nota. Se presentan por parroquia las estaciones de monitoria a estudiar. Elaborado por: Autoras.

3.2 Metodología Índice de Vegetación

El NDVI es utilizado para estimar la cantidad y salud de la vegetación en un área que haya sido delimitada, para realizar el NDVI en los años antes, durante y después de la pandemia, es decir año 2019, 2020 y 2022 se utilizó Google Earth Engine, para así importar imágenes satelitales llamadas COPENICUS/S2, tomando en cuenta el lugar y fecha.

Para calcular el NDVI se utilizan bandas de reflectancia infrarroja cercana (NIR) y roja (RED).

Aplicando la formula:

$$NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED}$$

El resultado del NDVI se agregará como una banda adicional a las imágenes en la colección. En donde se colocará la colorimetría para la visualización.

3.3 Metodología para definir el nivel de Contaminación Atmosférica

Se utiliza los datos históricos de la REMMAQ para obtener valores promedios anuales 2019, 2020 y 2022 de las 6 estaciones: Belisario, Carapungo, Centro, El Camal, Guamaní y Tumbaco, comprendiendo su ubicación tanto de sur a norte y centro como de este a oeste, antes, durante y después de la pandemia.

3.4 Metodología para determinar la concentración de Metales Pesados en Vegetación

3.4.1 Fase de campo

Se realiza por inspección visual en base al criterio de “presencia” en las áreas correspondientes a 500 m a la redonda de las estaciones de monitoreo.

3.4.1.1 Materiales y equipos para la recolección de las muestras de vegetación

- Bolsas herméticas
- Bisturí
- Espátula

- Guantes
- GPS móvil

Toma de muestras vegetales

Para la toma de muestras se utilizó el GPS para ubicar los puntos de muestreo en un límite de 500 metros a la redonda de los puntos de los puntos de monitoreo de las 6 estaciones a estudiar, se realizó un transecto de 250 de 1*1. Con ello se determinó la presencia de la especie bionidadora denominada Diente de León.

Se toma el bisturí, cortando únicamente las hojas de la planta, ya que el análisis de los metales estará enfocado únicamente en la absorción de contaminación (aire) por medio de sus hojas, guardándolas herméticamente en las bolsas plásticas, etiquetadas correctamente para luego ser transportadas a refrigeración.

3.4.2 Fase de laboratorio

3.4.2.1 Limpieza de los materiales

La limpieza del material es de gran importancia, ya que evita que exista algún tipo de contaminación en las muestras a analizar, en especial en la técnica de espectrofotometría de absorción atómica que es de alta sensibilidad.

La técnica utilizada fue: lavar con jabón, abundante agua y enjuagar tres veces con agua tipo 1, posteriormente se colocaron los materiales en la estufa a una temperatura de 70 °C durante 15 minutos, para luego colocar por tres veces agua tipo 1 para proceder a utilizar el material.

Materiales

- Crisol

- Balanza
- Tamiz #20
- Desecador
- Espátula
- Estufa
- Brocha
- Mortero
- Aluminio

3.4.2.2 Secado

Para sustraer muestras se consideró pertinente la utilización de 3g de las hojas del diente de león de cada punto de muestreo, llevadas a la estufa a una temperatura de 105°C en un tiempo de 24 horas, logrando secar las muestras en su totalidad, para así triturarlas una por una, utilizando morteros y con ayuda de un tamiz separar las partículas más pequeñas, para obtener una cantidad de 300 mg por muestra.

3.4.2.3 Materiales y equipos utilizados en la etapa de digestión de muestras

- Pipeta
- Bomba para pipeta
- Microondas digestor

Tabla 4

Reactivos utilizados en la etapa de digestión de muestras.

Reactivos	Fórmula
Ácido nítrico	HNO ₃
Agua destilada	H ₂ O

Nota. Se presentan los reactivos para la digestión de las muestras. Elaborado por: Autoras

3.4.2.4 Digestión de la muestra

Una vez obtenidas las muestras de 300 mg, se coloca en cada vaso de teflón respectivamente cada muestra y se añade a cada una de ellas, 5 ml de ácido nítrico (HNO₃), para luego ser cerradas con un disco de seguridad y tapón de rosca, introduciéndolas en el microondas de digestión. Posteriormente se selecciona el programa ya antes configurado con la guía de *Microwave Digestion of Activated Sludge*,, “MICROWAVE DIGESTION OF DRIED PLANTS” que tiene un tiempo de 40 min. Posterior al tiempo establecido se extraen los vasos del microondas y se hace reposar por unos 10 minutos en la soborna para que este se enfríe y se más practico al momento de abrir los vasos y puedan eliminar los gases generados por el proceso de digestión.

A continuación, se presenta el programa de temperatura para la digestión de muestras:

Tabla 5

Programa de temperatura para digestar plantas.

Paso	1	2	3	4	5
Tiempo (min)	5	10	10	10	10
Temperatura (°C)	145	180	100	75	75

Rampa	2	2	2	2	2
Potencia %	100	100	100	100	100

Nota. Se presentan el rango de condiciones utilizados para digerir las muestras. Elaborado por:

Autoras

3.4.2.5 Materiales utilizados en la etapa de preparación de muestras

- Balón aforado
- Frascos Ámbar
- Embudo.
- Papel filtro
- pipeta

Tabla 6

Reactivos utilizados en la etapa de preparación de muestras previo análisis.

Reactivos	Fórmula
Agua destilada T1	H ₂ O

Nota. Se presentan los reactivos utilizados para aforar las muestras. Elaborado por: Autoras

Una vez enfriadas las muestras, se procede a abrir dentro de la soborna para luego ser filtradas con ayuda del embudo y papel filtro en los balones de 50 ml. Aforando las muestras con agua destilada tipo 1 hasta llegar al volumen de 50 ml de solución, una vez aforadas las muestras se procede a almacenar en frascos Ámbar para su análisis.

3.4.2.6 Preparación de estándares de metales

Este proceso se realiza para poder determinar la concentración de metales en una muestra líquida. Para esto se deben preparar estándares que deben contener concentraciones que abarquen el rango esperado en las muestras reales de los metales (cadmio, cobre y plomo) que se van a analizar.

Según la Ley de Lambert-Beer (1729) define que:

La curva de calibración representa la relación matemática entre la absorbancia y la concentración del metal; es decir, la absorción es directamente proporcional a la concentración del metal. Fuente citar

A continuación, se representa los estándares utilizados:

Tabla 7

Solución de estándares de metales para la curva de calibración.

Metal	Concentración	Unidades
Cu	100	ppb
Co	100	ppb
Cd	10	ppb
Pb	100	ppb

Nota. Se presentan los reactivos utilizados para aforar las muestras. Elaborado por: Autoras

3.4.2.7 Análisis de metales pesados mediante espectrofotometría de absorción atómica.

Se utilizó el equipo de espectrofotometría de Absorción Atómica acoplado a horno de grafito de marca GBC modelo ENDURO T2100.

Una vez digeridas las muestras y aforadas a un volumen de 25 mL se colocó en viales según la codificación:

Tabla 8

Numeración de las muestras.

Estación	R 1	R 2	R 3
Belisario	1:1	1:2	1:3
Carapungo	2:1	2:2	2:3
Centro	3:1	3:2	3:3
El Camal	4:1	4:2	4:3
Guamaní	5:1	5:2	5:3
Tumbaco	6:1	6:2	6:3

Nota. Codificación de las muestras para ingresar al digester. Elaborado por: Las Autoras

3.4.2.8 Métodos de medición de metales pesados.

Tabla 9

Métodos y equipo en la etapa de medición de metales

Metal de medición	Método	Equipo
Cu	Horno de grafito	Espectrofotómetro de absorción atómica
Cd		
Pb		

Nota. Se presentan los metales a analizar junto al método y equipos utilizados. Elaborado por:
Autoras

3.4.2.9 Hipótesis planteada para apreciación de los ANOVAS

El análisis ANOVA se utilizaría para determinar si existe al menos un lugar con una concentración de metales significativamente mayor que los otros.

Hipótesis Nula (H_0): No hay diferencias significativas en la concentración de metales entre los 6 lugares en la ciudad; es decir, todas las medias de concentración de metales en los lugares son iguales.

Hipótesis Alternativa (H_1): Existe al menos un lugar con una concentración de metales significativamente mayor que los demás; es decir, al menos una de las medias de concentración de metales en los lugares es diferente de las demás, indicando que hay un lugar con la mayor concentración.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Análisis anual de valores de contaminación del aire en el DMQ.

Las estaciones de monitoreo estudiadas son Belisario, Carapungo, Centro, El Camal, Guamaní y Tumbaco, entre los años 2019 a 2022. Los contaminantes atmosféricos considerados son los que se asumen mundialmente como contaminantes criterio y que son: Monóxido de Carbono, Dióxido de Nitrógeno, Ozono, Material particulado 2,5 y Dióxido de azufre.

Tabla 10

Resumen de promedios anuales de los contaminantes por cada estación.

	BELISARIO			CARAPUNGO			CENTRO		
	2019	2020	2022	2019	2020	2022	2019	2020	2022
CO	635,55	544,25	632,01	536,89	542,80	638,51	665,89	591,97	731,76
NO2	25,94	21,79	25,08	19,20	16,75	19,93	25,17	21,81	28,53
O3	25,76	29,30	23,22	21,20	25,76	25,70	18,43	24,79	23,94
PM 2,5	14,46	12,46	18,69	17,00	14,32	14,26	15,55	12,78	17,59
SO2	2,49	3,02	3,65	1,99	2,43	4,20	2,80	2,78	3,43
	EL CAMAL			GUAMANÍ			TUMBACO		
	2019	2020	2022	2019	2020	2022	2019	2020	2022
CO	825,89	698,30	789,93	489,86	517,68	606,36	453,80	351,64	395,97
NO2	28,30	23,18	24,64	16,48	16,78	18,97	11,75	10,95	13,48
O3	23,51	25,26	18,21	26,86	31,07	17,67	26,36	27,27	26,10
PM 2,5	19,82	17,17	20,50	17,32	15,65	18,66	12,80	11,56	14,18
SO2	4,62	4,64	5,37	2,07	2,01	2,94	2,15	2,31	3,16

Nota. Valores promedio anual de los años 2019, 2020, 2022 de las estaciones a estudiar.

Elaborado por: Autoras

4.1.1 Monóxido de Carbono CO

Tabla 11

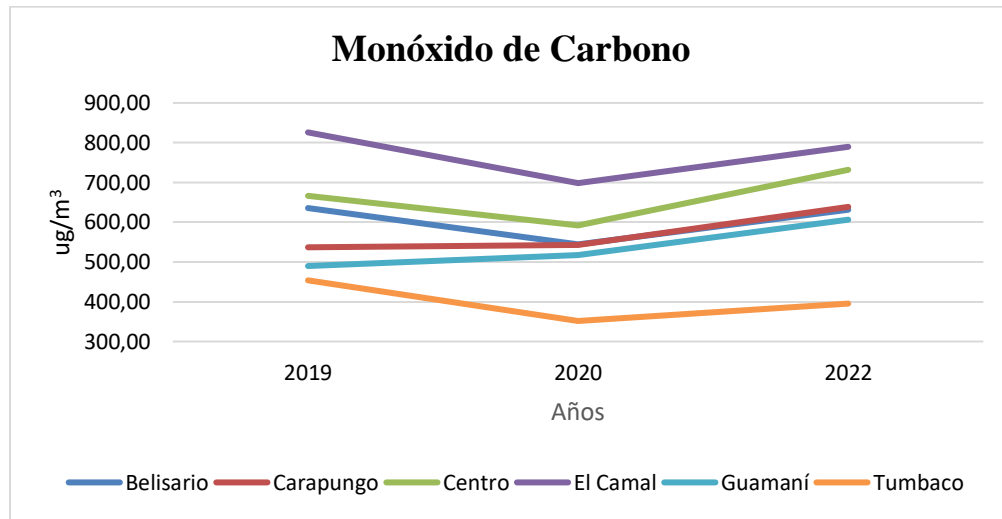
Resumen de datos promedio anual monóxido de carbono (valores en ug/m3).

Estaciones	CO		
	2019	2020	2022
Belisario	635,55	544,25	632,01
Carapungo	536,89	542,80	638,51
Centro	665,89	591,97	731,76
El Camal	825,89	698,30	789,93
Guamaní	489,86	517,68	606,36
Tumbaco	453,80	351,64	395,97
Limite anual	10000	10000	10000

Nota. Se representan los valores promedios anuales registrados de Monóxido de Carbono por estación durante los tres años a estudiar. Elaborado por: Autoras.

Figura 2

Resultados monóxido de carbono.



Nota. Se representan las gráficas lineales de los valores promedios anuales registrados de Monóxido de carbono por estación durante los tres años a estudiar. Elaborado por: Autoras.

Se evidencia una reducción de los valores de monóxido de carbono en el año 2020, durante el confinamiento por covid-19 en 4 de las 6 estaciones de monitoreo, esto se debe a que se paralizaron las actividades antropogénicas.

En la figura 2, se establece que en la estación El Camal se encuentran las más altas concentraciones de CO en los 3 años evaluados, a comparación con la estación Tumbaco, sin embargo, esta estación tiene un comportamiento ascendente después del 2020. No obstante, los valores anuales de CO registrados para cada estación se encuentran por debajo del valor máximo permitido que es 10000 ug/m³.

4.1.2 Dióxido de nitrógeno NO₂

Tabla 12

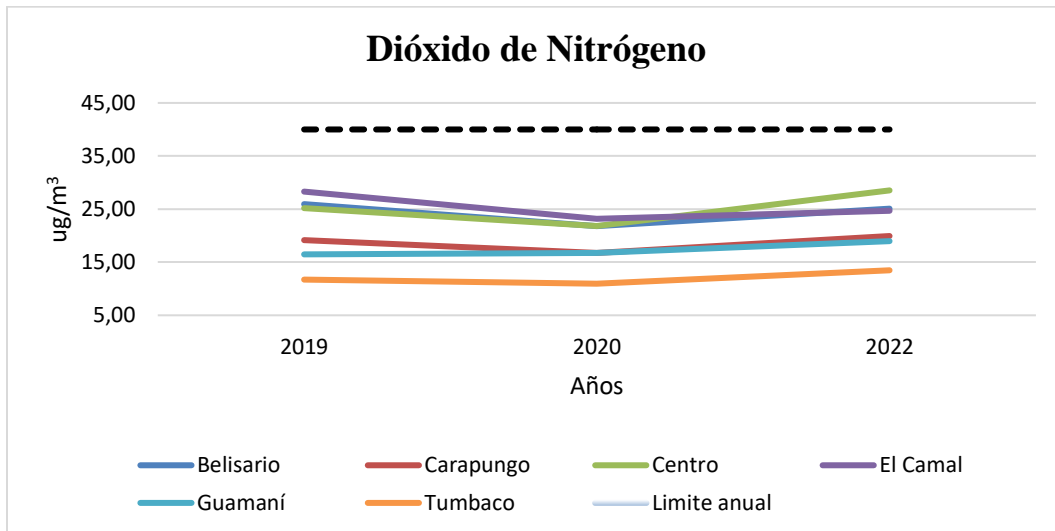
Promedios anuales de dióxido de nitrógeno (valores en ug/m³).

NO₂			
Estaciones	2019	2020	2022
Belisario	25,94	21,79	25,08
Carapungo	19,20	16,75	19,93
Centro	25,17	21,81	28,53
El Camal	28,30	23,18	24,64
Guamaní	16,48	16,78	18,97
Tumbaco	11,75	10,95	13,48
Limite anual	40,00	40,00	40,00

Nota. Se representan los valores promedios anuales registrados de Dióxido de nitrógeno por estación durante los tres años a estudiar. Elaborado por: Autoras.

Figura 3

Resultados dióxido de nitrógeno.



Nota. Se representan las gráficas lineales de los valores promedios anuales registrados de Dióxido de Nitrógeno por estación durante los tres años a estudiar, obtenidos de la Remmaq.

Elaborado por: Autoras.

En la figura 3. Se evidencia que durante el año 2020 existe un descenso de la concentración para dióxido de Nitrógeno en 5 de las 6 estaciones, siendo la Estación de Guamaní la única que no registra este comportamiento descendente. No obstante, los promedios registrados para todas las estaciones no exceden los VMP durante los 3 años a lo que se establece en la Normativa ecuatoriana.

4.1.3 Ozono O₃

Tabla 13

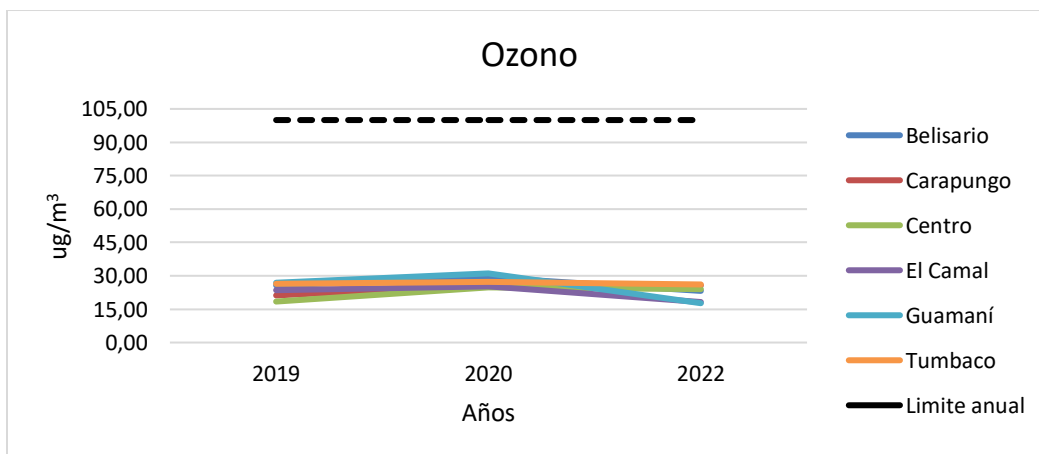
Promedios anuales de ozono (valores en ug/m³).

O₃			
	2019	2020	2022
Belisario	25,76	29,30	23,22
Carapungo	21,20	25,76	25,70
Centro	18,43	24,79	23,94
El Camal	23,51	25,26	18,21
Guamaní	26,86	31,07	17,67
Tumbaco	26,36	27,27	26,10
Limite anual	100	100	100

Nota. Se representan los valores promedios anuales registrados de Ozono por estación durante los tres años a estudiar, obtenidos de la Remmaq. Elaborado por: Autoras.

Figura 4

Resultados ozono.



Nota. Se representan las gráficas lineales de los valores promedios anuales registrados de Ozono por estación durante los tres años a estudiar. Elaborado por: Autoras.

Se observa un incremento de los valores de ozono en todas las estaciones de monitoreo, durante el año 2020, por el confinamiento de la pandemia de covid-19, y esto va directamente relacionado a la reducción de dióxido de nitrógeno y monóxido de carbono durante ese año. (Briz-Redón et al., 2021)

En la gráfica 4. Se evidencia que, durante el año 2020, en las estaciones de monitoreo Belisario y Guamaní se presenta una subida notable a comparación con la estación de monitoreo Tumbaco, Mientras que para el año 2022 la estación Guamaní y El Camal ilustra una caída representativa, debido a las actividades antropogénicas del sector.

En la tabla 13, todos los valores promedio anuales se encuentran dentro de los límites de calidad del aire, establecidos en la Normativa Ecuatoriana que es 100 ug/m³

4.1.4 Material particulado MP 2,5

Tabla 14

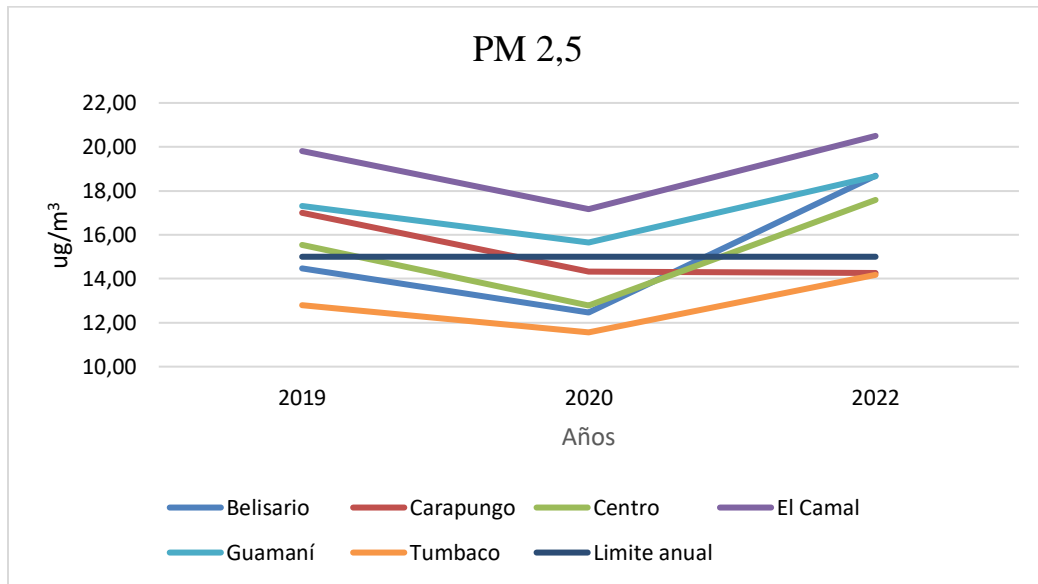
Promedios Material Particulado 2,5 (valores en ug/m³).

	PM 2,5		
	2019	2020	2022
Belisario	14,46	12,46	18,69
Carapungo	17,00	14,32	14,26
Centro	15,55	12,78	17,59
El Camal	19,82	17,17	20,50
Guamaní	17,32	15,65	18,66
Tumbaco	12,80	11,56	14,18
Limite anual	15,00	15,00	15,00

Nota. Se representan los valores promedios anuales registrados de Material Particulado 2,5 por estación durante los tres años a estudiar, obtenidos de la Remmaq. Elaborado por: Autoras.

Figura 5

Resultados Material Particulado 2,5.



Nota. Se representan las gráficas lineales de los valores promedios anuales registrados de Ozono por estación durante los tres años a estudiar. Elaborado por: Autoras.

En la figura 5. Se observa que los valores promedio anuales de las estaciones de monitoreo El Camal y Guamaní durante los 3 años de estudio superan los $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ que es el límite de calidad del aire, establecidos en la NECA.

Se evidencia que, durante el año 2020, en las estaciones de monitoreo El Camal y Guamaní, superan los límites promedio anuales durante los tres años, con un promedio porcentual de 27,75% y 14,73%, respectivamente a comparación con las estaciones Belisario, Carapungo y Centro cuyos promedios porcentuales son: 1.37%, 1.28% y 2.03%, respectivamente. A comparación con la estación Tumbaco que no supera en ningún año el limite permisible.

4.1.5 Dióxido de azufre SO₂

Tabla 15

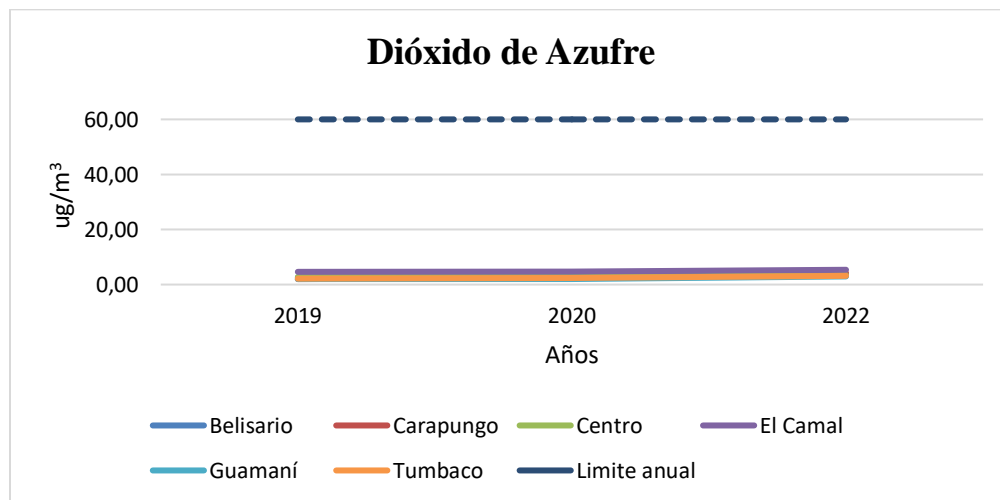
Promedios anuales de dióxido de azufre (valores en ug/m3).

	SO ₂		
	2019	2020	2022
Belisario	2,49	3,02	3,65
Carapungo	1,99	2,43	4,20
Centro	2,80	2,78	3,43
El Camal	4,62	4,64	5,37
Guamaní	2,07	2,01	2,94
Tumbaco	2,15	2,31	3,16
Limite anual	60,00	60,00	60,00

Nota. Se representan los valores promedios anuales registrados de Dióxido de Azufre por estación durante los tres años a estudiar, obtenidos de la Remmaq. Elaborado por: Autoras.

Figura 6

Resultados Material Particulado 2,5.

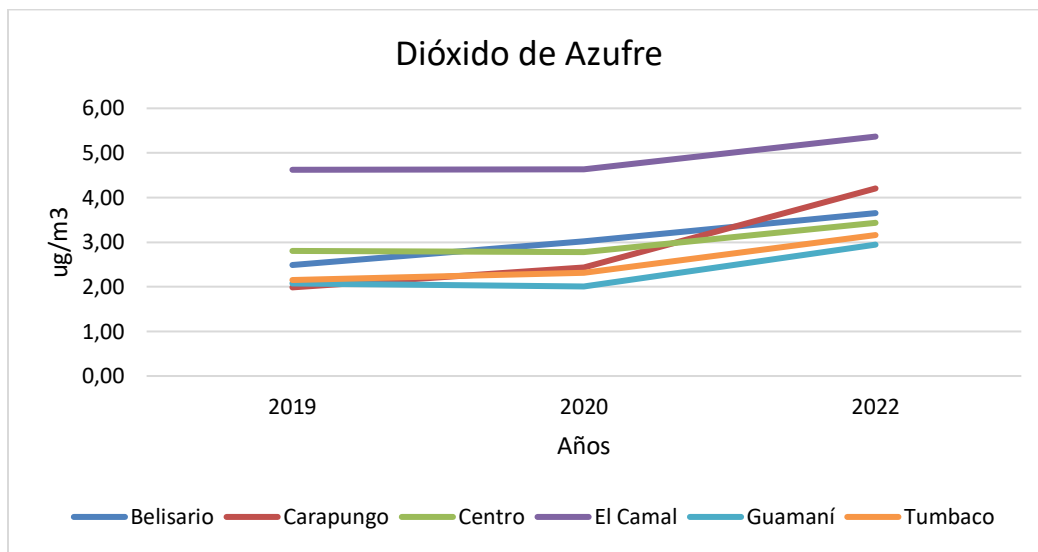


Nota. Se representan las gráficas lineales de los valores promedios anuales registrados de Dióxido de azufre con su límite permisible por estación durante los tres años a estudiar.

Elaborado por: Autoras.

Figura 7

Resultados Dióxido de Azufre.



Nota. Se representan las gráficas lineales de los valores promedios anuales registrados de Dióxido de azufre por estación durante los tres años a estudiar. Elaborado por: Autoras.

Aquí, se observa que los valores promedio anuales de las estaciones, durante los tres años de estudio no superan los límites de calidad del aire, establecidos en la Normativa Ecuatoriana de Calidad de Aire.

En la gráfica 5 y 6. Se evidencia que, durante los tres años, en toda la estación de monitoreo, presenta valores ascendentes del contaminante. Para el año 2020 se observa que las únicas

estaciones que presentan una reducción son Centro y Guamaní, mientras que para el año 2022 todas las estaciones incrementan los niveles de contaminación.

4.2 Determinación del índice de vegetación NDVI

Como ya se indicó, para este análisis se consideró una distancia de 500 m a la redonda del lugar donde se encuentran ubicadas las estaciones de monitoreo atmosférico de: Belisario, Carapungo, Centro, El Camal, Guamaní y Tumbaco, a partir de año 2019 al 2022.

El valor máximo del NDVI nos indica la existencia de plantas en la zona y en que rango se encuentra.

Tabla 16

Clasificación de los valores del NDVI.

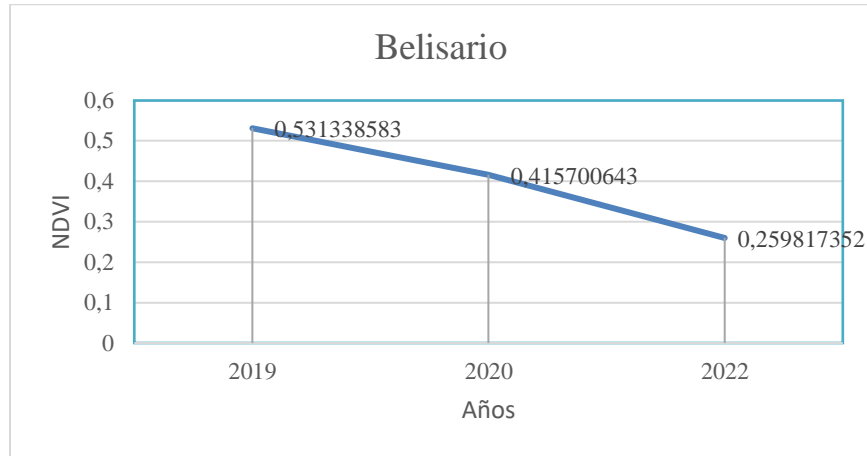
CLASE	RANGO
Planta muerta u objeto inanimado	-1 - 0
Planta enferma	0 - 0,33
Planta medianamente sana	0,33 - 0,66
Planta muy sana	0,66 - 1

Nota. Se presentan la clasificación de los valores del NDVI de acuerdo con su rango. Elaborado por: Autoras.

4.2.1 Belisario.

Figura 8

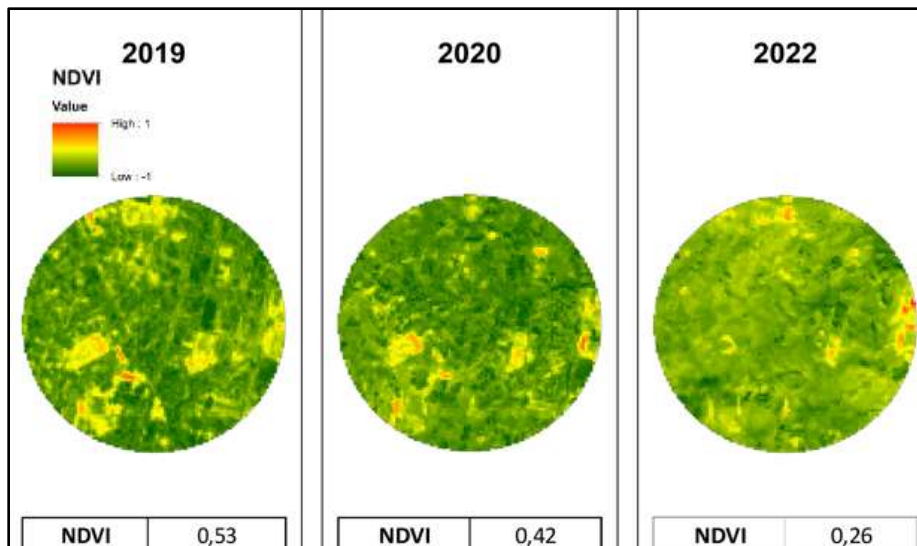
Valores de NDVI en los años 2019, 2020, 2022 en la estación de Belisario.



Nota. Tendencia de los valores de NDVI en la estación de monitoreo Belisario

Figura 9

NDVI representado en ArcGIS estación Belisario.



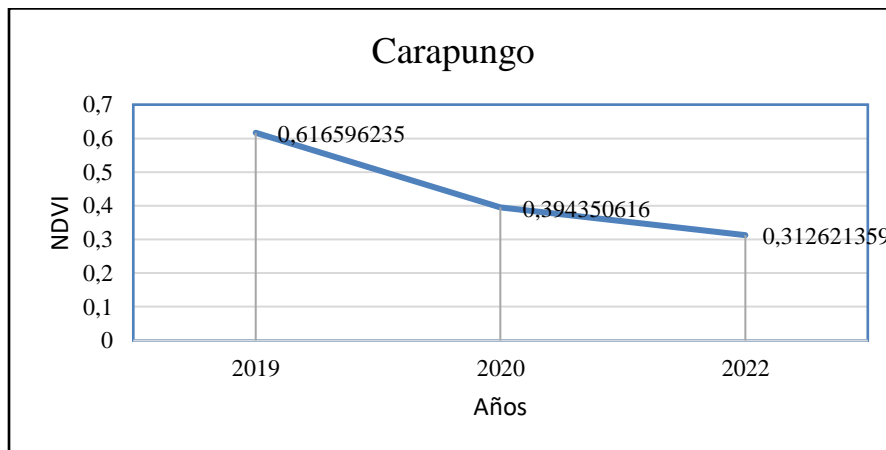
Nota. Ilustra los valores máximos de NDVI de las zonas estudiadas. Elaborado por: Autoras.

En la figura 9 Se evidencia que, durante los tres años, la tendencia de los valores máximos de NDVI es descendente, ubicando al año 2019 con un mayor NDVI en comparación con los valores obtenidos para 2020 y 2022. El valor obtenido es 0,53 y permite catalogar a la vegetación como PLANTAS MEDIANAMENTE SANAS. Esta clase se mantiene para el año 2020 y desciende para año 2022 donde un valor de NDVI de 0.42, ubica a la vegetación en categoría PLANTAS ENFERMAS”. El descenso del valor de NDVI acumulado para 2020 y 2022 es de 51.10% durante estos tres años.

4.2.2 Carapungo

Figura 10

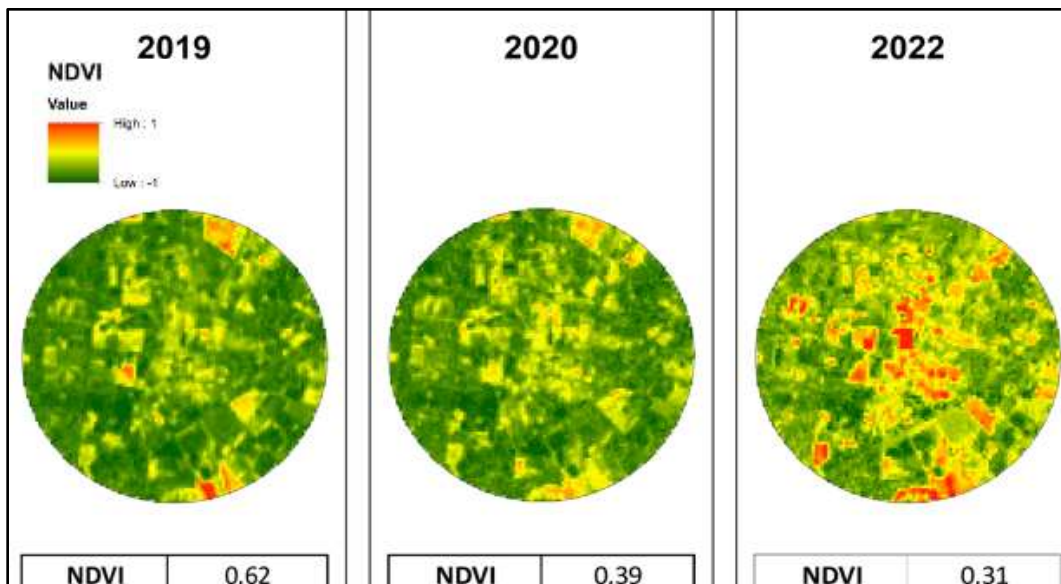
Valores de NDVI en los años 2019, 2020, 2022 en la estación de Carapungo.



Nota. Tendencia de los valores de NDVI en la estación de monitoreo Carapungo.

Figura 11

NDVI representado en ArcGIS estación Belisario.



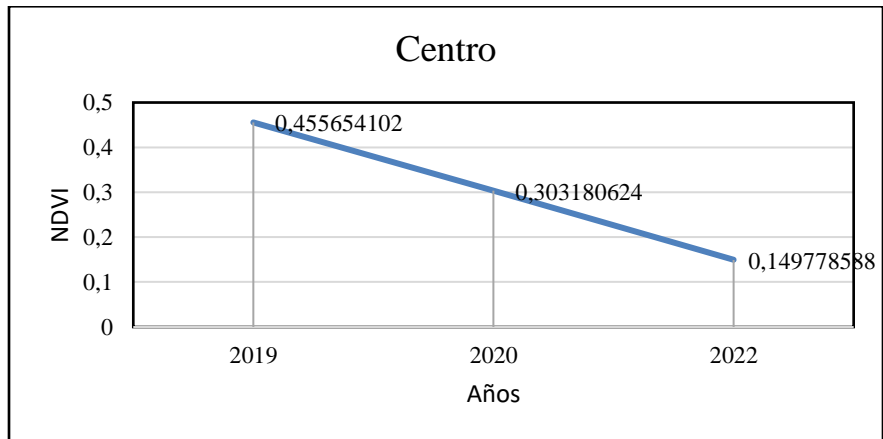
Nota. Ilustra los valores máximos de NDVI de las zonas estudiadas. Elaborado por: Autoras.

En la figura 10, se evidencia que, durante los tres años, la tendencia de los valores máximos de NDVI es descendente, siendo el año 2019 el que presenta un mayor valor de NDVI clasificándola como PLANTAS MEDIANAMENTE SANAS. Esta zona mantiene la misma clase en el año 2020 y desciende a su valor más bajo en el año 2022 clasificando a la vegetación como PLANTA ENFERMA. El porcentaje acumulado de disminución del 10.96% del NDVI durante estos tres años.

4.2.3 Centro

Figura 12

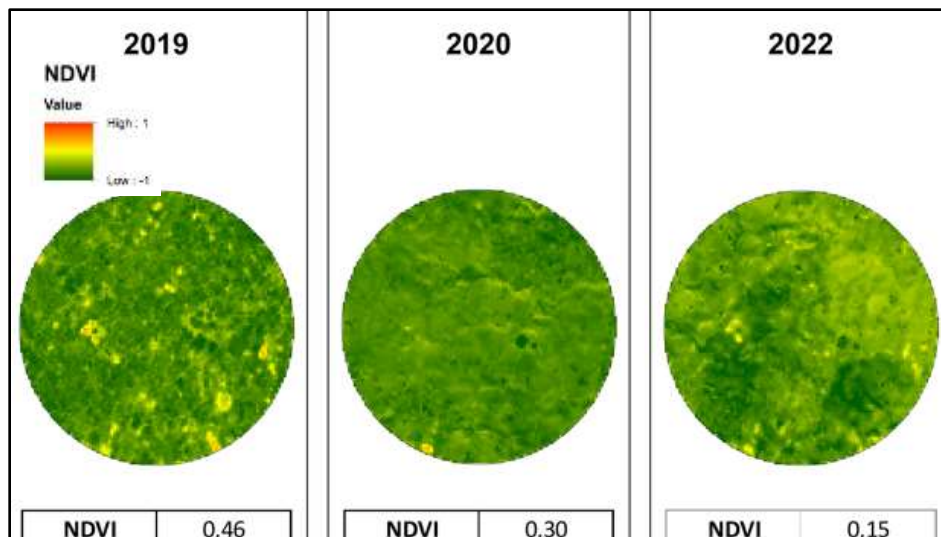
Valores de NDVI en los años 2019, 2020, 2022 en la estación de Centro.



Nota. Tendencia de los valores de NDVI en la estación de monitoreo Centro.

Figura 13

NDVI representado en ArcGIS estación Centro



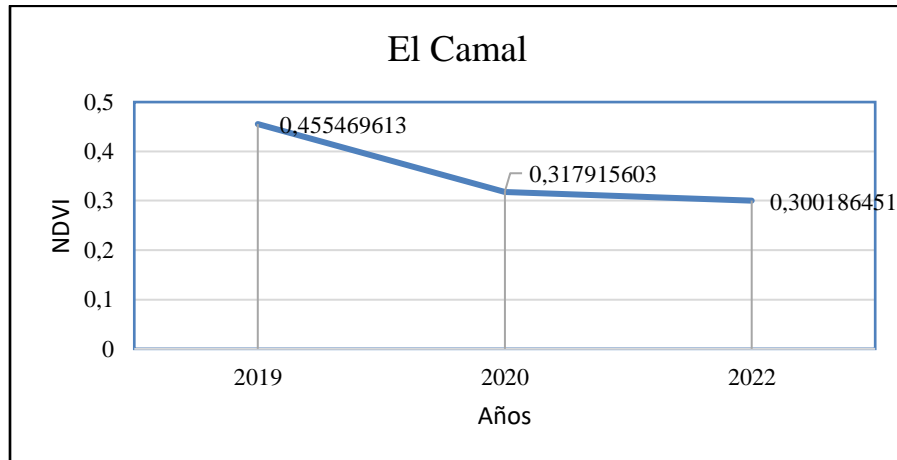
Nota. Ilustra los valores máximos de NDVI de las zonas estudiadas. Elaborado por: Autoras.

En la gráfica 12. Se evidencia que, durante los tres años, la tendencia de los valores máximos de NDVI es descendente, ubicando al año 2019 con un mayor NDVI en comparación con los valores obtenidos para 2020 y 2022. El valor obtenido es 0,46 y permite catalogar a la vegetación como PLANTAS MEDIANAMENTE SANAS. Para el año 2020 y 2022 su valor de NDVI desciende a 0.15 en el cual ubica a la vegetación en categoría PLANTAS ENFERMAS”. El descenso del valor de NDVI acumulado para 2020 y 2022 es de 67.13% durante estos tres años.

4.2.4 El Camal.

Figura 14

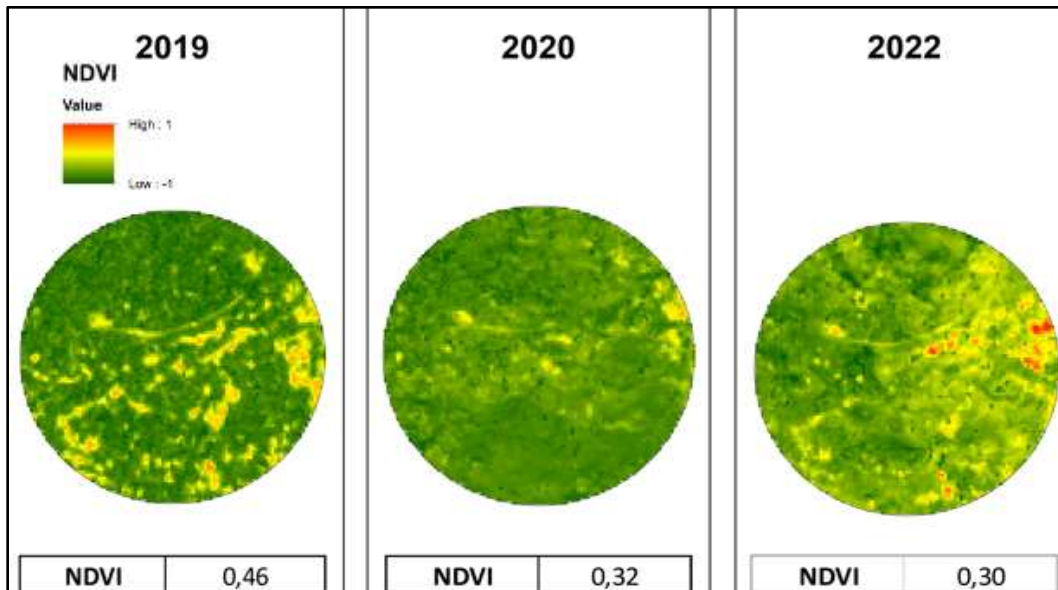
Valores de NDVI en los años 2019, 2020, 2022 en la estación de El Camal.



Nota: Tendencia de los valores de NDVI en la estación de monitoreo El Camal.

Figura 15

NDVI representado en ArcGIS estación Belisario



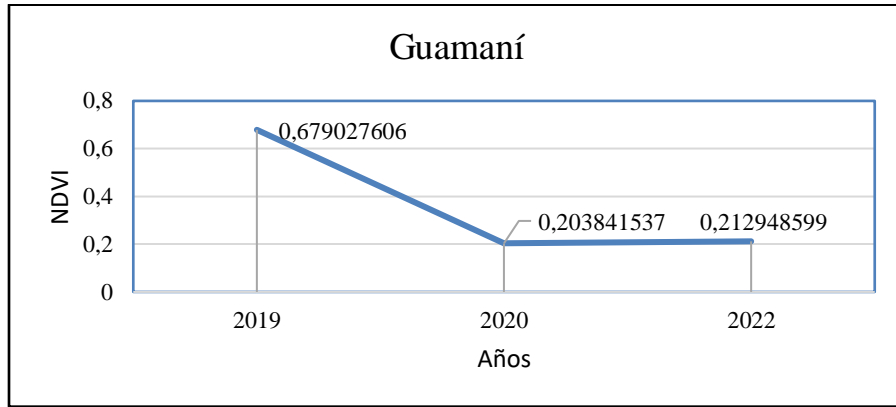
Nota. Ilustra los valores máximos de NDVI de las zonas estudiadas. Elaborado por: Autoras.

En la gráfica 14. Se evidencia que, durante los tres años, la tendencia de los valores máximos de NDVI es descendente, ubicando al año 2019 con un mayor NDVI en comparación con los valores obtenidos para 2020 y 2022. El valor obtenido es 0,46 y permite catalogar a la vegetación como PLANTAS MEDIANAMENTE SANAS. Para el año 2020 y 2022 su valor de NDVI desciende a 0.30 en el cual ubica a la vegetación en categoría PLANTAS ENFERMAS”. El descenso del valor de NDVI acumulado para 2020 y 2022 es de 34.09% durante estos tres años.

4.2.5 Guamaní

Figura 16

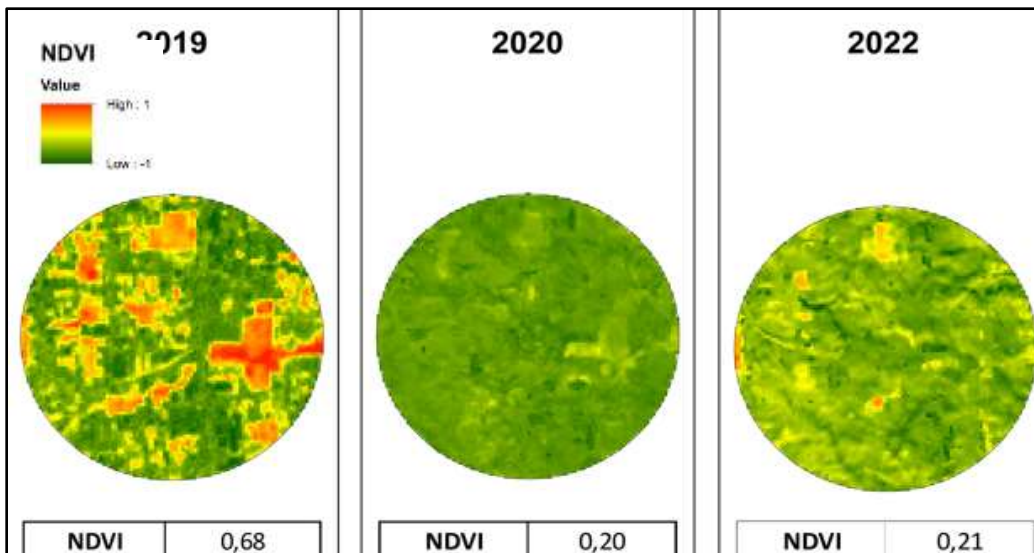
Valores de NDVI en los años 2019, 2020, 2022 en la estación de Guamaní.



Nota: Tendencia de los valores de NDVI en la estación de monitoreo Guamaní. Elaborado por:
Autoras.

Figura 17

NDVI representado en ArcGIS estación Belisario



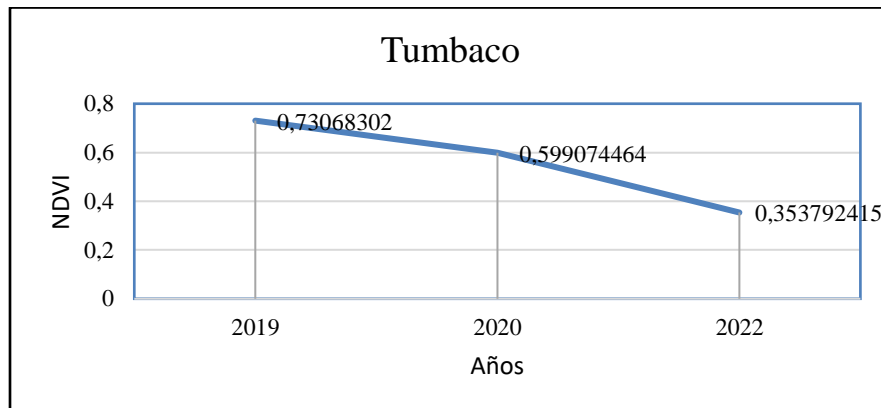
Nota. Ilustra los valores máximos de NDVI de las zonas estudiadas. Elaborado por: Autoras.

En la gráfica 16. Se evidencia que, durante los tres años, la tendencia de los valores máximos de NDVI es descendente, ubicando al año 2019 con un mayor NDVI en comparación con los valores obtenidos para 2020 y 2022. El valor obtenido es 0,68 y permite catalogar a la vegetación como PLANTAS SANAS. Para el año 2020 y 2022 su valor de NDVI desciende a 0.21 en el cual ubica a la vegetación en categoría PLANTAS ENFERMAS”. El descenso del valor de NDVI acumulado para 2020 y 2022 es de 68.64% durante estos tres años.

4.2.6 Tumbaco

Figura 18

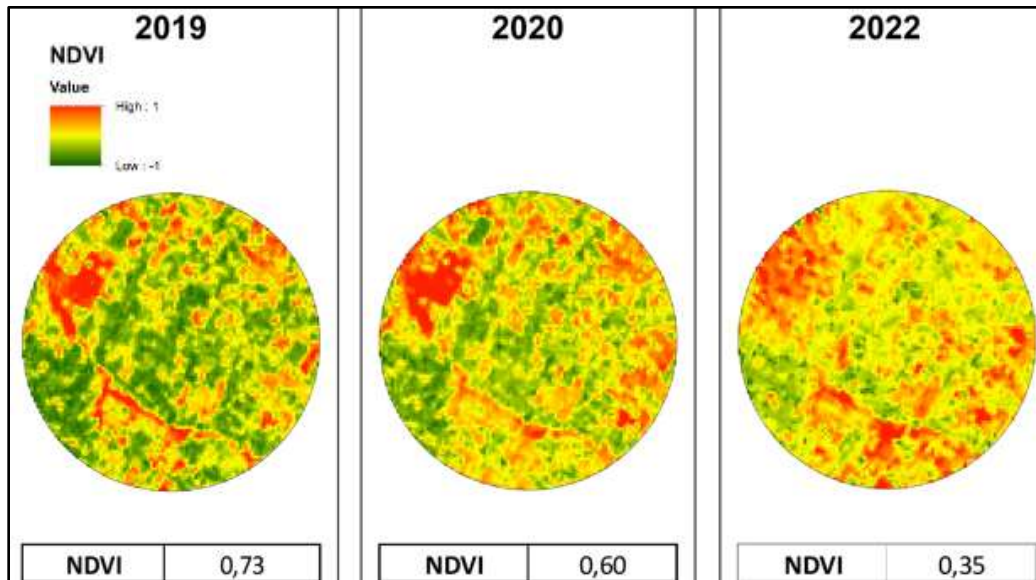
Valores de NDVI en los años 2019, 2020, 2022 en la estación de Tumbaco.



Nota: Tendencia de los valores de NDVI en la estación de monitoreo Tumbaco.

Figura 19

NDVI representado en ArcGIS estación Belisario



Nota. Ilustra los valores máximos de NDVI de las zonas estudiadas. Elaborado por: Autoras.

En la gráfica 18. Se evidencia que, durante los tres años, la tendencia de los valores máximos de NDVI es descendente, ubicando al año 2019 con un mayor NDVI en comparación con los valores obtenidos para 2020 y 2022. El valor obtenido es 0,77 y permite catalogar a la vegetación como PLANTAS SANAS. Esta clase se mantiene para el año 2020 y desciende para año 2022 donde un valor de NDVI de 0.35, ubica a la vegetación en categoría PLANTAS ENFERMAS”. El descenso del valor de NDVI acumulado para 2020 y 2022 es de 51.48% durante estos tres años.

4.2.7 Análisis estadístico del índice de vegetación (ANOVA)

Figura 20

Análisis estadístico NDVI -ANOVA

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,42	7	0,06	9,37	0,0011
trat	0,12	5	0,02	3,71	0,0370
rep	0,30	2	0,15	23,51	0,0002
Error	0,06	10	0,01		
Total	0,49	17			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,22804					
Error: 0,0065 gl: 10					
trat	Medias	n	E.E.		
6	0,56	3	0,05	A	
2	0,44	3	0,05	A	B
1	0,40	3	0,05	A	B
5	0,37	3	0,05	A	B
4	0,36	3	0,05	A	B
3	0,30	3	0,05		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,12727					
Error: 0,0065 gl: 10					
rep	Medias	n	E.E.		
1	0,58	6	0,03	A	
2	0,37	6	0,03		B
3	0,26	6	0,03		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Nota. Análisis estadístico del NDVI-Infostat. Elaborado por: Autoras.

De acuerdo al análisis estadístico ANOVA para el NDVI se demuestra que: Los datos de las estaciones de monitoreo son diferentes, por lo tanto, la estación con mayor valor de NDVI es la estación Tumbaco con una media de 0.56 categorizada en “PLANTAS MEDIANAMENTE SANAS”, mientras que la estación de Centro tiene el valor de NDVI con una media de 0.30 categorizadas en “PLANTAS ENFERMAS” siendo este el valor más bajo con respecto a las demás estaciones, además se demuestra que el valor más alto de NDVI en los

diferentes años es el año 2019 con una media de 0.58 categorizada en “PLANTAS MEDIANAMENTE SANAS”

4.2.8 Análisis de correlación entre variables.

Con el desarrollo de la investigación, se busca conocer la correlación existente entre el Índice de Vegetación y los contaminantes atmosféricos.

Para dicho análisis entre estas dos variables cuantitativas, se ha empleado el Método de Correlación de Pearson. Este procedimiento nos permite obtener el coeficiente de correlación, representado por la letra "r".

El valor "r" se despliega en dos dimensiones fundamentales: su magnitud y su signo. La magnitud del coeficiente indica la intensidad de la relación entre las variables, y oscila en un rango de 0 a 1. Los valores próximos a 0 denotan una ausencia de relación entre las variables, mientras que los valores cercanos a 1 indican una conexión significativa entre ellas.

El signo del coeficiente, por su parte, revela la dirección en la que se producen los cambios. Un valor positivo indica que las variables cambian en la misma dirección, mientras que un valor negativo indica que los cambios ocurren en direcciones opuestas.

Tabla 17

Coeficiente de relación de entre contaminantes y NDVI

	Belisario	Carapungo	Centro	El Camal	Guamaní	Tumbaco
CO/NDVI	-0,051	-0,743	-0,473	0,641	-0,672	0,492
NO2/NDVI	0,113	0,038	-0,502	0,927	-0,581	-0,729
O3/NDVI	0,493	-0,937	-0,865	0,332	0,068	0,690
PM 2,5/NDVI	-0,726	0,970	-0,424	0,224	0,079	-0,597
SO2/NDVI	-0,999	-0,829	-0,849	-0,602	-0,430	-0,958

Nota. Representación del coeficiente de relación entre las variables de contaminantes atmosféricos e índice de vegetación con su magnitud y signo. Siendo: 0,66/1 relación alta; 0,33/0,66 relación media; 0/0,3 No relación. Elaborado por: Las autoras

De acuerdo con los datos consignados en la tabla anterior y los cálculos llevados a cabo, la existencia de una relación entre las dos variables en cuestión: el contaminante SO₂ y el NDVI. En particular, se observa un coeficiente de correlación de -0.999 en la estación de Belisario siendo este el mayor valor entre las estaciones; es decir, mientras más aumenta la concentración del contaminante, el NDVI disminuirá en proporción.

Asimismo, resulta pertinente mencionar que las estaciones Centro y Tumbaco exhiben coeficientes de correlación alto y medio, lo que implica la existencia de una relación entre las dos variables correspondientes a los distintos contaminantes. Los valores obtenidos indican claramente que, a medida que la concentración de los contaminantes aumenta, el NDVI experimenta una disminución. Estos resultados apuntan a la existencia de un vínculo significativo entre la presencia de contaminantes y el estado de la cobertura vegetal en las mencionadas ubicaciones.

4.3 Determinación de metales pesados en especie Tataxaco

Para determinar la especie a estudiar se utilizó el criterio de predominancia en las 6 estaciones se selección la especie vegetal que existían en todas, que fue el Diente de León *Taraxacum officinale*.

Las muestras de diente de león fueron recolectadas en tres diferentes puntos cercanos a las seis estaciones de monitoreo atmosférico la ciudad de Quito, donde se realizó el análisis pertinente

de los diferentes componentes, a través del método de Espectrofotometría de Absorción por Horno de Grafito, analizando un total de 18 muestras.

A continuación, se ilustran los resultados obtenidos de cada estación y metal:

4.3.1 Determinación de Cadmio

La curva de calibración fue realizada a partir de una solución de 100 ppm de cadmio, teniendo los siguientes resultados:

Tabla 18

Datos de los estándares de cadmio para la elaboración de la curva de calibración

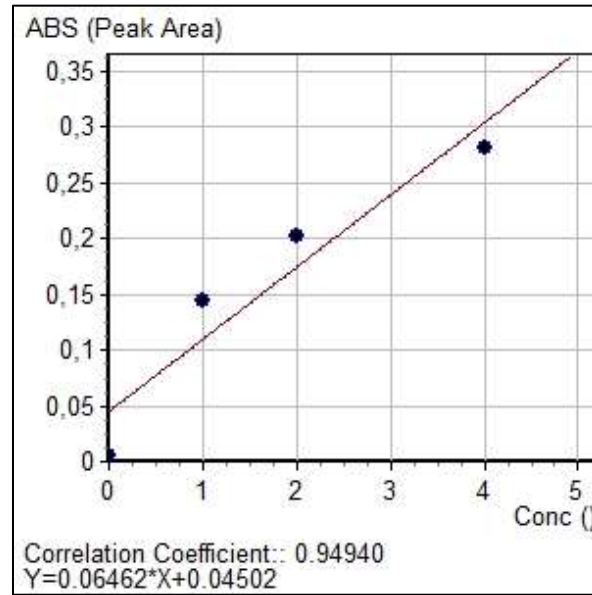
Estándar	Concentración (ppm)	Absorbancia
1	0	0.0056
2	1	0.1433
3	2	0.2026
4	4	0.2809

Nota. Elaborado por las Autoras

La curva de calibración tuvo un coeficiente de correlación de 0.9494, evidenciando una tendencia lineal para una mejor lectura de las concentraciones de cada estación.

Figura 21

Curva de calibración de Cadmio



Nota. Elaborado por las autoras

Tabla 19

Resultados de la concentración de cadmio (ppm) en las muestras de Diente de León de cada estación de monitoreo.

ESTACION	R1	R2	R3	PROMEDIO
Belisario	0,316	0,367	0,269	0,317
Carapungo	0,237	0,453	0,017	0,236
Centro	0,300	0,000	0,190	0,163
El Camal	0,000	0,082	0,131	0,071
Guamaní	0,000	0,509	0,161	0,223
Tumbaco	0,000	0,086	0,000	0,029

Nota. Valores en ppb Cadmio de cada estación con su respectiva repetición. Elaborado por:

Autoras

4.3.1.1 Análisis estadístico Cadmio

Figura 22

Análisis estadístico -ANOVA Cadmio

Cd					
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	889,65	5	177,93	0,82	0,5577
TRAT	889,65	5	177,93	0,82	0,5577
Error	2600,33	12	216,69		
Total	3489,98	17			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=40,37179					
Error: 216,6944 gl: 12					
TRAT	Medias	n	E.E.		
2	16,52	3	8,50	A	
1	13,29	3	8,50	A	
5	0,22	3	8,50	A	
3	0,16	3	8,50	A	
4	0,07	3	8,50	A	
6	0,03	3	8,50	A	

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Nota. Pruebad de Tukey de Cadmio. Elaborado por: Autoras

De acuerdo con el análisis estadístico de varianza se demuestra que todos los datos de las estaciones de monitoreo son iguales, sin embargo, el análisis de Tukey demuestra que la estación con más nivel de concentración de Cadmio es la estación de Carapungo con una media de 16.52 ppb.

4.3.2 Determinación de Cobre

Se elaboró una curva de calibración a partir de una solución madre de 100 ppm de cobre, teniendo los siguientes resultados:

Tabla 20

Datos de los estándares de cobre para la elaboración de la curva de calibración

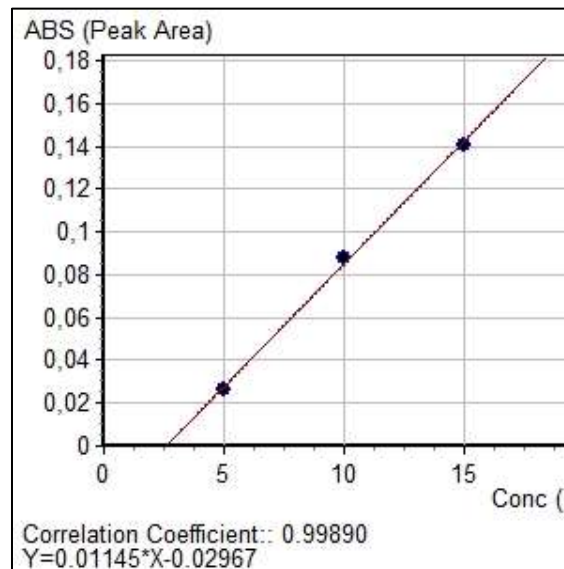
Estándar	Concentración (ppm)	Absorbancia
1		0.0985
2	5	0.0260
3	10	0.0880
4	15	0.1405

Nota. Elaborado por las Autoras

La curva de calibración tuvo un coeficiente de correlación de 0.998, evidenciando una tendencia lineal para una mejor lectura de las concentraciones de cada estación.

Figura 23

Curva de calibración estándar de Cobre



Nota. Elaborado por las Autoras

Tabla 21

Resultados de la concentración de cobre (ppb) en las muestras de Diente de León de cada estación de monitoreo.

ESTACION	R1	R2	R3	PROMEDIO
Belisario	316,86	168,38	103,38	196,202
Carapungo	226,95	102,04	97,30	142,095
Centro	98,20	111,41	97,75	102,452
El Camal	78,11	14,86	12,31	35,094
Guamaní	81,86	147,57	63,46	97,631
Tumbaco	76,32	208,64	95,52	126,827

Nota. Valores en ppb Cobre de cada estación con su respectiva repetición. Elaborado por:

Autoras

4.3.2.1 Análisis estadístico Cobre

Figura 24

Análisis estadístico -ANOVA- Cobre

Cu					
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	18689,17	5	3737,83	0,22	0,9455
TRAT	18689,17	5	3737,83	0,22	0,9455
Error	201001,45	12	16750,12		
Total	219690,62	17			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=354,94668			
Error: 16750,1209 gl: 12			
TRAT	Medias	n	E.E.
1	694,97	3	74,72 A
2	662,16	3	74,72 A
3	628,71	3	74,72 A
4	623,96	3	74,72 A
6	618,61	3	74,72 A
5	596,25	3	74,72 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Nota. Pruebe de Tukey de Cobre. Elaborado por: Autoras

De acuerdo con el análisis estadístico de varianza se demuestra que todos los datos de las estaciones de monitoreo son iguales, sin embargo, el análisis de Tukey demuestra que la estación con más nivel de concentración de Cobre es la estación de Belisario con una media de 694.97 ppb

4.3.3 Determinación de Plomo

Se elaboró una curva de calibración a partir de una solución madre de 100 ppm de cobre, teniendo los siguientes resultados:

Tabla 22

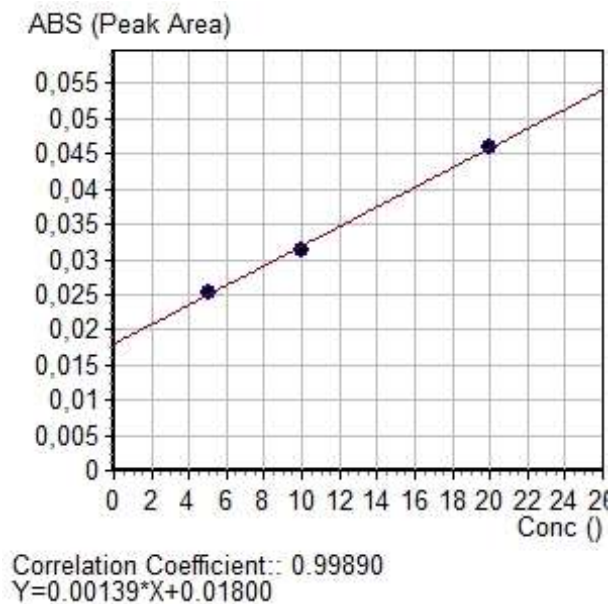
Datos de los estándares de plomo para la elaboración de la curva de calibración

Estándar	Concentración (ppm)	Absorbancia
1		0.0985
2	5	0.0260
3	10	0.0880
4	15	0.1405

La curva de calibración tuvo un coeficiente de correlación de 0.998, evidenciando una tendencia lineal para una mejor lectura de las concentraciones de cada estación.

Figura 25

Curva de calibración estándar de Plomo



Nota. Elaborado por las Autoras

Tabla 23

Resultados de la concentración de plomo (ppb) en las muestras de Diente de León de cada estación de monitoreo.

ESTACION	R1	R2	R3	PROMEDIO
Belisario	316,86	168,38	103,38	196,202
Carapungo	226,95	102,04	97,30	142,095
Centro	98,20	111,41	97,75	102,452
El Camal	78,11	14,86	12,31	35,094
Guamaní	81,86	147,57	63,46	97,631
Tumbaco	76,32	208,64	95,52	126,827

Nota. Valores en ppb Cobre de cada estación con su respectiva repetición. Elaborado por:

Autoras.

4.3.3.1 Análisis estadístico Plomo

Figura 26

Análisis estadístico -ANOVA- Plomo

Pb					
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	7240,41	5	1448,08	3,53	0,0341
TRAT	7240,41	5	1448,08	3,53	0,0341
Error	4924,55	12	410,38		
Total	12164,96	17			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=55,55801					
Error: 410,3790 gl: 12					
TRAT	Medias	n	E.E.		
1	72,07	3	11,70	A	
2	25,48	3	11,70	A	B
4	18,76	3	11,70	A	B
5	18,15	3	11,70	A	B
3	16,13	3	11,70	B	
6	16,09	3	11,70	B	

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Nota. Pruebede Tukey de Plomo. Elaborado por:Autoras

De acuerdo con el análisis estadístico de varianza se demuestra que todos los datos de las estaciones de monitoreo son iguales, sin embargo, el análisis de Tukey demuestra que la estación con más nivel de concentración de Cobre es la estación de Belisario con una media de 694.97 ppb. Los datos obtenidos referente a los niveles de contaminación atmosférica en el DMQ, el material particulado 2.5μ en el punto de monitoreo El Camal incumple con la NECA y los estándares internacionales de la OMS como lo establece también (Vinueza C, 2005), en su trabajo, que atribuye que presenta un área poblacional más densa.

Recientemente se ha publicado un artículo científico sobre el cambio de la contaminación atmosférica durante el COVID-19 en España, en donde se asocia que la radiación UV producida en horas de sol más altas está ligada con que haya mayor contaminación por Ozono y que este

aumentó durante el confinamiento del año 2020, así como lo evidencian los resultados en la ciudad de Quito durante el año 2020. De la misma manera la disminución de Dióxido de nitrógeno se atribuye a que este contaminante se produce a partir de la oxidación de NO por O₃ y radicales peróxidos y durante el confinamiento se redujeron las fuentes de emisión de los procesos de combustión, vehículos, calderas industriales, centrales eléctricas (Briz-Redón et al., 2021)

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Se llegó a determinar que la estación El Camal reporta un mayor valor para los 3 años en PM_{2,5}, superando los límites promedios anuales, teniendo un comportamiento diferente a las estaciones de Belisario, Carapungo y Centro que se encuentran en un nivel de contaminación medio, por otro lado Tumbaco es la estación que tiene los niveles más bajos de contaminación. Entendiéndose que el material particulado a pesar de que las actividades industriales redujeron esta contaminante permanencia en el ambiente.

Se determinó que el NDVI de cada estación de monitoreo ha disminuido durante estos 3 periodos de tiempo, en el cual las estaciones de Carapungo y El Camal tienen un cambio descendente significativo en relación con las demás estaciones de monitoreo categorizadas sus valores de NDVI permiten categorizarlas en “PLANTAS ENFERMAS” además cuentan con un porcentaje de disminución de 10.96% y 34.90% respectivamente.

Este análisis nos permite inferir que existe una estrecha dependencia entre el nivel de contaminación atmosférica y la salud del entorno vegetal, expresada (NDVI), el incremento en la concentración de contaminantes da como resultado la disminución del NDVI el cual señala un impacto negativo significativo en la cobertura vegetal y la calidad del ecosistema.

5.2 Recomendaciones

Es importante realizar estudios que determinen las relaciones que se puede dar entorno a la calidad del aire y la vegetación en las ciudades, ya que con ello se contribuye a realizar estrategias de reforestación con especies tolerantes y con capacidad de absorción para dichos contaminantes, con el fin de reducir las muertes por contaminación.

En cuanto al material particulado es recomendable que la entidad reguladora (Secretaría de Ambiente) establezca de manera pública los focos que se encuentran en estado de emergencia, lo que ayudaría a la elaboración de más investigaciones, garantizando que la sociedad entienda al peligro al que se exponen.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Aguayo, P. M. (2013). *Apuntes de Teledetección: Índices de vegetación*.
- Briz-Redón, Á., Belenguer-Sapiña, C., & Serrano-Aroca, Á. (2021). Changes in air pollution during COVID-19 lockdown in Spain: A multi-city study. *Journal of Environmental Sciences (China)*, 101, 16-26. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2020.07.029>
- De, C., En, I., Ambiente, M., Castro, R., Cristhian, J., Daza, I., Oscar, G., & Mg, R. (s. f.). *UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES. DIENTE DE LEÓN (Taraxacum officinale) COMO FITORREMIADOR DE SUELOS CONTAMINADOS CON METALES PESADOS - PDF Free Download*. (s. f.). Recuperado 17 de septiembre de 2023, de <https://docplayer.es/153560078-Diente-de-leon-taraxacum-officinale-como-fitorremediador-de-suelos-contaminados-con-metales-pesados.html>
- Directrices mundiales de la OMS sobre la calidad del aire Resumen ejecutivo*. (s. f.).
- Hernández-Baranda, Y., Rodríguez-Hernández, P., & Cartaya-Rubio, O. (2019). Toxicidad del Cadmio en las plantas y estrategias para disminuir sus efectos. Estudio de caso: El tomate Yanitza Meriño-Hernández 4. En *Cultivos Tropicales* (Vol. 40, Número 3). <http://ediciones.inca.edu.cu>
- La OMS publica estimaciones nacionales sobre la exposición a la contaminación del aire y sus repercusiones para la salud*. (s. f.). Recuperado 6 de agosto de 2023, de <https://www.who.int/es/news/item/27-09-2016-who-releases-country-estimates-on-air-pollution-exposure-and-health-impact>

Nueve de cada diez personas de todo el mundo respiran aire contaminado Sin embargo, cada vez hay más países que toman medidas. (s. f.). Recuperado 6 de agosto de 2023, de <https://www.who.int/es/news/item/02-05-2018-9-out-of-10-people-worldwide-breathe-polluted-air-but-more-countries-are-taking-action>

OPS/OMS | OMS estima que 7 millones de muertes ocurren cada año debido a la contaminación atmosférica. (s. f.). Recuperado 6 de agosto de 2023, de https://www3.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=9406:2014-7-million-deaths-annually-linked-air-pollution&Itemid=0&lang=es#gsc.tab=0

para Sustancias Tóxicas el Registro de Enfermedades, A. (s. f.). *ATSDR - Resumen de Salud Pública: Cobre.* www.atsdr.cdc.gov/es

Planificación Territorial, G. Y. (2005). *PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR FACULTAD DE CIENCIAS HUMANAS ESCUELA DE CIENCIAS GEOGRÁFICAS INGENIERIA GEOGRÁFICA Y PLANIFICACIÓN TERRITORIAL DISERTACIÓN PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGIENERO.*

Walter Rosselli, Mattia Rossi and Ivan Sasu, Cd, Cu and Zn contents in the leaves of Taraxacum officinale, . Snow Landsc. Res. [80], No. 3 361–366 (2006)

Resumen de Salud Pública: Cadmio (Cadmium) | PHS | ATSDR. (s. f.). Recuperado 6 de agosto de 2023, de https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs5.html

7. ANEXOS

Anexo 1

Puntos de monitoreo atmosférico analizados



Elaborado por: Cabezas, P.; Tufiño, D., 2023

Anexo 2

Recolección de muestras



Elaborado por: Cabezas, P.; Tufiño, D., 2023

Anexo 3

Diente de león



Elaborado por: Cabezas, P.; Tufiño, D., 2023

Anexo 4

Limpieza de muestras



Elaborado por: Cabezas, P.; Tufiño, D., 2023

Anexo 5

Colocación de muestras en la estufa para secar



Elaborado por: Cabezas, P.; Tufiño, D., 2023

Anexo 6

Muestras secas



Elaborado por: Cabezas, P.; Tufiño, D., 2023

Anexo 7

Muestras trituradas y tamizadas



Elaborado por: Cabezas, P.; Tufiño, D., 2023

Anexo 8

Peso de las muestras



Elaborado por: Cabezas, P.; Tufiño, D., 2023

Anexo 9

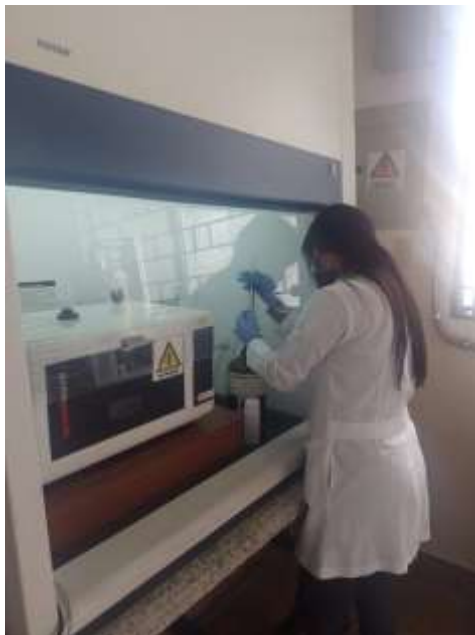
Limpieza del digestor



Elaborado por: Cabezas, P.; Tufiño, D., 2023

Anexo 10

Extracción de muestras



Elaborado por: Cabezas, P.; Tufiño, D., 2023

Anexo 11

Soluciones estándar para curva de calibración



Elaborado por: Cabezas, P.; Tufiño, D., 2023

Anexo 12

Muestras aforadas a 25ml



Elaborado por: Cabezas, P.; Tufiño, D., 2023

Anexo 13

Equipo espectrofotómetro de absorción atómica mediante Horno de grafito



Elaborado por: Cabezas, P.; Tufiño, D., 2023

Anexo 14

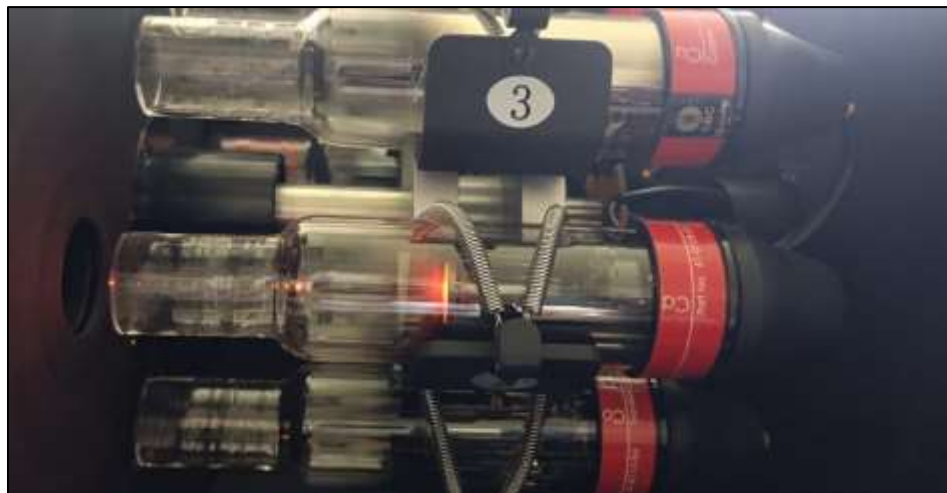
Automuestreador



Elaborado por: Cabezas, P.; Tufiño, D., 2023

Anexo 15

Lamparas espectrales



Elaborado por: Cabezas, P.; Tufiño, D., 2023

Anexo 16

Inyeccion de la muestra para el analisis



Elaborado por: Cabezas, P.; Tufiño, D., 2023