

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

**SEDE QUITO**

**CARRERA:**

**INGENIERÍA AMBIENTAL**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:**

**INGENIERAS AMBIENTALES**

**TEMA:**

**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE MEDIANTE EL USO DEL LIQUEN  
*PARMOTREMA AUSTROSINENSE (Zahlbr.hale)* COMO BIOINDICADOR EN 6  
LOCALIDADES DEL DMQ, CON DIFERENTES NIVELES DE TRÁNSITO  
VEHICULAR E INDUSTRIAS.**

**AUTORAS:**

**DAYANNA ARACELLY JÁCOME PERALTA**

**ESPERANZA DEL ROCÍO ZAPATA GRANDA**

**TUTOR:**

**EDWIN FABIÁN BERSOSA VACA**

**Quito, marzo del 2022**

## CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotras, Dayanna Aracelly Jácome Peralta, con documento de identificación N° 1727645234 y Esperanza del Rocío Zapata Granda, con documento de identificación N.º 0105731129, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autoras del trabajo de titulación intitulado: *EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE MEDIANTE EL USO DEL LIQUEN PARMOTREMA AUSTROSINENSE (Zahlbr.hale) COMO BIOINDICADOR EN 6 LOCALIDADES DEL DMQ, CON DIFERENTES NIVELES DE TRÁNSITO VEHICULAR E INDUSTRIAS*, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: *INGENIERAS AMBIENTALES*, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autoras nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



Dayanna Aracelly Jácome Peralta

C.I. 1727645234



Esperanza del Rocío Zapata Granda

C.I. 0105731129

Quito, marzo del 2022

## DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo experimental, EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE MEDIANTE EL USO DEL LIQUEN *PARMOTREMA AUSTROSINENSE (Zahlbr.hale)* COMO BIOINDICADOR EN 6 LOCALIDADES DEL DMQ, CON DIFERENTES NIVELES DE TRÁNSITO VEHICULAR E INDUSTRIAS, realizado por Dayanna Aracelly Jácome Peralta y Esperanza del Rocío Zapata Granda, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerado como trabajo final de titulación.

Quito, marzo del 2022



Edwin Fabián Bersosa Vaca

C.I. 1709204141

## **DEDICATORIA**

Al pequeño Noah, por alegrar mis días con sus ocurrencias y travesuras, pero sobre todo por esa vivacidad, inteligencia y ganas de comerse el mundo que veo en él, que este trabajo te sirva como un aliciente para fomentar tu curiosidad y despertar en ti amor por la ciencia y la investigación, te quiero infinitamente, gracias por regalarme el privilegio de ser tu tía

*Esperanza del Rocío Zapata Granda.*

A mis padres Wilson y Mayra por siempre ser mi apoyo incondicional y guía en toda mi vida, por ser mi gran ejemplo y motor para seguir cumpliendo mis sueños, este logro es especialmente para ellos por enseñarme a nunca darme por vencida y siempre salir adelante.

A mis queridos hermanos Alexis, Nallely y Fabricio por siempre estar a mi lado escuchándome y alentándome a seguir cumpliendo mis objetivos, son mi motivo para seguir creciendo como ser humano y como profesional.

A Esteban por siempre creer en mí y acompañarme en esta etapa gracias por todo su apoyo incondicional, por estar a mi lado en los buenos y malos momentos de esta trayectoria universitaria.

A toda mi familia por siempre estar al pendiente ayudándome y aconsejándome con toda su sabiduría y experiencia.

*Dayanna Aracelly Jácome Peralta.*

## **AGRADECIMIENTO**

Para muchos estudiar una carrera universitaria basta tan solo con decidir hacerlo, para otros tantos y me incluyo poder estudiar representa un sueño, un anhelo, algo que nos queda difícil de cumplir, es por eso que me embarga de alegría y satisfacción saber que para mí este sueño si se hizo realidad y agradezco a Dios por eso, por traerme hasta aquí, por permitirme culminar con éxito esta etapa de mi vida y por poner en mi camino tantas personas buenas que contribuyeron de una u otra forma a que yo me formara como profesional, para nombrarlos a todos me faltaría espacio, sin embargo deben saber que los llevo en mi corazón y que para ustedes mi agradecimiento es eterno.

Hago extensivo además un sincero agradecimiento a mi compañera de tesis Dayanna, a mi tutor Dr. Edwin Fabián Bersosa Vaca por toda su paciencia, guía y apoyo para sacar adelante este proyecto.

A los Ingenieros Carlos Andrés Vélez Inga, Víctor John Rueda Punina y Renato Gabriel Sánchez Proaño, por toda la ayuda y orientación durante la etapa de laboratorio.

***Esperanza del Rocío Zapata Granda***

Un agradecimiento a todos mis profesores de la facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Politécnica Salesiana por brindarme todos sus conocimientos y paso a paso ayudarme a cumplir esta gran meta.

Un agradecimiento a mi tutor Dr. Edwin Fabián Bersosa Vaca por toda su colaboración para la elaboración de este trabajo de titulación.

Un agradecimiento a los Ingenieros Carlos Andrés Vélez Inga, Víctor John Rueda Punina y Renato Gabriel Sánchez Proaño, por toda su guía y enseñanzas en la etapa práctica de esta tesis.

Un agradecimiento especial a Esperanza por ser mi compañera en este camino, porque estamos creciendo juntas en el ámbito académico gracias por brindarme su amistad y por ser mi compañera para conseguir juntas este gran logro.

*Dayanna Aracelly Jácome Peralta*

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>RESUMEN</b> .....	xvi
<b>ABSTRACT</b> .....	xvii
<b>1 INTRODUCCIÓN</b> .....	1
1.1 Problema.....	1
1.2 Delimitación.....	3
1.3 Pregunta de investigación.....	19
1.4 Objetivos.....	19
1.4.1 Objetivo General.....	19
1.4.2 Objetivos Específicos.....	19
1.5 Hipótesis.....	19
1.5.1 Hipótesis de investigación (H1).....	19
1.5.2 Hipótesis nula (Ho).....	19
<b>2 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA</b> .....	20
2.1 La atmosfera.....	20
2.1.1 Estructura de la atmosfera.....	20
2.1.2 Inversiones térmicas.....	21
2.2 Contaminación atmosférica.....	21
2.2.1 Fuentes de la contaminación del aire.....	21
2.2.2 Clasificación de contaminantes atmosféricos.....	22
2.2.3 Principales contaminantes atmosféricos.....	22
2.2.4 Metales pesados.....	24

2.2.5	Importancia del análisis de metales pesados.....	26
2.2.6	Contaminación por metales pesados.....	26
2.2.7	Efectos de los metales pesados en el medio ambiente y los seres humanos.....	27
2.2.8	Situación de la contaminación atmosférica por metales pesados en la ciudad de Quito.	27
2.3	Bioindicadores.....	30
2.3.1	Tipos de bioindicadores .....	31
2.3.2	Ventajas de los bioindicadores con respecto a los indicadores Físico-Químicos.	33
2.3.3	Requisitos que deben cumplir los bioindicadores.....	33
2.4	Líquenes .....	33
2.4.1	Componentes de la simbiosis liquénica .....	34
2.4.2	Formas de crecimiento .....	35
2.4.3	Ecología de los líquenes.....	36
2.4.4	Los líquenes como bioindicadores.....	37
2.4.5	Los líquenes en el Ecuador. ....	38
2.4.6	Estudios de casos de líquenes como bioindicadores en el Ecuador.....	43
3	<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	45
3.1	Diseño.....	45
3.1.1	Diseño experimental. ....	45
3.1.2	Diseño estadístico .....	46
3.2	Población y muestra .....	46



3.3	Variables.....	46
3.4	Recogida de datos.....	46
3.4.1	Materiales.....	46
3.5	Protocolos.....	48
3.5.1	Zona de estudio .....	48
3.5.2	Delimitación de los puntos de muestreo .....	48
3.5.3	Nivel de tráfico vehicular y presencia de industrias en las diferentes localidades.	49
3.5.4	Fase de campo.....	49
3.5.5	Fase de laboratorio.....	50
3.5.6	Fase de oficina .....	51
4	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	53
4.1	Cuantificación de metales pesados.....	53
4.1.1	Análisis de varianza - TUKEY HSD/KRAMER.....	56
4.2	Cuantificación de pigmentos.....	62
4.2.1	Análisis de varianza - TUKEY HSD/KRAMER.....	65
4.3	Cuantificación de metales pesados en el líquen <i>P. Austrosinense</i> .....	73
4.4	Cuantificación de pigmentos en el líquen <i>P. Austrosinense</i> . .....	77
4.5	Análisis de cuantificación de metales pesados entre localidades.....	80
4.6	Análisis de cuantificación de pigmentos entre localidades.....	81
4.7	Nivel de contaminación por metales pesados en las localidades. ....	82
4.8	Evaluación del tráfico vehicular e industrias en las localidades. ....	86

4.9	Análisis de factibilidad económica del uso del líquen <i>Parmotrema austrosinense</i> ( <i>Zahlbr.hale</i> ), como bioindicador de la contaminación atmosférica. ....	87
5	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	88
5.1	Conclusiones .....	88
5.2	Recomendaciones.....	88
6	<b>REFERENCIAS</b> .....	90
7	<b>ANEXOS</b> .....	95

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>José María Urbina y Lino María Flor S14-70</i> .....	6
Figura 2 <i>Calle Marquesa de Solanda conjunto habitacional “6 de junio” casa 10 manzana 15</i> .....	6
Figura 3 <i>Calle Abdón Calderón S8267 y Juan Montalvo</i> .....	7
Figura 4 <i>Calle E2F y Camino al Conde</i> .....	8
Figura 5 <i>Calle la Cocha y Pasaje S45A Conjunto Habitacional “Los Girasoles del Sur N2”</i> .8	
Figura 6 <i>Calle Pedro Vicente Maldonado y Cocha E1-50</i> .....	9
Figura 7 <i>Calle Bellavista del Sur y calle “U”</i> .....	10
Figura 8 <i>Calle S54A Lote 3150 E8 / Caupicho 222</i> .....	10
Figura 9 <i>Calle Leónidas Duples y Q mz 98 Bellavista del Sur</i> .....	11
Figura 10 <i>Parque San Juan de Calderón Pio XII y E9-219</i> .....	12
Figura 11 <i>Carlos Mantilla 2 y SN PRIO.PRIMARIO P</i> .....	12
Figura 12 <i>Calle Caran y 9 de Agosto</i> .....	13
Figura 13 <i>La Prensa y Vaca de Castro N58-215</i> .....	14
Figura 14 <i>El Antiguo Aeropuerto Av. La Prensa Oe4</i> .....	14
Figura 15 <i>Parque Ingles Machala y Dr. José Fernández Salvador</i> .....	15
Figura 16 <i>Parque Central de Lloa Manuel Antonio Sotomayor y Pichincha</i> .....	16
Figura 17 <i>Mercado Lloa 8 de Septiembre y Antonio Piedra</i> .....	17
Figura 18 <i>Mirador el Cinto Vía a Lloa</i> .....	17
Figura 19 <i>Mapa de Punto de Muestreo para la Calidad del Aire en el DMQ</i> . .....	18

Figura 20 <i>Parmotrema austrosinense</i> .....	39
Figura 21 <i>Phyllopeltula steppae kalb</i> .....	39
Figura 22 <i>Reimnitzia santensis</i> .....	40
Figura 23 <i>Caprina andina</i> .....	41
Figura 24 <i>Reselliniopsis palicei</i> .....	41
Figura 25 <i>Nectria byssophila</i> .....	42
Figura 26 <i>Cosmopora marelliana</i> .....	42
Figura 27 <i>Comparación de Datos de Plomo Obtenidos en las Diferentes Localidades</i> .....	73
Figura 28 <i>Comparación de Datos Obtenidos de Cobre en las Diferentes Localidades</i> .....	75
Figura 29 <i>Comparación de Datos de Cobalto Obtenidos en las Diferentes Localidades</i> .....	76
Figura 30 <i>Comparación de Datos de Clor.a Obtenidos en las Diferentes Localidades</i> .....	77
Figura 31 <i>Comparación de Datos de Clor.b Obtenidos en las Diferentes Localidades</i> .....	78
Figura 32 <i>Comparación de Datos de Clor. Total, Obtenidos en las Diferentes Localidades</i> .	79
Figura 33 <i>Comparación de Datos de Carotenoides Obtenidos en las Diferentes Localidades</i> .....	80

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Puntos de Muestreo</i> .....	4
Tabla 2 <i>Concentraciones Máximas Permisibles Plomo, Cobre, Cobalto.</i> .....	29
Tabla 3 <i>Concentración Máxima Permisible Plomo</i> .....	29
Tabla 4 <i>Concentración Máxima Permisible Plomo</i> .....	30
Tabla 5 <i>Materiales para Análisis Químico</i> .....	48
Tabla 6 <i>Clasificación por Colores del nivel de Contaminación</i> .....	52
Tabla 7 <i>Concentración de Metales Pesados en el Liquen P. Austrosinense, Trasplantado en Seis Localidades del DMQ con Diferentes Niveles de Tráfico Vehicular e Industrias.</i> .....	54
Tabla 8 <i>Análisis de varianza del Contenido de Plomo en Líquenes</i> .....	56
Tabla 9 <i>Prueba de TUKEY HSD/KRAMER sobre Contenido de Pb, en Líquenes</i> .....	57
Tabla 10 <i>Análisis de varianza del Contenido de Cobre en Líquenes.</i> .....	58
Tabla 11 <i>Prueba de TUKEY HSD/KRAMER sobre Contenido de Cu, en Líquenes</i> .....	59
Tabla 12 <i>Análisis de varianza del Contenido de Cobalto en Líquenes</i> .....	60
Tabla 13 <i>Prueba de TUKEY HSD/KRAMER sobre Contenido de Co, en Líquenes</i> .....	61
Tabla 14 <i>Concentración de clorofilas y carotenoides en el liquen P. Austrosinense, trasplantado en seis localidades del DMQ con diferentes niveles de tráfico vehicular e industrias.</i> .....	63
Tabla 15 <i>Análisis de varianza del Contenido de Clor. a en Líquenes</i> .....	65
Tabla 16 <i>Prueba de TUKEY HSD/KRAMER sobre Contenido de Clor.a en Líquenes</i> .....	66
Tabla 17 <i>Análisis de varianza del contenido de Clor.b en líquenes</i> .....	67
Tabla 18 <i>Prueba de TUKEY HSD/KRAMER sobre Contenido de Clor.b, en Líquenes</i> .....	68

Tabla 19 <i>Análisis de varianza del Contenido de Clor. Total, en Líquenes</i> .....	69
Tabla 20 <i>Prueba de TUKEY HSD/KRAMER sobre Contenido de Clor. Total, en Líquenes</i> ..	70
Tabla 21 <i>Análisis de varianza del Contenido de Carotenoides en Líquenes</i> .....	71
Tabla 22 <i>Prueba de TUKEY HSD/KRAMER sobre contenido de Carotenoides en líquenes</i> ..	72
Tabla 23 <i>Nivel de Contaminación por Plomo de Acuerdo a la Concentración del Mismo en las Diferentes Localidades</i> .....	82
Tabla 24 <i>Nivel de Contaminación por Cobre de Acuerdo a la Concentración del Mismo en las Diferentes Localidades</i> .....	84
Tabla 25 <i>Nivel de Contaminación por Cobalto de Acuerdo a la Concentración del Mismo en las Diferentes Localidades</i> .....	85
Tabla 26 <i>Contabilización del Tráfico Vehicular e Industrias de las Diferentes Localidades</i> ..	86

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Mapa de concentración de plomo.....	95
Anexo 2. Mapa de Concentración de cobre .....	96
Anexo 3. Mapa de concentración de cobalto .....	97
Anexo 4. Registro fotográfico.....	98
Anexo 5. Ficha para la recolección de datos en las diferentes localidades.....	108
Anexo 6. Resultados prueba estadística ANOVA. ....	109

## RESUMEN

En la presente investigación se evaluó la calidad del aire mediante el uso del líquen *Parmotrema Austrosinense* (*Zahlbr.hale*) como bioindicador en localidades del DMQ, para lo cual se trasplantaron muestras líquénicas a cada una de las zonas de interés que estuvieron expuestas a diferentes niveles de contaminación por un periodo de seis meses luego del cual fueron retiradas y llevadas al laboratorio para el análisis correspondiente el mismo que incluyó cuantificación de pigmentos clorofila A (Clor.a), clorofila B (Clor.b), clorofila Total (Clor. Total), y carotenoides por espectrofotometría de luz visible y cuantificación de metales pesados Plomo (Pb), Cobre (Cu) y Cobalto (Co) por espectrofotometría de absorción atómica (horno grafito) se analizó un total de 21 muestras realizándose tres repeticiones de cada variable. El metal que se encontró en mayor concentración fue el Pb, obteniendo su valor más alto en la localidad de Turubamba (Caupicho) en el punto (TC3) con un valor de 32.67mg/kg y la más baja concentración se obtuvo en Conocoto (C1) y Lloa (L1) que registraron un valor similar de 7.31 y 7.33 mg/kg. El Co en cambio registro su valor más alto en Lloa (L2) con 1.34 mg/kg y el más bajo en Turubamba (La gran Bretaña) en el punto (TLB2) con 0.69 mg/kg, el Cu por otra parte presento el valor más alto de 3.33 mg/kg en la Concepción en el punto (CO3), y el más bajo de 1.15 en Lloa (L2). El contenido de clorofilas y carotenoides en todas las localidades fue distinto e inferior al punto de control. Obteniéndose como resultado un nivel de contaminación peligrosa en la localidad de Caupicho para el metal Pb, Lloa para el metal Co, La Concepción para el metal Cu, y señalando a Caupicho como la localidad con una calidad del aire más deficiente según el análisis comparativo de los tres metales analizados y el contenido de clorofilas y carotenoides.

**Palabras clave:** *P. Austrosinense*, bioindicador, carotenoides, cuantificación, clorofilas, espectrofotometría, Plomo, Cobre, Cobalto.



## ABSTRACT

In the present investigation, air quality was evaluated by using lichen *Parmotrema Austrosinense* (*Zahlbr.hale*) as a bioindicator in six locations of the DMQ, for which lichen samples were transplanted to each of the areas of interest that were exposed to different levels of contamination by a period of six months after which they were removed and taken to the laboratory for the corresponding analysis, which included quantification of pigments Chlorophyll A (Chlor.a), Chlorophyll B (Chlor.b), Total Chlorophyll (Chlor. Total), and carotenoids by visible light spectrophotometry and quantification of heavy metals Lead (Pb), Copper (Cu) and Cobalt (Co) by atomic absorption spectrophotometry (graphite furnace), a total of 21 samples were analyzed, performing three repetitions of each variable. The metal that was found in the highest concentration was Pb, obtaining its highest value in the town of Turubamba (Caupicho) at point (TC3) with a value of 32.67mg / kg and the lowest concentration was obtained in Conocoto (C1) and Lloa (L1) that registered a similar value of 7.31 and 7.33 mg / kg. On the other hand, Co registered its highest value in Lloa (L2) with 1.34 mg / kg and the lowest in Turubamba (Great Britain) at the point (TLB2) with 0.69 mg / kg, Cu on the other hand presented the value highest of 3.33 mg / kg in Concepción at point (CO3), and lowest of 1.15 in Lloa (L2). The content of chlorophylls and carotenoids in all locations was different and lower than the control point. Obtaining as a result a dangerous contamination level in the town of Caupicho for the metal Pb, Lloa for the metal Co, La Concepción for the metal Cu, and pointing to Caupicho as the town with the poorest air quality according to the comparative analysis of the three metals analyzed and the content of chlorophylls and carotenoids

**Keywords:** P. Austrosinense, bioindicator, carotenoids, quantification, chlorophylls, spectrophotometry, Lead, Copper, Cobalt.

# 1 INTRODUCCIÓN

## 1.1 Problema

El Ecuador al ser un país en vías de desarrollo presenta altos índices de contaminación atmosférica (Puentestar, 2015), el acelerado incremento de su población trae consigo diversos factores asociados entre los que podemos contar un mayor consumo de recursos y un elevado desarrollo industrial para transformar los mismos y lograr de esta manera la satisfacción de las crecientes necesidades poblacionales.

Dentro de las ciudades más contaminadas del Ecuador se encuentra Quito, capital de la república que según datos del Censo de Población y Vivienda 2010, cuenta con 1'893.641 habitantes (Rodríguez, 2015), que en su mayoría viven y desarrollan sus actividades en las zonas urbanas, siendo por lo tanto en estas áreas donde se concentran los mayores niveles de contaminación atmosférica y que a su vez repercuten en la calidad de vida de sus habitantes.

Quito, debido a su ubicación geográfica es más susceptible a una mala calidad del aire ya que este contiene menor cantidad de oxígeno debido a que la ciudad está situada a 2800 m de altura sobre el nivel del mar lo que lo que dificulta que la combustión pueda realizarse correctamente, provocando que los equipos que usan combustibles fósiles para su funcionamiento aumenten su consumo y por ende la generación de contaminantes sea mayor, otros parámetros que influyen son también su topografía con marcadas elevaciones y su proximidad a volcanes (Rodríguez, 2015).

La CORPAIRE en forma conjunta con la REMMAQ son las encargadas del control, mitigación e información a la ciudadanía de la calidad del aire en la capital (Noriega et al., 2008), los esfuerzos de estas instituciones se centran en contaminantes como el PST; PM2.5; PM10; SO2; NO2; O3 y BTX, dándose poca importancia a los metales pesados como el Cu, Pb, Co cuya presencia en la atmósfera en niveles altos también representa un peligro para

las personas debido a su capacidad para bioacumularse hasta por treinta años y sus efectos teratógenos y congénitos según lo menciona (Londoño et al., 2016) en su estudio “El riesgo de los metales pesados en la salud humana y animal”.

Se hace necesario por lo tanto la búsqueda de nuevas metodologías que permitan extender el alcance de los monitoreos de la calidad del aire, para que abarquen una mayor cantidad de contaminantes en sus evaluaciones; constituyéndose como una de las alternativas más viables, eficientes y económicas el uso de bioindicadores (Ocampo et al., 2008).

Los bioindicadores como lo señala Jaramillo y Botero (2010) son organismos que reaccionan fácilmente a alteraciones en el ambiente, presentando cambios en su morfología y crecimiento así como también su presencia o la falta de la misma en determinadas zonas indican claramente la existencia de contaminantes, la utilización de líquenes para llevar a cabo este tipo de investigaciones ha sido ampliamente comprobada en ciudades como Valencia, Colombia, Córdova, Catamarca, brindando resultados satisfactorios como lo mencionan distintos autores en sus publicaciones, para el caso de Ecuador se pueden encontrar estudios relacionados con el tema mas no específicamente enfocados en medir metales pesados presentes en la atmósfera utilizando este método.

Los líquenes nos permiten monitorear la calidad del aire de una determinada zona siendo usados como bioindicadores debido a las variaciones que estos sufren en su composición y estructura al estar expuestos a determinadas condiciones ambientales, pero los mismos también pueden usarse como bioacumuladores mediante las diferentes sustancias que se pueden encontrar almacenadas en sus talos (González, 2018).

El presente trabajo experimental se realiza con la finalidad de evaluar la calidad del aire en seis zonas del DMQ mediante el uso de líquenes como bioindicadores, los sitios escogidos presentan diferentes niveles de afluencia vehicular de buses, autos de todos los

tamaños, motos y otros, así como también cuentan con industrias en mayor y en menor medida, que producen gran cantidad de emisiones diarias a la atmósfera cuyo contenido de metales pesados Cu; Pb; Co pueden comprometer la salud y el bienestar de su habitantes.

## **1.2 Delimitación**

La ciudad de Quito, localizada en la cuenca del Río Guayllabamba, ocupa el 44,6% de superficie de la provincia de Pichincha, limita con Imbabura al norte, Cotopaxi al sur, Santo Domingo de los Tsáchilas al oeste y Napo al este, de clima cambiante con temperaturas que pueden alcanzar los 25 grados durante el día y disminuir hasta los 10 grados durante la noche, cuenta con una extensión de 372.4 Km<sup>2</sup> divididos al norte, centro, sur y los valles, con un total de 55 parroquias, 33 rurales y 32 urbanas (Municipio DMQ, 2011), de las cuales se han escogido seis localidades con tres sitios cada una para la realización del presente proyecto investigativo. Ver tabla 1.

**Tabla 1***Puntos de Muestreo*

<b>Parroquia</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Nomenclatura</b>
<b>1. Conocoto</b>	<b>1.1</b> Calle José María Urbina y Lino María Flor S14-70.	C1
	<b>1.2</b> Calle Marquesa de Solanda conjunto habitacional “6 de junio” casa 10 manzana 15.	C2
	<b>1.3</b> Calle Abdón Calderón S8267 y Juan Montalvo.	C3
<b>2. Turubamba</b> (La gran Bretaña)	<b>2.1</b> Calle E2F y camino al conde.	TLB1
	<b>2.2</b> Calle la Cocha y Pasaje S45A conjunto habitacional “Los Girasoles del Sur N2”.	TLB2
	<b>2.3</b> Calle Pedro Vicente Maldonado y Cocha E1-50.	TLB3
<b>3. Turubamba</b> (Caupicho)	<b>3.1</b> Bellavista del Sur y calle “U”.	TC1
	<b>3.2</b> S54A Lote 3150 E8 / Caupicho 222.	TC2
	<b>3.3</b> Calle Leónidas Dubles y Q mz 98 Bellavista del Sur.	TC3
<b>4. Calderón</b>	<b>4.1</b> Parque San Juan de Calderón Pio XII y E9-219.	CL1
	<b>4.2</b> Carlos Mantilla 2 y SN PRIO.PRIMARIO P.	CL2
	<b>4.3</b> Calle Caran y 9 de agosto.	CL3
<b>5. La Concepción</b>	<b>5.1</b> La prensa y Vaca de Castro N58-215.	CO1
	<b>5.2</b> El antiguo Aeropuerto	CO2

<b>Parroquia</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Nomenclatura</b>
<b>6. Lloa</b>	Av. La Prensa Oe4. <b>5.3</b> Parque Ingles Machala y Dr. José Fernández Salvador.	CO3
	<b>6.1</b> Parque Central de Lloa Manuel Antonio Sotomayor y Pichincha.	L1
	<b>6.2</b> Mercado Lloa 8 de septiembre y Antonio Piedra.	L2
	<b>6.3</b> Mirador el Cinto, vía a Lloa.	L3

*Nota.* Elaborado por las Autoras, 2022

Conocoto ubicada a 11 Km al Sur-Este de la capital, conformada en su mayoría por barrios residenciales, con un clima cálido y gran cantidad de pastos, flora y fauna silvestre (GAD Parroquial de Conocoto, 2016). Dentro de esta parroquia el sitio correspondiente a la calle José María Urbina y Lino María Flor S14-70 (C1), pertenece a una zona poco poblada con presencia de espacios verdes como parques y jardines en las viviendas, no hay semáforos ni fábricas en los alrededores, la afluencia vehicular es esporádica y corresponde en su mayoría a los propietarios de las viviendas del sector. Ver figura 1.

## Figura 1

*José María Urbina y Lino María Flor S14-70*



*Nota.* Elaborado por las Autoras, 2022.

La calle Marquesa de Solanda conjunto habitacional "6 de junio" casa 10 manzana 15 (C2), corresponde a un sitio medianamente poblado con varios conjuntos habitacionales, y grandes áreas de espacios verdes, no hay presencia de semáforos ni de fábricas y la cantidad de vehículos que circulan por el lugar es baja. Ver figura 2.

## Figura 2

*Calle Marquesa de Solanda conjunto habitacional "6 de junio" casa 10 manzana 15*



*Nota.* Elaborado por Autoras, 2022

La calle Abdón Calderón S8267 y Juan Montalvo (C3), constituye una avenida principal de la parroquia de Conocoto con presencia de dos semáforos y mediana cantidad de tráfico vehicular sobre todo en las horas pico, no hay presencia de fábricas, pero sí de unos pocos negocios pequeños. Ver figura 3.

### **Figura 3**

*Calle Abdón Calderón S8267 y Juan Montalvo*



*Nota.* Elaborado por las Autoras, 2022.

Turubamba al sur de Quito, área de escasos recursos con altos déficits de servicios básicos, y una inadecuada distribución del espacio público debido a la falta de planificación, presenta además problemas de seguridad, gran afluencia de comercios y tráfico vehicular alto tanto público como privado (Vizueté, 2015). Dos han sido los barrios escogidos dentro de esta parroquia debido a su extensión:

#### **Barrio “La Gran Bretaña”**

Calle E2F y camino al conde (TLB1), corresponde a un sector bastante poblado que cuenta con un semáforo al final de la calle, y bajo tránsito de vehículos, no se evidencia áreas verdes cercanas. Ver figura 4.



## Figura 4

*Calle E2F y Camino al Conde*

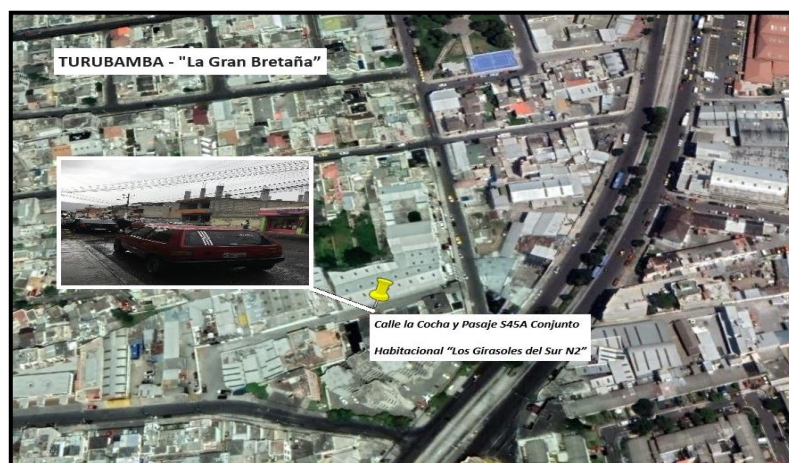


*Nota.* Elaborado por Autoras, 2022.

Calle la Cocha y Pasaje S45A conjunto habitacional “Los Girasoles del Sur N2” (TLB2), lugar densamente poblado, por conjuntos residenciales en su mayoría, con afluencia vehicular media, presencia de un semáforo y dos fábricas cercanas “Café Minerva” y “Plásticos Vikingos”, sin áreas verdes. Ver figura 5.

## Figura 5

*Calle la Cocha y Pasaje S45A Conjunto Habitacional “Los Girasoles del Sur N2”*



*Nota.* Elaborada por Autoras, 2022.

Calle Pedro Vicente Maldonado y Cocha E1-50 (GLB3), constituye un punto cercano a una avenida principal de gran afluencia vehicular que está presente a toda hora a lo largo del día y la noche, y que se vuelve un poco caótico en horario pico, hay variedad de comercios en el sector y fabricas cercanas “Café minerva” y “Plásticos Vikingos”, el espacio verde en esta zona es casi nulo. Ver figura 6.

### **Figura 6**

*Calle Pedro Vicente Maldonado y Cocha E1-50*



*Nota.* Elaborado por las Autoras, 2022.

### **Barrio “Caupicho”**

La calle Bellavista del Sur y calle “U”, es un sitio poco poblado cercano al parque de ciudad jardín, con espacios verdes, no hay fabricas alrededor y la presencia de vehículos es más o menos baja, no hay presencia de fábricas ni semáforos. Ver figura 7.

## Figura 7

Calle Bellavista del Sur y calle "U"



*Nota.* Elaborado por las Autoras, 2022.

Calle S54A Lote 3150 E8 / Caupicho 222, el área es medianamente poblada con afluencia vehicular moderada, hay algunos pequeños espacios verdes, sin fábricas en el sector. Ver figura 8.

## Figura 8

*Calle S54A Lote 3150 E8 / Caupicho 222*



*Nota.* Elaborado por las Autoras, 2022.

Calle Leónidas Dubles y Q mz 98 Bellavista del Sur, es una avenida principal del barrio Caupicho, buses y vehículos de todos los tamaños transitan por el lugar a toda hora,



presenta algunos árboles y una franja de espacio verde a lo largo de la avenida, hay gran cantidad de negocios en el sector y un semáforo al final de la calle. Ver figura 9

### **Figura 9**

*Calle Leónidas Duples y Q mz. 98 Bellavista del Sur*



Nota. Elaborado por las Autoras, 2022.

Calderón situado al Nor-Este de Quito, localidad que cuenta con una alta densidad poblacional, ya que es uno de los polos de desarrollo de la Ciudad Capital; El sitio también es conocido a nivel nacional por la fabricación de Artesanías de Mazapán (Administración Zonal Calderón, 2012).

Parque San Juan de Calderón Pio XII y E9-219, está ubicado en una de las zonas más concurridas del sector ya que esta es la parada principal de los buses que abastecen a todo Calderón y en las noches esta zona atrae a cientos de pobladores por las diferentes ventas que rodean al parque. Ver figura 10.

## Figura 10

*Parque San Juan de Calderón Pio XII y E9-219*



*Nota.* Elaborado por Autoras, 2022.

Carlos Mantilla 2 y SN PRIO.PRIMARIO P. es la avenida principal ya que conecta a los barrios San José de Moran y San Juan de Calderón, a lo largo de la avenida existen varios negocios con diferentes actividades comerciales desde almacenes de ropa hasta grandes gasolineras por ello este es uno de los puntos con mayor movimiento vehicular. Ver figura 11.

## Figura 11

*Carlos Mantilla 2 y SN PRIO.PRIMARIO P.*



*Nota.* Elaborado por las Autoras, 2022.

Calle Caran y 9 de agosto, está ubicada en una zona más residencial con poco flujo vehicular, en este punto existen pocos negocios debido al bajo movimiento que tiene este sector ya que está alejado del centro. Ver Figura 12.

**Figura 12**

*Calle Caran y 9 de Agosto*



*Nota.* Elaborado por las Autoras, 2022.

La Concepción, consolidada en los últimos años como uno de los ejes comerciales del norte de Quito debido a la gran cantidad de negocios que funcionan en la zona y la afluencia masiva de personas que pasan a diario por el lugar (Oquendo, 2016).

La prensa y Vaca de Castro N58-215, es una de las avenidas más concurridas del sector de lunes a domingo existe movimiento vehicular, debido a la cantidad de negocios que rodean la avenida, el flujo vehicular en este punto es constante. Ver figura 13.



### Figura 13

#### *La Prensa y Vaca de Castro N58-215*



*Nota.* Elaborado por las Autoras, 2022.

El antiguo Aeropuerto Av. La Prensa Oe4, este punto es uno de los más transcurridos de la zona debido a la gran afluencia vehicular que posee ya que está ubicado en una de las avenidas principales por donde diario cientos de personas transitan, a los alrededores de este punto encontramos gran variedad de negocios, que lo convierten en uno de los más comerciales del sitio. Ver figura 14.

### Figura 14

#### *El Antiguo Aeropuerto Av. La Prensa Oe4*



*Nota.* Elaborado por las Autoras, 2022.

Parque Ingles Machala y Dr. José Fernández Salvador, el parque inglés es conocido por ser una zona que posee una gran extensión de áreas verdes, es un sitio concurrido para realizar deportes y actividades físicas dentro del parque se pueden de diferentes espacios creados para la recreación, a los alrededores del parque existe gran cantidad de tránsito vehicular. Ver figura 15.

### **Figura 15**

*Parque Ingles Machala y Dr. José Fernández Salvador*



Nota, Elaborado por las Autoras, 2022.

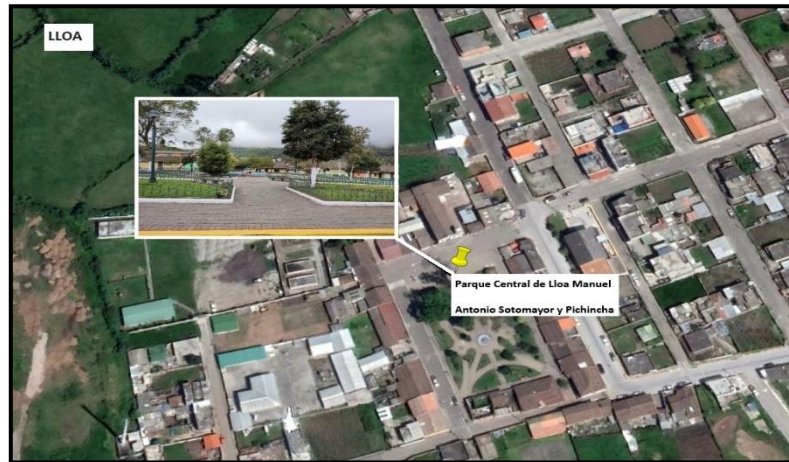
Lloa, parroquia con aire puro, naturaleza, vertientes de agua, que lo convierten en uno de los lugares naturales con mayores atractivos turísticos ubicado a pocos minutos de la ciudad (Pardo, 2017).

Parque Central de Lloa Manuel Antonio Sotomayor y Pichincha, el parque de Lloa está ubicado en el centro del pueblo, como se puede observar en la imagen no existe mucho movimiento de vehículos en este punto debido a que se trata de una pequeña localidad ubicada al sur occidente Quito, la cual es conocida por su producción mayormente enfocada en el sector agrícola y ganadero. Ver figura 16.



## Figura 16

### *Parque Central de Lloa Manuel Antonio Sotomayor y Pichincha*



*Nota.* Elaborado por las Autoras, 2022.

Mercado Lloa 8 de septiembre y Antonio Piedra, el mercado de Lloa es conocido por su gran riqueza y variedad en el sector agrícola y ganadero es por ello que sus productos atraen gran cantidad de compradores los fines de semana, las ventas ambulantes ocupan toda la calle, este mercado está ubicado a la entrada del pueblo, los fines de semana existe gran cantidad de movimiento automovilístico por este sector debido a los diferentes atractivos que posee. Ver figura 17.

## Figura 17

*Mercado Lloa 8 de septiembre y Antonio Piedra*



*Nota.* Elaborado por las Autoras, 2022.

Mirador el Cinto vía a Lloa, a las faldas del Guagua Pichincha este es un punto turístico debido a que desde aquí se puede ver toda la ciudad, el mirador está rodeado de vegetación nativa de la zona, de lunes a viernes existe poco movimiento vehicular, mientras que los fines de semana se vuelve una zona concurrida debido al atractivo de sus paisajes. Ver figura 18.

## Figura 18

*Mirador el Cinto Vía a Lloa*

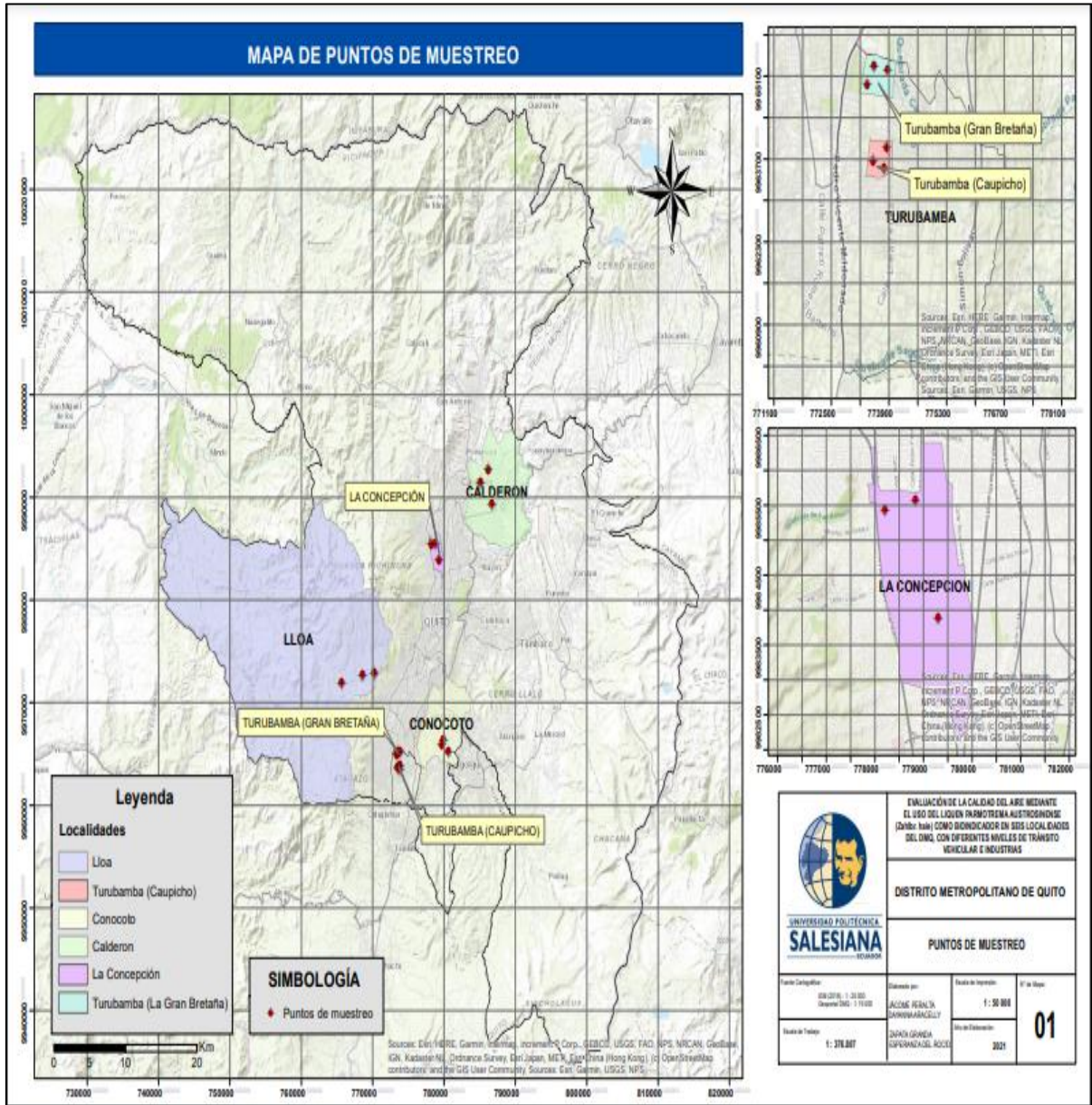


*Nota.* Elaborado por las Autoras, 2022.

En el siguiente gráfico se presenta las localidades antes descritas y que fueron objeto de estudio en esta investigación. Ver figura 19.

**Figura 19**

*Mapa de Punto de Muestreo para la Calidad del Aire en el DMQ.*



*Nota.* Elaborado por las Autoras, 2022.

### **1.3 Pregunta de investigación**

- ¿Qué localidades presentan el mayor grado de contaminación por metales pesados, utilizando los líquenes como bioindicadores?
- ¿Cuál es el metal de mayor concentración presente en las seis localidades del DMQ?

### **1.4 Objetivos**

#### ***1.4.1 Objetivo General***

- Evaluar la calidad del aire mediante el uso del Liquen *Parmotrema austrosinense (Zahlbr.hale)* como bioindicador en seis localidades del DMQ.

#### ***1.4.2 Objetivos Específicos***

- Evaluar la presencia de Cu, Pb y Co en los talos liquénicos trasplantados en las diferentes zonas de estudio.
- Cuantificar sustancias marcadoras de estrés por contaminación en líquenes.
- Determinar el área con mayor nivel de contaminación atmosférica en la investigación realizada.

### **1.5 Hipótesis**

#### ***1.5.1 Hipótesis de investigación (H1)***

Las concentraciones de metales pesados Cu, Pb y Co son iguales en los sitios de muestreo.

#### ***1.5.2 Hipótesis nula (H0)***

Las concentraciones de metales pesados Cu, Pb y Co son diferentes en los sitios de muestreo.

## 2 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

### 2.1 La atmosfera

La atmósfera es la capa más externa del planeta tierra, está conformada por una variedad de gases que se encuentran presentes en la misma en diferentes porcentajes y que son indispensables para la vida, con aproximadamente 10.000 km de espesor (Puerto y Garcia, 1986). En ella se producen la totalidad de los eventos meteorológicos que modifican el clima del planeta y es además la encargada de la distribución de la energía solar y del intercambio de calor (Cueva, s.f.).

#### 2.1.1 Estructura de la atmosfera

La atmósfera está dividida en las siguientes capas:

- **Tropósfera.** - Es la capa con mayor cercanía al planeta tierra, aquí tienen lugar todos los cambios y transformaciones relevantes para los seres vivos, su altura varía de acuerdo a la latitud según lo refiere (Cueva, s.f.) esta puede ir de los “16 Km. en el Ecuador a los 8 Km. en los Polos” y su temperatura en cambio disminuirá según se gane altura.
- **Estratósfera.** - La temperatura en esta capa se incrementa de forma gradual hasta alcanzar su valor más alto en el límite de la misma o también conocido como estratopausa, gracias al ozono presente en esta capa la estratosfera hace las veces de un escudo protector para el planeta tierra ya que impide el paso de los dañinos rayos UV (Puerto y Garcia, 1986).
- **Mesósfera.** - En esta capa se llevan a cabo diversos procesos químicos y energéticos, es además la encargada de la transformación de los meteoros en estrellas cuando estos se encuentran muy cercanos a la misma (Cueva, s.f.).
- **Ionósfera.** - Esta formada por secciones de varias capas de la atmósfera y contiene gran cantidad de iones que permiten captar las ondas de radio y



mandarlas de regreso a la tierra (Puerto y Garcia, 1986).

- **Exósfera.** - Se encuentra limitando la atmósfera terrestre y el espacio, presentando por lo tanto homogeneidad en la composición gaseosa de los mismos (Cueva, s.f.).

### ***2.1.2 Inversiones térmicas***

Las inversiones térmicas atrapan los contaminantes evitando que estos puedan dispersarse adecuadamente este fenómeno ocurre debido a la diferencia de temperaturas entre el nivel de suelo y las capas siguientes así por ejemplo si la capa más baja contiene aire frío y la subsiguiente aire caliente se da la inversión térmica formando un escudo que no permite que el aire circule libremente, provocando una estabilidad del mismo que no admite intercambios de ningún tipo (Secretaria de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial Gobierno del Estado de Jalisco, s.f.).

Cuando el aire de las capas atmosféricas inferiores incrementa su temperatura la inversión térmica termina, volviendo a las condiciones normales de intercambio de flujo (Vizuite, 2015).

Las inversiones térmicas son más comunes y se dan con mayor intensidad durante el invierno, pero también pueden presentarse en el verano en menor medida (Garcia et al., 2012).

## **2.2 Contaminación atmosférica**

La contaminación atmosférica puede entenderse como la presencia de elementos extraños en el aire que difieren de su composición habitual, en concentraciones que pueden resultar perjudiciales para la vida, ocasionar daños materiales y fluctuaciones en el clima (Vallejo et al., 2003).

### ***2.2.1 Fuentes de la contaminación del aire***

Según la Organización Panamericana de la Salud (2000), “Los contaminantes pueden ingresar al aire de forma natural o sintética”, la presencia de contaminantes en el aire es un problema que ha existido desde siempre, la naturaleza como fuente emanadora de vida es generadora de contaminantes diversos, los distintos eventos naturales suscitados en el entorno también aportan contaminantes al aire, sin embargo las concentraciones de estos contaminante no representan un peligro significativo para la vida en sus distintas formas, a diferencia de la contaminación derivada de actividades antropogénicas, dentro de las cuales se puede contar el uso de combustibles provenientes de fósiles, emisiones industriales a la atmósfera, gases contaminantes resultantes de la combustión de los automotores.

## ***2.2.2 Clasificación de contaminantes atmosféricos***

Los contaminantes se clasifican por su origen en:

### **2.2.2.1 Contaminantes primarios (provenientes en forma directa de los focos de emisión).**

Son aquellos que permanecen en el entorno tal y como fueron emanados por la fuente de la cual se originaron, se incluyen aquí: SO<sub>2</sub>, CO, NO, CXHY, PM (Barreiro, 2014).

### **2.2.2.2 Contaminantes secundarios (contaminantes primarios sumados a los componentes de la atmósfera).**

Barreiro (2014), apunta que los contaminantes secundarios se producen debido a una asociación entre los contaminantes primarios y los diversos elementos que componen la atmósfera, en este grupo se pueden incluir a los oxidantes fotoquímicos y radicales de periodos cortos de existencia como el ozono.

## ***2.2.3 Principales contaminantes atmosféricos.***

El aire es contenedor de contaminantes variados de los cuales cinco son los considerados principales debido a que en gran medida son ellos los directos responsables de casi la totalidad de la contaminación atmosférica. Se trata de:

- Monóxido de carbono (CO)
- Óxidos de nitrógeno (NOX)
- Hidrocarburos (CXHY)
- Óxidos de azufre (SOX)
- Partículas (Puerto y Garcia, 1986).

Siendo el material particulado de diferente densidad uno de los contaminantes que mayor preocupación ha generado ya que debido a su pequeño tamaño puede ingresar libremente al tracto respiratorio y ser causante de enfermedades graves (Álvarez y Boso, 2018).

#### **2.2.3.1 Partículas**

Las partículas pueden clasificarse según el orden en primarias y secundarias encontrándose en la atmósfera en proporciones iguales, la primera clasificación que corresponde al orden primario puede tener como fuente de emisión un medio natural o antropogénico y de ser de procedencia muy variada como, por ejemplo:

**a)** El movimiento generado por las olas del mar desprende a la atmósfera gran cantidad de partículas minúsculas que corresponden a la sal común, y diferentes microorganismos en gran proporción.

**b)** Los terrenos desérticos o grandes áreas en estado de erosión son generadores de inmensas cantidades de polvo que ingresa al aire.



c) Los volcanes en estado eruptivo y la quema de los bosques también son fuentes emisoras de material particulado que puede ser transportado a largas distancias y depositado sobre el agua de los océanos o sobre el hielo de los polos.

d) El desarrollo industrial y la quema de combustibles fósiles son también generadores importantes de partículas de diferentes tipos y tamaños (Puerto y Garcia, 1986).

Las partículas de orden secundario en cambio son la consecuencia de diferentes reacciones atmosféricas. Hay factores importantes que deben ser considerados en las partículas como son “la composición química, el tamaño y la concentración” como lo menciona Puerto y Garcia (1986). Una partícula está constituida químicamente de forma variable, según de donde provenga la misma. El tamaño en cambio fluctúa entre grandes rangos, que van de “0,0002 $\mu$  a 5.000 $\mu$ ” (Puerto y Garcia, 1986). El que una partícula sea más grande o más pequeña va a depender en gran medida de la fuente emisora sin embargo también pueden generarse agrupaciones de partículas, fenómeno generalmente dado en partículas de tamaños muy reducidos.

#### **2.2.4 Metales pesados**

“Los metales pesados representan un grupo cercano a los 40 elementos de la tabla periódica y tienen una densidad superior o igual a 5 g/cm<sup>3</sup>” como lo menciona Cañizares (2000). Entre las características que distinguen a los metales pesados se encuentra el hecho de que estos elementos son indispensables para la vida en pequeñas cantidades, pero pueden tornarse tóxicos en concentraciones altas debido a su capacidad de alterar el funcionamiento normal de las células, deformar las proteínas y bioacumularse en los tejidos y órganos de los seres vivos (Remache, 2013).

Diversos factores asociados al incremento poblacional de las sociedades entre los que podemos contar una mayor demanda de la actividad industrial y un aumento del

tráfico vehicular han originado un incremento en los niveles de metales pesados presentes en la atmósfera ( Herrera y Rodríguez, 2010), dentro de los cuales y como objeto de esta investigación se procederá analizar los siguientes:

#### **2.2.4.1 Plomo (Pb)**

Elemento metálico que se encuentra en la naturaleza en grandes cantidades debido a que es emitido por fenómenos naturales como las erupciones volcánicas, pero que también se puede derivar de actividades humanas como la industria ya que participa en la composición de “soldaduras, pinturas, acumuladores, pilas secas y cerámica” según lo indica Vallejo et al. (2003). Forma parte también de compuestos utilizados en la prevención de insectos en los cultivos y para prevenir brotes parasitarios en animales. “El tetra- etilo de plomo es un compuesto que desde 1923 se adicionó a las gasolinas como agente antidetonante” como lo refiere (Vallejo et al., 2003).

En el aire el plomo se encuentra mayoritariamente en forma de partículas finas que pueden ingresar al tracto respiratorio mediante la respiración. Vallejo et al. (2003), establece también que “un adulto sano puede retener en los pulmones del 10 al 80% y que de ellas un 50% pasa a la circulación” la proporción de plomo que es absorbida por el estómago y los intestinos durante la ingesta variara de acuerdo a la edad de la persona y se acumulara en distintos órganos del cuerpo humano.

#### **2.2.4.2 Cobre (Cu)**

Metal cuyo uso ha sido ampliamente difundido gracias a sus “propiedades físicas, químicas y mecánicas” como lo indica Acurio (2014). Esta distribuido en la naturaleza en gran medida y fue el precursor de los metales utilizados por la humanidad

Su ingreso al medio se da de forma natural y es uno de los metales considerados necesarios para el correcto desempeño del cuerpo humano siempre que sea en concentraciones reducidas (Vega y Velez, 2011). En la actualidad sin embargo los niveles

de este metal en el aire se han multiplicado echo derivado de la utilización del mismo en actividades de agricultura y diferentes industrias (Acurio, 2014).

“El cobre es liberado a la atmósfera durante la combustión y permanecerá en el aire durante un tiempo considerable antes de depositarse cuando empieza a llover” según lo referido por Acurio ( 2014).

#### **2.2.4.3 Cobalto (Co)**

Es otro de los elementos que se encuentra distribuido naturalmente en grandes proporciones, forma parte de seres bióticos y abióticos (Toro, 2013) entre sus características más destacadas esta su alto grado de magnetización, el cobalto y sus derivados ofrecen gran resistencia, ya que no sufren deformación alguna a temperaturas elevadas (Gamiño et al., 2019).

Comercialmente este metal tiene diferentes usos que incluyen aleaciones de todo tipo, coloración de materiales vitreos y se encuentra incorporado además a un sinnúmero de artículos de uso cotidiano como son los equipos celulares, vehículos, maquillajes, etc. (Gamiño et al., 2019).

#### ***2.2.5 Importancia del análisis de metales pesados***

Estudiar los metales pesados se torna relevante debido a la facilidad con que son absorbidos por los tejidos de los seres vivos, guardando una estrecha relación entre su nivel de peligrosidad y el grado de rapidez con que se absorben, se suman además la incapacidad de biodegradación de estos elementos y los problemas de salud derivados de la acumulación de los mismos (Remache, 2013).

#### ***2.2.6 Contaminación por metales pesados.***

Los metales pesados constituyen una peligrosa forma de contaminación que en la actualidad va en aumento, la permanencia de estos elementos en la atmósfera por periodos prolongados de tiempo genera preocupación debido al alto grado de toxicidad que estos

representan para las diversas formas de vida existente en la naturaleza dentro de las cuales se incluyen a los seres humanos a los cuales pueden ingresar mediante el suelo, el agua o el aire (Remache, 2013).

### ***2.2.7 Efectos de los metales pesados en el medio ambiente y los seres humanos.***

Los efectos de los metales pesados en los humanos están estrechamente ligados a problemas de salud entre los que según Remache (2013), podemos contar deficiencias en el crecimiento, fallas en el riñón, diferentes tipos de cáncer, problemas respiratorios, pudiendo llegar incluso a la muerte, dependiendo del nivel de concentración de estos metales traza en el organismo sus efectos serán en mayor o en menor medida perjudiciales para los individuos.

### ***2.2.8 Situación de la contaminación atmosférica por metales pesados en la ciudad de Quito.***

En la ciudad de Quito entidades como el “Municipio conjuntamente con el Ministerio del Ambiente y la CORPAIRE son los encargados del monitoreo la calidad del aire” como lo refiere Maldonado (2012) en su investigación. Entre los logros de estas instituciones encaminadas al control de la contaminación atmosférica en DMQ podemos contar la restricción vehicular por el número de placa de los vehículos, sistema que busca disminuir las emisiones de contaminantes denominados criterio a la atmósfera con resultados positivos desde su implementación en el año 2010, pero la constante expansión del parque industrial y automotor ha incrementado en gran medida la concentración de material particulado emitido al aire y por ende de metales pesados (Maldonado, 2012).

El DMQ es la única ciudad del Ecuador que monitorea la contaminación atmosférica, informa a la ciudadanía y ha implementado algunas acciones para contrarrestar la misma sin embargo la extensión y crecimiento constante de la urbe de la

ciudad hace que las medidas adoptadas para el control de la contaminación en la capital comiencen a ser insuficientes (Ocampo et al., 2008). A nivel país, Ecuador en si denota grandes anomalías en materia de calidad del aire que incluyen: “falta de seguimiento de acuerdos firmados, fragmentación de legislación, jurisdicción y falta de presupuesto por parte del MAE” según lo establece Ocampo et al. ( 2008).

Pocos son además en el país los estudios realizados sobre la contaminación atmosférica y sus efectos en la salud de los seres humanos, lo que lleva a un desconocimiento por parte de la población de los diversos y tan variados contaminantes que podemos encontrar inmersos en el aire que respiramos día con día y de cómo estos pueden afectarnos (Ocampo et al., 2008).

Como es el caso de los metales pesados Pb, Cu, Co, que se encuentran en la atmosfera, asociados al material particulado y cuyo origen en las grandes ciudades puede ser a raíz de la industria o del tráfico vehicular principalmente. Siendo la concentración máxima permisible en el aire para el caso del plomo de  $0,5 \text{ ug/m}^3$  durante un tiempo de exposición anual como consta en la Norma de Calidad del Aire ambiente de la República de Colombia publicada el 01 de noviembre del 2017 y que entra en vigor el 01 de Enero del 2018 (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible Bogota-Colombia., 2017), valor que coincide con el Ambient Air Quality Criteria, Criterios de calidad de aire ambiental establecidos por el Ministerio del Ambiente de Ontario-Canadá (2012). Variando sin embargo el tiempo de exposición ya que este valor seria para 24 horas y siendo un poco más permisiva la norma mexicana NOM-025-SSA1 (Direccion General de Salud Ambiental de Mexico, 1994), que establece una concentración máxima de plomo en el aire de  $1.5 \text{ ug/m}^3$  en un periodo de tres meses; para el Cu, en cambio, el Ambient Air Quality (Ministerio del Ambiente de Ontario-Canada, 2012), establece un valor de  $50 \text{ ug/m}^3$  y para el cobalto de  $0.1 \text{ ug/m}^3$  durante un periodo de exposición de 24 horas, se ha

tomado estos datos como elemento de referencia para efectos de comparación de los resultados obtenidos en los análisis químicos de los líquenes, ya que en Ecuador no existe una normativa para los metales pesados Pb, Cu, Co, como contaminantes del aire, sin embargo y tomando en cuenta que estas concentraciones se encuentran expresadas en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y que son determinadas con equipos automatizados que utilizan una técnica de muestreo completamente distinta a los bioindicadores, se cree conveniente asumir los valores de Pb, Cu y Co, como contenido de Pb, Cu y Co (Vasquez, 2015). Ver las tablas 2, 3 y 4.

**Tabla 2**

*Concentraciones Máximas Permisibles Plomo, Cobre, Cobalto.*

<b>Metal</b>	<b>Concentración máxima permisible (mg/kg)</b>	<b>Tiempo de exposición</b>
Plomo	0.5	24 horas
Cobre	50	24 horas
Cobalto	0.1	24 horas

*Nota.* Tomado de (Ministerio del Ambiente de Ontario-Canada, 2012). Adaptado por las Autoras, 2022.

**Tabla 3**

*Concentración Máxima Permisible Plomo*

<b>Metal</b>	<b>Concentración máxima permisible (mg/kg)</b>	<b>Tiempo de exposición</b>
Plomo	0.5	1 año

*Nota.* Tomado de (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible Bogota-Colombia., 2017). Adaptado por Autoras, 2022.

**Tabla 4**

*Concentración Máxima Permisible Plomo*

<b>Metal</b>	<b>Concentración máxima permisible (mg/kg)</b>	<b>Tiempo de exposición</b>
Plomo	1.5	3 meses

*Nota.* Tomado de (Dirección General de Salud Ambiental de México, 1994). Adaptado por las Autoras, 2022

### **2.3 Bioindicadores**

Los indicadores biológicos también conocidos como bioindicadores se denominan a los grupos compuestos por plantas o animales que viven en ecosistemas terrestres o acuáticos, cuya población puede verse afectada por cambios estructurales dentro de su hábitat o fuentes de alimentación, además son susceptibles a contaminantes o cambios poblacionales. Su uso como indicadores biológicos se basa en la sensibilidad que poseen estas especies ante las alteraciones en el medio ambiente (Calles, 2007).

Por tanto, los indicadores biológicos son una herramienta muy valiosa que puede complementar las estimaciones relacionadas con las condiciones ambientales, ya que integran las respuestas de los compartimentos biológicos del ecosistema de interés a los diferentes tipos y grados de perturbaciones a las que están sometidos. Los indicadores biológicos ayudan a detectar cambios en el ecosistema, como el desarrollo, la contaminación o el cambio climático. Pueden determinar la fuente del impacto e indicar el curso de acción (Ortiz y Ortega, 2014).

Al contrario de las formas convencionales que solo evalúan componentes no biológicos (aire, agua, suelo), el monitoreo biológico puede estimar la repercusión de la contaminación en todos los organismos del medio ambiente. Además, la vigilancia

rutinaria de entornos urbanos e industriales requiere tecnologías complejas y de costos elevados por lo que es necesario utilizar nuevos mecanismos alternativos que permitan obtener información relevante a un precio más accesible (González, 2014).

### ***2.3.1 Tipos de bioindicadores***

Los indicadores pueden pertenecer a cualquiera de los cinco reinos de la naturaleza. Sin embargo, los más utilizados son las plantas, vertebrados e insectos. (Calles, 2007). Dado que los indicadores biológicos se utilizan para estimar el riesgo de contaminación ambiental para los ecosistemas y la salud humana, el uso de bioindicadores para medir el impacto de la contaminación del aire es un pilar de la gestión de la calidad del aire en todo el mundo (Anze et al., 2007).

Los cambios ambientales, enfatizan la necesidad de un monitoreo ambiental constante en las zonas cercanas a las zonas de más grande efecto antrópico con el fin de identificar estos cambios y tomar oportunas medidas preventivas, de reposición y remediación para conservar la salud ambiental de dichos ecosistemas (Ortiz y Ortega, 2014).

Además, los indicadores biológicos brindan información cualitativa del estado en el que se encuentra un ecosistema a través de su presencia / ausencia o cambiando su abundancia. Para ellos, los biomarcadores se definen como cambios genéticos, fisiológicos, morfológicos y de comportamiento asociados con la exposición a factores ambientales estresantes.

Dado que estos cambios pueden medirse, pueden evaluar cuantitativamente la intensidad de la interferencia. Por tanto, en cualquier seguimiento ambiental, al ser las principales herramientas de evaluación, las dos deben desarrollarse de la mano (Ortiz y Ortega, 2014).



### **2.3.1.1 Indicadores de biodiversidad**

La diversidad de organismos vivos presentes en los ecosistemas terrestres, marinos y acuáticos, así como los complejos ecológicos que los constituyen incluyen dentro de la biodiversidad varias formas de organización de la vida, además abarca todas las especies que conviven con nosotros en la tierra, ya sean animales, plantas, virus o bacterias, los espacios o ecosistemas que las componen, los genes que componen cada especie, y cada individuo en ellos es diferente del otro (Dorado, 2010).

Los biomarcadores son organismos o biomas que pueden responder a la contaminación ambiental alterando sus condiciones fisiológicas o mediante su capacidad para acumular contaminantes. Los indicadores biológicos ayudan a medir los efectos de la contaminación en los organismos vivos, por lo que pueden proporcionar información sobre los riesgos (Anze et al., 2007).

### **2.3.1.2 Indicadores ecológicos**

Este tipo de indicador se utiliza para informar una estimación de la incertidumbre asociada con la fuente de la información. El patrón y la gama de efectos informados por estos indicadores deben entenderse como un criterio común para identificar tendencias, por ejemplo, para identificar información más sensible. Las regiones y grupos de especies afectados pueden verse afectados por nuevas condiciones climáticas debido a sus características ecológicas y patrones de distribución. Por lo tanto, estos indicadores no se pueden utilizar para identificar especies específicas o áreas más sensibles a nivel local (Cuesta et al., 2012).

### **2.3.1.3 Indicadores ambientales**

Estos organismos son importantes y son el resultado de fenómenos complejos en el campo de la producción, singularidades o fenómenos específicos que configuran la complejidad del medio. Por ejemplo, varios indicadores ambientales como la

deforestación, la calidad del aire, la deforestación, la desertificación y la contaminación del agua por región utilizan indicadores de cambio de uso de la tierra (Quiroga, 2007). Pueden identificar daños por cambios en el uso de la tierra y la disponibilidad de agua, y también pueden usarse para monitorear la restauración forestal (Ortiz, 2014).

### ***2.3.2 Ventajas de los bioindicadores con respecto a los indicadores Físico-Químicos.***

Los indicadores biológicos ayudan a verificar la efectividad de los parámetros físicos y químicos, la confiabilidad de estos indicadores de la realidad biológica y los efectos de los contaminantes en los organismos existentes. Otra gran ventaja del uso de biomarcadores es su capacidad para recopilar información sobre la biodisponibilidad de contaminantes, proporcionar información sobre la cantidad de contaminantes presentes en un organismo, así como recopilar datos en términos de exposición a largo plazo a contaminantes, en contraposición a los físicos químicos que proporciona información únicamente en el muestreo. También debemos mencionar las importantes ventajas económicas de estos métodos, ya que no requieren altos gastos económicos para su análisis (Segura, 2013a).

### ***2.3.3 Requisitos que deben cumplir los bioindicadores.***

Los indicadores biológicos son efectivos cuando cumplen los siguientes requisitos: larga vida, talo perenne, amplia distribución, reacciones toleradas o evitadas, baja movilidad, suficiente sustrato, homogeneidad genética (Segura, 2013a).

## **2.4 Líquenes**

El líquen es un simbiote estable que consta de dos o tres organismos vivientes diferentes. Siempre contienen hongos (micobiontes) y una o dos algas autótrofas y /o cianobacterias (fotobiontes), que son unidades morfológicas y fisiológicas distintas de los organismos libres. (Campos Herrera et al., 2014)

Esta relación es variada y se manifiesta en árboles (epidermis), cortezas (corticólicas), rocas (saxícolas) o ríos, este tipo de bioacumulador proporciona información específica sobre las condiciones que posee el medio, dependiendo de su presencia o ausencia en el espacio y el nivel en el que se encuentran, sus niveles de antibióticos en la biología. Para medir la calidad del aire, los líquenes que se encuentran en la corteza son ampliamente conocidos como un gran indicador, por el nivel de contaminación ambiental extrema de acuerdo con su resistencia y capacidad de acumulación de metales pesados (González, 2014).

La materia orgánica se produce a partir del metabolismo primario y secundario producido por organismos como los líquenes. Los primeros son metabolitos intracelulares que también se encuentran en hongos, algas y plantas vasculares no localizadas como aminoácidos, proteínas, polioles, polisacáridos, carotenoides y vitaminas (Campos Herrera et al., 2014).

Este último representa el mayor número de compuestos orgánicos en líquenes. Son producidos por hongos y se depositan fuera de la pared del hongo. Se conocen más de 1.000 especies, de las cuales unas pocas (unas 50 especies) se han identificado en hongos distintos de los líquenes o plantas superiores. Estos incluyen ácidos grasos, para y metaglucósidos, dexas, ésteres bencílicos, dibenzofuranos, ácidos úsnicos, xantonas, antraquinonas, terpenoides, ácidos olefínicos y sus derivados (Campos Herrera et al., 2014).

#### ***2.4.1 Componentes de la simbiosis líquénica***

##### **2.4.1.1 Hongo**

Los hongos son heterótrofos, es decir, no pueden producir su propio alimento como las plantas. Esto se debe a la falta de pigmentos de clorofila y a la fotosíntesis. Por

esta razón, los hongos deben interactuar con otros organismos que buscan nutrientes orgánicos para sobrevivir (Rocabado, 2011).

Una característica de los hongos que pueden liquenizarse es que son parte de la familia *filo Ascomycetos*, y son los que aportan la mayor parte de la biomasa. (Ortiz y Ortega, 2014). Los hongos liquen se dividen en ascomycetos y basidiomicetos en el reino fúngico y representan más del 20% de las especies fúngicas conocidas. Su diversidad global se estima entre 13.500 y 20.000 especies. Sin embargo, proyecciones recientes calculan que podría haber hasta 28.000 especies (Campos Herrera et al., 2014).

#### **2.4.1.2 Alga**

Las algas son organismos acuáticos, que son fotosintéticamente oxigenadas (liberando oxígeno), y hay pocas morfológicamente (plantas primitivas y halófitos) (Cubas, 2008).

De hecho, si queremos ser precisos, la definición de alga debe ser que las algas (con muchas exclusiones) son organismos acuáticos (con excepciones comunes) y organismos autótrofos oxigenados, y su complejidad morfológica no suele ser tan buena como la de las plantas terrestres (Cubas, 2008).

Las algas más comunes son: *Trebouxia*, *Chlorella*, dentro de esta clasificación aproximadamente el 92% de los líquenes contienen algas verdes comunes, en comparación al 8% de las cianobacterias. Cuando el fotoorganismo son las cianobacterias azules, se producen glucosa fúngica y macronutrientes derivados de N. Si se trata de algas verdes, producirá como respuesta ceder el ridicol. Cualquiera de estos dos productos está dentro del hongo y se convertirá en alcohol. Hacen líquenes pigmentados: verde (*Trebouxia*), naranja (*Trentepohlia*) o azul verdoso (*Nostoc*). Por tanto, el ridicol es el responsable de aumentar la población) (Ortiz y Ortega, 2014).

#### **2.4.2 Formas de crecimiento**

La forma de crecimiento del líquen está directamente relacionada con su fisiología y también depende del hábitat en el que se encuentre.

Los biotipos son solo aspectos en una escala continua, desde los primitivos hasta los altamente organizados, la morfología externa suele estar determinada por el micobionto, excepto en unos pocos casos, siendo el fotobionto el tipo que más afecta a la morfología. En general, los biotipos más famosos son: foliáceos y fruticulosos.

#### **2.4.2.1 Foliáceos**

Tienen una forma estratificada, una estructura más compleja, diferentes tejidos dorsales y superficies debajo de ellos; Se adhieren parcialmente al sustrato, de modo que pueden separarse del sustrato sin dañarlo; Anatómicamente hablando, son homopolímeros o heteropolímeros, que se unen al sustrato a través de diversos aditamentos y obtienen agua del sustrato y de la atmósfera (Margulis, 1993).

#### **2.4.2.2 Frutulosas**

Tienen forma de pequeño arbusto, se unen a la placa base mediante discos de montaje (lóbulos finos y angostos que se adhieren a la placa base con una superficie mínima). Sobresale mucho de la superficie y puede estar de pie o colgando. Su humidificación depende de la humedad relativa del aire (San Matías, 2003).

#### **2.4.3 Ecología de los líquenes.**

Las plantas de líquenes varían según la ubicación, el clima, las características del sustrato, la influencia de otros organismos presentes en el líquen, la disponibilidad de luz, temperatura y agua. Composición química, deposición atmosférica, etc. (Barreno y Pérez, 2003).

Los líquenes son organismos resistentes a las duras condiciones ambientales y, por lo tanto, pueden surgir en muchos ecosistemas diferentes. En comparación con otros organismos, la protección contra la sequía y la radiación solar proporcionada por los

hongos y la capacidad de las algas para fotosintetizar otorgan a las simbiontes propiedades distintas (Vaillant, 2014).

Los líquenes se pueden encontrar en una gran variedad de sustratos, lo que les proporciona una superficie duradera y estable. Los sustratos más comunes son rocas, árboles, madera, tierra, algunos exoesqueletos de invertebrados, conchas de tortuga e incluso materiales artificiales como vidrio, cuero, hierro, asbesto, cemento o ladrillos (Vaillant, 2014).

- **Saxícolas:** en rocas
- **Cortícolas:** en las cortezas de los árboles
- **Lignícolas:** en madera
- **Terrícolas y humícolas:** en tierra y humus (Vaillant, 2014).

#### ***2.4.4 Los líquenes como bioindicadores***

El líquen también absorbe los metales pesados acumulados en sus tejidos, que pueden ser estudiados por métodos químicos para determinar la presencia de estos metales pesados. El análisis de metales pesados requiere que se pueda observar alguna variabilidad en el aspecto químico, para estudiar sustituyentes y clasificarlos a gran escala.(Hawksworth et al., 2005).

Para los bosques con continuidad ecológica y buena estructura, los macro y micro líquenes de los grupos hospedantes son raros o inexistentes en los bosques jóvenes. La composición de los bosques adultos y viejos de líquenes epífitos es diferente a la del bosque del mismo género en estado juvenil, aunque no necesariamente la diversidad general, sino en términos de la calidad de la biomasa y la composición de la flora. El líquen puede utilizar una gran cantidad de nichos, algunos de los cuales son muy específicos de ciertos micros hábitats relacionados con árboles, troncos gruesos y pelados,

descomposición en diversos grados, grietas en el suelo, briofitos, etc. Puede encontrarse cuando hay continuidad en el tiempo (Barreno y Pérez, 2003b).

En la dinámica natural del sistema forestal conviven individuos de diferentes edades, desde corteza muy pequeña hasta corteza lisa, hasta individuos muy ancianas o muertas, fenómeno que puede explicarse por indicadores biológicos los cuales muestran datos acerca de la riqueza y la diversidad de los líquenes en los distintos ecosistemas (Barreno y Pérez, 2003b).

#### **2.4.5 Los líquenes en el Ecuador.**

Ecuador es considerado uno de los países más ricos sobre la biodiversidad biológica. Sin embargo, la flora liquénica del país no ha sido muy estudiada hasta el momento, a excepción de las islas Galápagos, donde se han reportado 570 especies. Actualmente, ningún trabajo tiene una lista completa de especies disponibles y recolectadas en Ecuador, verificando todas las referencias de estudios realizados en Ecuador, existen 930 especies en el país (González, 2015).

Entre las principales especies estudiadas tenemos:

##### **2.4.5.1 Parmotrema austrosinense:**

Se distingue por máculas efiguradas, cilios simples, superficie inferior negra y ausencia de propágulos vegetativos. Es morfológicamente similar a *P. Expansum*, que también desarrolla máculas efiguradas, pero tiene cilios furcados y conidios más cortos (7-12  $\mu\text{m}$ ). Se distingue por el talo sorediado con cilios cespitosos y presenta una química compleja, con ácido salazínico, liquexantona y los ácidos lichesterínico y protolichesterínico dentro de su estructura (GBITH, 2021). Ver figura 20.

## Figura 20

*Parmotrema austrosinense*



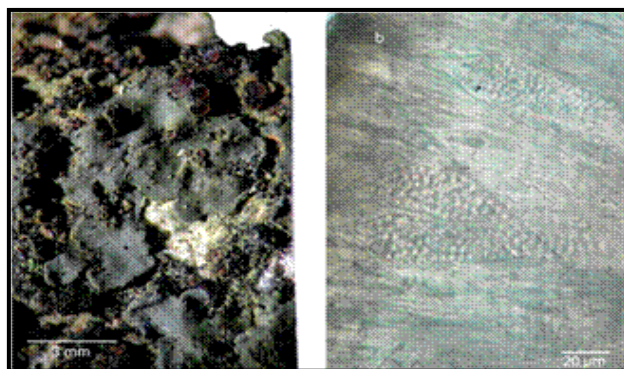
*Nota.* Tomado de (Bustamante et al., 2018)

### 2.4.5.2 *Phyllopeltula steppae* kalb

Se caracterizan por tener un talo folioso, esporas pequeñas y generalmente son epifitos, yacen sobre la corteza de los árboles; estas características lo distinguen del *Peltula*, de crecimiento escumuloso a folioso con esporas más grandes y que por lo general se encuentra en ecosistemas terrestres o sobre superficies sólidas. (Bustamante et al., 2018). Ver figura 21.

## Figura 21

*Phyllopeltula steppae* kalb



*Nota.* Tomado de (Bustamante et al., 2018)

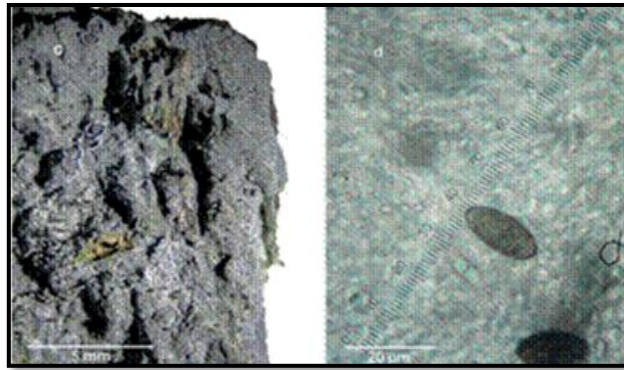


### 2.4.5.3 *Reimnitzia santensis*

Esta especie se caracteriza por la presencia de epitelios diferenciados en comparación con otros géneros de la familia *Thelotrema*. *Reimnitzia*, fue observada por primera vez en un bosque seco tropical ecuatoriano. *Reimnitzia santensis* es un liquen crustáceo con talo grisáceo azulado, e isidios del mismo color que el talo. (Bustamante et al., 2018). Ver figura 22.

#### Figura 22

*Reimnitzia santensis*



*Nota.* Tomado de (Bustamante et al., 2018)

### 2.4.5.4 *Caprina andina*

Posee talos en forma de ramas erguidas o pendientes similares a pequeños arbustos muy largos. Su parte adherida está a unos pocos milímetros. (Barrimi et al., 2013). Ver figura 23.

## Figura 23

*Caprina andina*



*Nota.* Tomado de (Barrimi et al., 2013)

### 2.4.5.5 *Reselliniopsis palicei*

Se han encontrado muchas de estas especies en el micelio terrestre del tipo *Pslacopsis gelida*, que parece ser un parásito, ya que las hifas del hospedador continúan manteniendo su color y salud incluso cuando están completamente cubiertas por estos hongos. (Villoslada, 1994). Ver figura 24.

## Figura 24

*Reselliniopsis palicei*



*Nota.* Tomado de (Uribe, 2014)

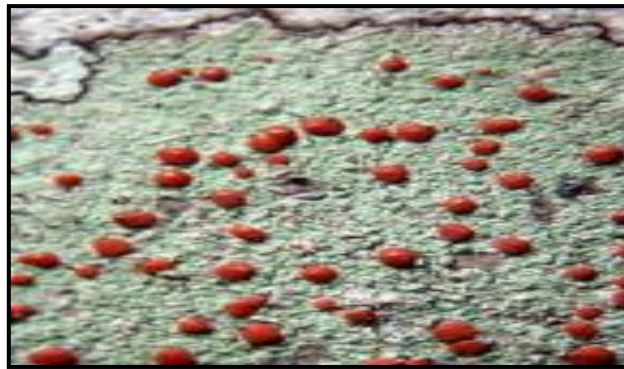
### 2.4.5.6 *Nectria byssophila*

Se caracteriza por tener un color amarillo o naranja y unos esporangios largos y filamentosos compuestos por muchas esporas. También consta de varias capas de células,

que forman una estructura celular gruesa dividida con un diámetro de 6 a 12  $\mu\text{m}$  en un tabique de paredes delgadas. Las cerdas son superficiales, transparentes, simples o ramificadas, de hasta  $60 \times 4,7 \mu\text{m}$ . (Villoslada, 1994) . Ver figura 25.

### **Figura 25**

*Nectria byssophila*



Nota. Tomado de (Uribe, 2014)

#### **2.4.5.7 Cosmopora marelliana**

Consta de 6 a 15 grupos en estomas o branquias con un diámetro de 0,6 a 1,2. Es de forma casi esférica, lampiño y de color naranja oscuro. Los poros del espécimen adulto están muy abiertos. El diámetro de la sección transversal de la pared de la semilla de naranja es de aproximadamente  $20 \mu\text{m}$  (Villoslada, 1994). Ver figura 26.

### **Figura 26**

*Cosmopora marelliana*



Nota. Tomado de (Herrera y Lücking, 2016).

#### **2.4.6 Estudios de casos de líquenes como bioindicadores en el Ecuador**

Segura (2013), determino la contaminación atmosférica en diferentes parques del DMQ utilizando líquenes como bioindicadores, su metodología incluyo la marcación de divisiones sobre el área de estudio, donde posteriormente se realizó el reconocimiento de especies de líquenes, para finalmente calcular el Índice de contaminación ambiental (ICA), obteniendo como resultado de su investigación dos parques presentaron contaminación alta, dos contaminación media y un último con contaminación baja o inexistente.

Cango (2015), determino la abundancia y el porcentaje de cobertura de líquenes y briófitos epífitos en arboles de *Salix humboltiana*, en once estaciones de muestreo ubicadas en la ciudad de Loja. El estudio evaluó el índice de pureza atmosférica IPA entre zonas, como resultados de la investigación se obtuvo que existe mayor contaminación en las zonas del norte de la ciudad debido al abundante flujo vehicular, mientras que en las zonas centrales donde no existe mucho movimiento se obtuvieron bajas concentraciones.

González (2018), en su tesis de grado evaluó la calidad del aire en el bloque 60 EP-PETROAMAZONAS estudio que incluyo a los líquenes como protagonistas, combinando la cartografía, con el Índice de Pureza Ambiental (IPA) y análisis de metales pesados, se logró determinar que la calidad del aire en la parroquia San Carlos está influenciada por la actividad petrolera realizada en la zona.

Galarza (2019), determino la calidad del aire en diferentes localidades de Cuenca usando líquenes como biomarcador. Los índices de pureza atmosférica para seis sitios de monitoreo en la ciudad de Cuenca se obtuvieron utilizando una cuadrícula de estudio de líquenes de especies de árboles. Los valores obtenidos de IPA oscilaron entre 16,2 y 39,2; también se realizaron análisis cartográficos sobre el número de vehículos de transporte público, y el uso del suelo.

Se realizaron evaluaciones de la calidad del aire en siete parques de la Ciudad de Loja, documentando la presencia y cobertura de líquenes epífitos en los árboles. Se utilizó el índice de pureza del aire (IPA) para determinar los niveles de contaminación. Los resultados del estudio indicaron que el aire tiene una mejor calidad en las regiones norte y sur de la ciudad, mientras que en los parques ubicados en el centro de Loja ocurrió lo contrario, lo que estuvo fuertemente asociado con un mayor tránsito vehicular (Ochoa et al., 2015).

### 3 MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Diseño

##### 3.1.1 *Diseño experimental.*

Los datos que validan esta investigación fueron obtenidos a partir de un análisis de laboratorio aplicado a las muestras del *P. Austrosinense* trasplantado en las 6 localidades del DMQ, estos análisis incluyeron la utilización de los siguientes equipos:

- Espectrofotómetro de luz visible para cuantificar pigmentos fotosintéticos (clorofila “a”, clorofila “b”, clorofila total y Carotenoides), cada una de las muestras (21 en total), fueron analizadas por triplicado dando un total de 63 repeticiones. Mediante las ecuaciones descritas por Lichtenthaler (1987), y que se detallan a continuación, se determinó la concentración de clorofilas y carotenoides.

$$Ca = 13.36A_{664.2} - 5.19A_{648.6}$$

$$Cb = 27.43A_{648.6} - 8.12A_{664.2}$$

$$Ca + Cb = 5.24A_{664.2} - 22.24A_{648.6}$$

$$Cx + c = \frac{1000A_{470} - 2.13Ca - 97.64Cb}{209}$$

- Espectrofotómetro de absorción atómica (método horno grafito), para determinar concentración de metales pesados Cu, Pb y Co, de igual manera estos análisis fueron aplicados a las 21 muestras y repetidos tres veces, utilizando la ecuación de Vásquez (2020), citada por Simba y Zurita (2021) en su investigación, se calcularon las concentraciones de metales pesados presentes en los líquenes.

$$\text{Concentración } \frac{(mg)}{(kg)} = \frac{\text{Lectura del equipo } \frac{(mg)}{(kg)} * FD * \text{Aforo (ml)}}{\text{Peso muestra (g)}}$$

### 3.1.2 Diseño estadístico

Las respectivas comparaciones entre las diferentes localidades estudiadas se lo hizo mediante un análisis de la varianza (ANOVA), los resultados químicos obtenidos en cada punto de muestreo fueron repetidos tres veces, utilizándose para los análisis estadísticos un valor promedio de los mismos.

### 3.2 Población y muestra

El estudio se realizó en el DMQ, donde se seleccionaron seis localidades de muestreo con respecto al punto de control establecido en la Calera Machachi.

En cada una de las seis localidades del DMQ se establecieron tres puntos de colocación de muestras y de igual manera se lo hizo en el sitio de control, sumando un total de 21 muestras, las mismas que fueron transplantadas el 27 de abril y retiradas el 27 de octubre del 2021.

### 3.3 Variables

- **Variable Independiente:** Liqueen *Parmotrema austrosinense* (*Zahlbr.hale*) como bioindicador y bioacumulador.
- **Variable Dependiente:** Concentración de metales pesados, clorofilas y carotenoides, en las diferentes localidades.

### 3.4 Recolección de datos

#### 3.4.1 Materiales

##### 3.4.1.1 De campo

A continuación, se detallan los materiales utilizados en campo para la recolección de líquenes.

- Fundas de Nylon
- Libreta de campo
- Espátulas
- Flexómetro
- Cámara
- Mascarillas
- Lápiz
- Ropa adecuada para trabajo de campo

#### **3.4.1.2 De laboratorio**

La tabla descrita a continuación menciona los materiales utilizados en el análisis químico de los líquenes, basándonos en la metodología descrita por Cañas y Pignata (2003), en su investigación “Efecto de Contaminantes Atmosféricos Urbano-Industriales sobre el Liqueen *Parmotrema austrosinense* (Zahlbr. Hale)”, con algunas modificaciones realizadas a la misma.



**Tabla 5***Materiales para Análisis Químico*

<b>Materiales</b>	<b>Reactivos</b>	<b>Equipos</b>
Vidrio Molido	HNO <sub>3</sub>	Espectrofotómetro de absorción atómica
Mortero	Etanol 96%	Centrifuga
Agua destilada		Balanza analítica
Papel filtro		Espectrofotómetro de luz visible
Frascos ámbar		Microondas digestor
Vasos de precipitación		Estufa
Pipetas		
Gotero		
Bureta		

*Nota.* Tomado de (Cañas y Pignata, 2003). Adaptado por las Autoras, 2022.

### **3.5 Protocolos**

#### **3.5.1 Zona de estudio**

Para la realización de la presente investigación se seleccionaron seis localidades del DMQ con tres sitios cada una y con diferentes niveles de tráfico vehicular e industrias para la implantación del líquen *Parmotrema austrosinense* (*Zahlbr.hale*), a fin de evaluar la calidad del aire en las diferentes zonas muestreadas.

#### **3.5.2 Delimitación de los puntos de muestreo**

Para la delimitación de los puntos de muestreo incluidos en cada localidad, se elaboró una ficha de recolección de datos y que consta en el Anexo 5, se determinó la presencia de espacios verdes, como parques, jardines en las viviendas, árboles en las avenidas, franjas verdes a lo largo de estas o terrenos abandonados con vegetación

sembrada, densidad poblacional de acuerdo al número de viviendas que se encontraron en la zona, se pudo identificar además negocios y fábricas en el sector, esta información estuvo complementada por el conteo que se realizó del tráfico vehicular en cada sitio el mismo que se efectuó durante una hora en un horario pico ( nueve, una y cinco de la tarde) y mediante el cual se estableció si el tráfico vehicular en cada punto era bajo, medio o alto.

### ***3.5.3 Nivel de tráfico vehicular y presencia de industrias en las diferentes localidades.***

Cada uno de los sitios escogidos fueron evaluados para determinar la cantidad de vehículos que transitan por el lugar, el estudio se realizó en diferentes horarios pico: nueve, una y cinco de la tarde, contabilizándose el tráfico vehicular durante una hora, así como también mediante un sondeo de las zonas de interés se obtuvo un referente del número de industrias que rodean a cada sector.

### ***3.5.4 Fase de campo***

El líquen *Parmotrema austrosinense* (Zahlbr. Hale), fue identificado mediante investigación bibliográfica e imágenes (Bustamante et al., 2018), que permitieron conocer sus principales características y aspecto, facilitando determinar la presencia del mismo mediante observación directa.

El líquen *Parmotrema austrosinense* (Zahlbr. Hale), se recolecto en la Calera Machachi Provincia de Pichincha Ecuador, por considerarse un lugar con aire puro y libre de contaminación, los talos liquénicos fueron limpiados con mucho cuidado para retirar cualquier resto de material ajeno a estos y posteriormente se colocaron en bolsas de malla de Nylon (veinte talos por bolsa), que luego fueron transplantadas sobre árboles o postes a una altura de tres metros sobre el nivel del suelo en seis localidades de la ciudad de Quito, disponiendo de tres sitios por zona (18 sitios en total ).

Se estableció además una zona de control en el lugar donde se recogió los líquenes y en este sitio se implanto tres muestras en bolsas de Nylon sobre tres arboles distintos, pero de la misma zona, para sus respectivas comparaciones con los resultados obtenidos en las diferentes localidades (Cañas y Pignata, 2003).

Las bolsas de nylon con material liquénico estuvieron expuestas a las condiciones atmosféricas y diversos contaminantes durante seis meses, lapso que comprendió Abril – Octubre del año en curso, periodo después del cual las muestras fueron retiradas y llevadas al laboratorio donde se trituraron y refrigeraron a -4C hasta su respectivo análisis. (Cañas y Pignata, 2003). Anexo 4.

### **3.5.5 Fase de laboratorio**

#### **3.5.5.1 Cuantificación de pigmentos**

La cuantificación de pigmentos se la realizó determinando la concentración de clorofilas a y b, clorofila total y carotenoides, para lo cual a 300 mg. de material liquénico se agregó 30 ml. de etanol al 96% v/v, y se homogeneizó la muestra con vidrio molido y en mortero, el vidrio molido se añadió con el objetivo de facilitar la extracción de pigmentos (Cañas y Pignata, 2003).

Luego de 15 minutos, se centrifugo la muestra a 500rpm durante 1 minuto, se separó el sobrenadante y en el mismo se midió la absorbancia de clorofilas (665 y 649 nm.) y carotenoides (470 nm.). Sobre la base de peso seco se calcularon las concentraciones (en mg/g) de clorofilas (Clor.a, Clor.b, Clor. Total, como Clor.a + Clor.b) y carotenoides de acuerdo Lichtenthaler (1987), (Cañas y Pignata, 2003).

#### **3.5.5.2 Cuantificación de metales pesados**

Para el análisis de metales pesados, las muestras liquénicas fueron digeridas por vía húmeda en el digestor de microondas, a una maza de 300 mg. muestra, se añadió 5ml. de HNO<sub>3</sub> al 65%, se esperó 20 veinte minutos y se procedió a calentar en el microondas

(Speedwave MVS-2, 2018). Las muestras digeridas fueron transferidas a frascos ámbar de 100ml. con agua desionizada.

Posteriormente se analizaron las variables Cu, Pb, Co, por espectrofotometría de absorción atómica.

Para la lectura de metales pesados en las muestras es necesario elaborar las curvas de calibración, las mismas que son realizadas de forma automatizada por el equipo a partir de una solución estándar.







Se utilizó un estándar de 1000ug/ml, y de esta se obtuvo 1ppm, teniendo en cuenta la relación de equivalencia de 1ppm igual a 1000ppb, se procedió a preparar la solución madre para las rectas de calibración, las mismas que fueron para el Cobre de 40 ppb, Plomo 100 ppb, Cobalto 40 ppb y a partir de estas soluciones madre se realizaron cuatro estándares de dilución con el objetivo de obtener curvas de calibración con un coeficiente de relación lo más cercano a 1, que evidencie una tendencia lineal y un correcto análisis de las muestras (Simba y Zurita, 2021).

### ***3.5.6 Fase de oficina***

Con los resultados de concentración de metales pesados Pb, Cu, Co, obtenidos, se elaboraron mapas ( uno por cada metal), con la ayuda del programa ARCGIS, para apreciar de forma gráfica la contaminación por metales pesados presente en las diferentes localidades, estableciendo, para cada uno de los mapas una clasificación del nivel de contaminación presente en el aire ( peligrosa, muy mala, mala, regular, moderada, favorable), de acuerdo a la concentración de contaminante registrada y asignándose un color específico a cada nivel de contaminación, Ver tabla 1.

**Tabla 6**

*Clasificación por Colores del nivel de Contaminación*

<b>Nivel de contaminación</b>	<b>Color asignado</b>
Peligrosa	
Muy mala	
Mala	
Regular	
Moderada	
Favorable	

*Nota.* Elaborado por las autoras, 2022.

## **4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **4.1 Cuantificación de metales pesados**

En la tabla 7 se muestran las concentraciones medias de metales pesados Cu, Pb, Co obtenidos en los diferentes puntos de muestreo utilizando el líquen *P. Austrosinense* como bioindicador, así como también se detalla los resultados del ANOVA entre cada una de las localidades con distintos niveles de contaminación atmosférica.

**Tabla 7***Concentración de Metales Pesados en el Liquen P. Austrosinense, Trasplantado en Seis**Localidades del DMQ con Diferentes Niveles de Tráfico Vehicular e Industrias.*

<b>Localidad</b>	<b>Sitio</b>	<b>Pb</b>	<b>Cu</b>	<b>Co</b>
	PC1	3.81	0.69	0.36
<b>Punto de control</b>	PC2	4.32	0.71	0.57
	PC3	4.71	1.12	0.66
Media		<b>4.28</b>	<b>0.84</b>	<b>0.53</b>
E. E		<b>2.81</b>	<b>0.28</b>	<b>0.11</b>
C.V		<b>0.2</b>	<b>0.05</b>	<b>0.02</b>
	C1	7.31	1.17	0.79
	C2	14.2	1.32	1.01
<b>Conocoto</b>	C3	22.31	1.77	1.17
Media		<b>14.6</b>	<b>1.42</b>	<b>0.99</b>
E. E		<b>2.81</b>	<b>0.28</b>	<b>0.11</b>
C.V		<b>56.37</b>	<b>0.1</b>	<b>0.04</b>
	TLB1	30.67	1.68	0.76
<b>Turubamba</b>	TLB2	22.33	1.46	0.69
(La gran Bretaña)	TLB3	30.67	2.31	0.88
Media		<b>25.2</b>	<b>1.82</b>	<b>0.78</b>
E. E		<b>2.81</b>	<b>0.28</b>	<b>0.11</b>
C.V		<b>22.27</b>	<b>0.19</b>	<b>0.01</b>
	TC1	27.33	1.71	0.81
	TC2	29.67	2.04	0.98
<b>Turubamba</b>	TC3	32.67	2.13	1.22
(Caupicho)				
Media		<b>29.89</b>	<b>1.96</b>	<b>1</b>
E. E		<b>2.81</b>	<b>0.28</b>	<b>0.11</b>
C.V		<b>7.16</b>	<b>0.05</b>	<b>0.04</b>

<b>Localidad</b>	<b>Sitio</b>	<b>Pb</b>	<b>Cu</b>	<b>Co</b>
	CL1	26.67	2.32	0.97
	CL2	27.33	1.85	1.13
<b>Calderón</b>	CL3	22.33	1.97	0.76
Media		<b>25.44</b>	<b>2.05</b>	<b>0.95</b>
E. E		<b>2.81</b>	<b>0.27</b>	<b>0.11</b>
V		<b>7.37</b>	<b>0.06</b>	<b>0.03</b>
	CO1	24.33	1.38	1.05
<b>La</b>	CO2	26.33	2.05	0.68
<b>Concepción</b>	CO3	15.01	3.33	0.91
Media		<b>21.89</b>	<b>2.25</b>	<b>0.88</b>
E. E		<b>2.81</b>	<b>0.28</b>	<b>0.11</b>
C.V		<b>36.5</b>	<b>0.98</b>	<b>0.03</b>
	L1	7.33	1.86	1.02
	L2	13.01	1.15	1.34
<b>Lloa</b>	L3	19.33	1.25	0.75
Media		<b>13.22</b>	<b>1.42</b>	<b>1.04</b>
E. E		<b>2.81</b>	<b>0.28</b>	<b>0.11</b>
C.V		<b>36.03</b>	<b>0.15</b>	<b>0.09</b>
<b>ANOVA</b>				
<b>entre zonas</b>		P<0.05	P<0.05	n. s

*Nota.* Los datos corresponden al promedio de tres replicas y se expresan en mg/kg.

(Media: media aritmética; E. E: error estándar; C.V: coeficiente de variación).

Elaborado por las Autoras, 2022.

Tanto el Cu como el Co registraron valores bajos de concentración a diferencia del plomo que se encontró en mayores proporciones, sin embargo y en todos los casos los valores obtenidos en las diferentes localidades fueron superiores a los obtenidos en el punto de control. Para el caso del plomo el sitio con mayor contaminación corresponde a Turubamba (Caupicho) en el punto (TC3) con un valor de 32.67mg/kg y la más baja



concentración se obtuvo en Conocoto (C1) y Lloa (L1) que registraron un valor similar de 7.31 y 7.33 mg/kg.

El Co en cambio registro su valor más alto en Lloa (L2) con 1.34 mg/kg y el más bajo en Turubamba (La gran Bretaña) en el punto (TLB2) con 0.69 mg/kg, el Cu por otra parte presento el valor más alto de 3.33 mg/kg en la Concepción en el punto (CO3), y el más bajo de 1.15 en Lloa (L2).

#### **4.1.1 Análisis de varianza - TUKEY HSD/KRAMER.**

Se realizó un ANOVA para los metales Pb, Cu, Co, el mismo que mostró diferencias significativas entre las localidades, a excepción del cobalto que no tuvo una diferencia significativa entre localidades.

- **Plomo**

**Tabla 8**

*Análisis de varianza del Contenido de Plomo en Líquenes*

<b>ANOVA: Factor Único</b>					
<b>Descripción</b>				<b>Alpha</b>	<b>0,05</b>
<b>Fuentes</b>	<b>SS</b>	<b>Df</b>	<b>MS</b>	<b>F</b>	<b>P.value</b>
<b>Entre grupos</b>	1428582	6	238,0971	10,04417	0,00021252
<b>Dentro de los grupos</b>	331,8699	14	23,70499		
<b>Total</b>	1760452	20	88,02261		

*Nota.* Elaborado por Autoras, 2022.

**Tabla 9***Prueba de TUKEY HSD/KRAMER sobre Contenido de Pb, en Líquenes*

<b>TUKEY HSD/KRAMER</b>			Alpha 0,05
<b>Q TEST</b>			
<b>Group 1</b>	<b>Group2</b>	<b>Promedio</b>	<b>P-value</b>
PC	C	10,3266667	0,1984769**
PC	TLB	20,9433333	0,00176821*
PC	TC	25,61	0,00024278*
PC	CL	21,1633333	0,00160474*
PC	CO	17,61	0,00793343**
PC	L	8,9433333	0,33054712**
C	TLB	10,6166667	0,17700422**
C	TC	15,2833333	0,0230367*
C	CL	10,8366667	0,16204033**
C	CO	7,2833333	0,54969126**
C	L	1,3833333	0,99980055**
TLB	TC	4,6666667	0,89279514**
TLB	CL	0,22	1**
TLB	CO	3,3333333	0,97619263**
TLB	L	12	0,09977538**
TC	CL	4,4466667	0,91200236**
TC	CO	8	0,4485573**
TC	L	16,6666667	0,01221991*
CL	CO	3,5533333	0,96764258**
CL	L	12,22	0,09077392**
CO	L	8,6666667	0,36297183**

*Nota.* Elaborado por Autoras, 2022 \*\*No hay diferencia \*Si hay diferencia

En los resultados de la prueba de TUKEY HSD/KRAMER (Tabla 9), se observa que no existe una diferencia significativa entre la mayoría de grupos, excepto entre PC y TLB; PC y TC; PC y CL; C y TC; TC y L.

- **Cobre**

**Tabla 10**

*Análisis de varianza del Contenido de Cobre en Líquenes.*

<b>ANOVA: Factor Único</b>						
<b>Descripción</b>					<b>Alpha</b>	<b>0,05</b>
<b>Fuentes</b>	<b>SS</b>	<b>Df</b>	<b>MS</b>	<b>F</b>	<b>P.value</b>	
<b>Entre grupos</b>	4,203095	6	0,700516	3,086167	0,03857397	
<b>Dentro de los grupos</b>	3,1778	14	0,226986			
<b>Total</b>	7,380895	20	0,369045			

*Nota.* Elaborado por Autoras, 2022.

**Tabla 11***Prueba de TUKEY HSD/KRAMER sobre Contenido de Cu, en Líquenes*

<b>TUKEY HSD/KRAMER</b>			<b>Alpha 0,05</b>
<b>Q TEST</b>			
<b>Group 1</b>	<b>Group2</b>	<b>Promedio</b>	<b>P-value</b>
PC	C	0,58	0,74566701**
PC	TLB	0,97666667	0,22680674**
PC	TC	1,12	0,12614681**
PC	CL	1,20666667	0,08651006**
PC	CO	1,41333333	0,03378394*
PC	L	0,58	0,74566701**
C	TLB	0,39666667	0,94084321**
C	TC	0,54	0,79933244**
C	CL	0,62666667	0,67842812**
C	CO	0,83333333	0,38**
C	L	0	1**
TLB	TC	0,14333333	0,99972256**
TLB	CL	0,23	0,99607302**
TLB	CO	0,43666667	0,91069945**
TLB	L	0,39666667	0,94084321**
TC	CL	0,08666667	0,99998535**
TC	CO	0,29333333	0,98594707**
TC	L	0,54	0,79933244**
CL	CO	0,20666667	0,99780926**
CL	L	0,62666667	0,67842812**
CO	L	0,83333333	0,38142052**

Nota: Elaborado por Autoras, 2022 \*\*No hay diferencia \*Si hay diferencia

Los resultados de la prueba TUKEY HSD/KRAMER (tabla 11) muestran una diferencia significativa únicamente entre PC y CO.

- **Cobalto**

**Tabla 12**

*Análisis de varianza del Contenido de Cobalto en Líquenes*

<b>ANOVA: Factor Único</b>						
<b>Descripción</b>					<b>Alpha</b>	<b>0,05</b>
<b>Fuentes</b>	<b>SS</b>	<b>Df</b>	<b>MS</b>	<b>F</b>	<b>P.value</b>	
<b>Entre grupos</b>	0,57119	6	0,095198	2,483437	0,07544151	
<b>Dentro de los grupos</b>	0,536667	14	0,038333			
<b>Total</b>	1,107857	20	0,055393			

Nota. Elaborado por Autoras, 2022.

**Tabla 13***Prueba de TUKEY HSD/KRAMER sobre Contenido de Co, en Líquenes*

<b>TUKEY HSD/KRAMER</b>			Alpha 0,05
<b>Q TEST</b>			
<b>Group 1</b>	<b>Group2</b>	<b>Promedio</b>	<b>P-value</b>
PC	C	0,46	0,12649327**
PC	TLB	0,24666667	0,71698776**
PC	TC	0,47333333	0,11001818**
PC	CL	0,42333333	0,18341059**
PC	CO	0,35	0,35853016**
PC	L	0,50666667	0,07697946**
C	TLB	0,21333333	0,82533646**
C	TC	0,01333333	0,99999996**
C	CL	0,03666667	0,9999826**
C	CO	0,11	0,99121754**
C	L	0,04666667	0,9999282**
TLB	TC	0,22666667	0,78429159**
TLB	CL	0,17666667	0,91633535**
TLB	CO	0,10333333	0,99367441**
TLB	L	0,26	0,6695255**
TC	CL	0,05	0,99989261**
TC	CO	0,12333333	0,98422999**
TC	L	0,03333333	0,9999901**
CL	CO	0,07333333	0,99903316**
CL	L	0,08333333	0,99802703**
CO	L	0,15666667	0,95045767**

*Nota.* Elaborado por Autoras, 2022 \*\*No hay diferencia \*Si hay diferencia

Los resultados de la prueba de TUKEY HSD/KRAMER (tabla 13) no muestran diferencia significativa entre grupos.

## **4.2 Cuantificación de pigmentos**

El contenido de Clor.a, Clor.b, Clor. Total, y carotenoides fue significativamente alto en los puntos de control y disminuyo en las diferentes localidades como se observa en la tabla 14.

**Tabla 14**

*Concentración de clorofilas y carotenoides en el líquen P. Austrosinense, trasplantado en seis localidades del DMQ con diferentes niveles de tráfico vehicular e industrias.*

<b>Zona</b>	<b>Sitio</b>	<b>Clor. a</b>	<b>Clor. b</b>	<b>Clor. Total</b>	<b>Caroteno.</b>
<b>Punto de control</b>	PC1	17.29	48.26	65.55	6.83
	PC2	14.38	25.55	39.93	5.28
	PC3	13.89	24.38	38.27	4.82
Media		<b>15.19</b>	<b>32.73</b>	<b>47.91</b>	<b>5.64</b>
E. E		<b>1.3</b>	<b>4.32</b>	<b>5.28</b>	<b>0.53</b>
C.V		<b>3.38</b>	<b>181.22</b>	<b>233.89</b>	<b>1.11</b>
<b>Conocoto</b>	C1	10.82	23.15	33.98	4.39
	C2	7.52	13.13	20.65	2.18
	C3	4.99	7.07	12.07	1.53
Media		<b>7.78</b>	<b>14.45</b>	<b>22.23</b>	<b>2.7</b>
E. E		<b>1.28</b>	<b>4.32</b>	<b>5.28</b>	<b>0.53</b>
C.V		<b>8.55</b>	<b>65.95</b>	<b>121.89</b>	<b>2.25</b>
<b>Turubamba</b> (La gran Bretaña)	TLB1	8.45	8.14	16.59	1.51
	TLB2	10.82	23.15	33.98	1.53
	TLB3	6.13	14.95	21.08	1.29
Media		<b>8.47</b>	<b>15.41</b>	<b>23.88</b>	<b>1.44</b>
E. E		<b>1.28</b>	<b>4.32</b>	<b>5.28</b>	<b>0.53</b>
C.V		<b>5.5</b>	<b>56.49</b>	<b>81.5</b>	<b>0.02</b>
<b>Turubamba</b> (Caupicho)	TC1	6.13	13.4	19.52	1.18
	TC2	5.35	11.26	16.61	1.11
	TC3	3.83	7.53	11.36	0.98
Media		<b>5</b>	<b>10.73</b>	<b>15.83</b>	<b>1.09</b>
E. E		<b>1.28</b>	<b>4.32</b>	<b>5.28</b>	<b>0.53</b>



<b>Zona</b>	<b>Sitio</b>	<b>Clor. a</b>	<b>Clor. b</b>	<b>Clor. Total</b>	<b>Caroteno.</b>
C.V		<b>1.37</b>	<b>8.82</b>	<b>17.1</b>	<b>0.01</b>
	CL1	6.44	13.13	19.57	0.58
	CL2	3.79	8.66	12.45	1.04
<b>Calderón</b>	CL3	9.08	13.68	22.77	0.88
Media		<b>6.44</b>	<b>11.82</b>	<b>18.26</b>	<b>0.83</b>
E. E		<b>1.28</b>	<b>4.32</b>	<b>5.28</b>	<b>0.53</b>
C.V		<b>6.99</b>	<b>7.58</b>	<b>27.91</b>	<b>0.05</b>
	CO1	4.91	8.1	12.99	0.36
	CO2	7.79	7.22	14.99	0.57
<b>La</b>	CO3	10.64	17.46	28.11	2.32
<b>Concepción</b>					
Media		<b>7.78</b>	<b>10.93</b>	<b>18.7</b>	<b>1.08</b>
E. E		<b>1.28</b>	<b>4.32</b>	<b>5.28</b>	<b>0.53</b>
C.V		<b>8.2</b>	<b>32.21</b>	<b>67.46</b>	<b>1.16</b>
	L1	4.69	13.6	18.29	0.76
	L2	4.6	25.43	30.04	2.81
<b>Lloa</b>	L3	6.01	15.57	21.56	0.86
Media		<b>5.1</b>	<b>18.2</b>	<b>23.3</b>	<b>1.48</b>
E. E		<b>1.28</b>	<b>4.32</b>	<b>5.28</b>	<b>0.53</b>
C.V		<b>0.62</b>	<b>40.17</b>	<b>36.78</b>	<b>1.34</b>
<b>ANOVA</b>					
<b>entre zonas</b>		P<0.05	P<0.05	P<0.05	P<0.05

*Nota.* Los datos corresponden al promedio de tres replicas y se expresan en mg/g.

(Media: media aritmética; E.E: error estándar; C.V: coeficiente de variación). Elaborado por las Autoras, 2022.

En donde un valor de 3.79mg/g fue el más bajo para la Clor.a y se registró en Calderón (CL2), 7.07mg/g fue el menor valor de Clor.b y se obtuvo en Conocoto (C3), Turubamba Caupicho en el punto (TC3) presento la concentración más baja de Clor. Total,

que fue de 11.36mg/g, en cuanto al contenido de carotenoides este fue muy inferior al resto en la Concepción (CO1) con 0.36mg/g.

#### 4.2.1 Análisis de varianza - TUKEY HSD/KRAMER.

- Clorofila a

**Tabla 15**

*Análisis de varianza del Contenido de Clor. a en Líquenes*

<b>ANOVA: Factor Único</b>						
<b>Descripción</b>					<b>Alpha</b>	<b>0,05</b>
<b>Fuentes</b>	<b>SS</b>	<b>Df</b>	<b>MS</b>	<b>F</b>	<b>P.value</b>	
<b>Entre grupos</b>	213,6171	6	35,60285	7,198839	0,001172	
<b>Dentro de los grupos</b>	69,23893	14	4,945638			
<b>Total</b>	282,8561	20	14,1428			

*Nota.* Elaborado por Autoras, 2022.

**Tabla 16***Prueba de TUKEY HSD/KRAMER sobre Contenido de Clor.a en Líquenes*

<b>TUKEY HSD/KRAMER</b>			Alpha 0,05
<b>Q TEST</b>			
<b>Group 1</b>	<b>Group2</b>	<b>Promedio</b>	<b>P-value</b>
PC	C	7,41	0,01497868*
PC	TLB	6,72	0,02989591*
PC	TC	10,08333333	0,00107685*
PC	CL	8,75	0,00392833*
PC	CO	7,40666667	0,0150289*
PC	L	10,0866667	0,00107345*
C	TLB	0,69	0,99966875**
C	TC	2,67333333	0,7557625**
C	CL	1,34	0,98740549**
C	CO	0,00333333	1**
C	L	2,67666667	0,75477819**
TLB	TC	3,36333333	0,53807057**
TLB	CL	2,03	0,91219592**
TLB	CO	0,68666667	0,99967784**
TLB	L	3,36666667	0,53701436**
TC	CL	1,33333333	0,98772188**
TC	CO	2,67666667	0,75477819**
TC	L	0,00333333	1**
CL	CO	1,34333333	0,98724505**
CL	L	1,33666667	0,98756443**
CO	L	2,68	0,75379261**

*Nota.* Elaborado por Autoras, 2022 \*\*No hay diferencia \*Si hay diferencia

Los resultados de la prueba de TUKEY HSD/KRAMER (tabla 16), muestran diferencia significativa entre PC y C; PC y TLB; PC y TC; PC y CL; PC y CO; PC y L.

- **Clorofila b**

**Tabla 17**

*Análisis de varianza del contenido de Clor.b en líquenes*

<b>ANOVA: Factor Único</b>						
<b>Descripción</b>					<b>Alpha</b>	<b>0,05</b>
<b>Fuentes</b>	<b>SS</b>	<b>Df</b>	<b>MS</b>	<b>F</b>	<b>P.value</b>	
<b>Entre grupos</b>	1073.09	6	178.85	3.19	0.03	
<b>Dentro de los grupos</b>	784.9	14	56.06			
<b>Total</b>	1857.99	20	92.9			

*Nota.* Elaborado por Autoras, 2022.

**Tabla 18***Prueba de TUKEY HSD/KRAMER sobre Contenido de Clor.b, en Líquenes*

<b>TUKEY HSD/KRAMER</b>			Alpha 0,05
<b>Q TEST</b>			
<b>Group 1</b>	<b>Group2</b>	<b>Promedio</b>	<b>P-value</b>
PC	C	18,28	0,10473128**
PC	TLB	17,3166667	0,13626468**
PC	TC	22	0,03596383*
PC	CL	20,9066667	0,04954726*
PC	CO	21,8033333	0,03810744*
PC	L	14,53	0,27651927**
C	TLB	0,96333333	0,99999812**
C	TC	3,72	0,99541655**
C	CL	2,62666667	0,99933232**
C	CO	3,52333333	0,99658122**
C	L	3,75	0,99521485**
TLB	TC	4,68333333	0,98478246**
TLB	CL	3,59	0,99621581**
TLB	CO	4,48666667	0,98775744**
TLB	L	2,78666667	0,99906728**
TC	CL	1,09333333	0,99999602**
TC	CO	0,19666667	1**
TC	L	7,47	0,87441382**
CL	CO	0,89666667	0,99999878**
CL	L	6,37666667	0,93467055**
CO	L	7,27333333	0,88691766**

Nota: Elaborado por Autoras, 202 \*\*No hay diferencia \*Si hay diferencia

Los resultados de la prueba de TUKEY HSD/KRAMER (tabla 18), muestran diferencia significativa entre PC y TC; PC y CL; PC y CO.

- **Clorofila Total**

**Tabla 19**

*Análisis de varianza del Contenido de Clor. Total, en Líquenes*

<b>ANOVA: Factor Único</b>						
<b>Descripción</b>					<b>Alpha</b>	<b>0,05</b>
<b>Fuentes</b>	<b>SS</b>	<b>Df</b>	<b>MS</b>	<b>F</b>	<b>P.value</b>	
<b>Entre grupos</b>	2108,333629	6	351,3889	4,193732	0,012726	
<b>Dentro de los grupos</b>	1173,0472	14	83,78909			
<b>Total</b>	3281,380829	20	164069			

*Nota.* Elaborado por Autoras, 2021.

**Tabla 20***Prueba de TUKEY HSD/KRAMER sobre Contenido de Clor. Total, en Líquenes*

<b>TUKEY HSD/KRAMER</b>			Alpha 0,05
<b>Q TEST</b>			
<b>Group 1</b>	<b>Group2</b>	<b>Promedio</b>	<b>P-value</b>
PC	C	25,68333333	0,04809453*
PC	TLB	24,03333333	0,07102567**
PC	TC	32,08666667	0,01017245*
PC	CL	29,65333333	0,01841444*
PC	CO	29,22	0,0204652*
PC	L	24,62	0,0618897**
C	TLB	1,65	0,99998612**
C	TC	6,403333333	0,97357416**
C	CL	3,97	0,99781133**
C	CO	3,536666667	0,99884888**
C	L	1,063333333	0,99999898**
TLB	TC	8,053333333	0,92482806**
TLB	CL	5,62	0,98614549**
TLB	CO	5,186666667	0,99082089**
TLB	L	0,586666667	0,99999997**
TC	CL	2,433333333	0,99986438**
TC	CO	2,866666667	0,99965056**
TC	L	7,466666667	0,94598897**
CL	CO	0,433333333	1**
CL	L	5,033333333	0,99215043**
CO	L	4,6	0,99512698**

*Nota.* Elaborado por Autoras, 2022 \*\*No hay diferencia \*Si hay diferencia

Los resultados de la prueba de TUKEY HSD/KRAMER (tabla 20), muestran diferencia significativa entre PC y C; PC y TC; PC y CL; PC y CO.

- **Carotenoides**

**Tabla 21**

*Análisis de varianza del Contenido de Carotenoides en Líquenes*

<b>ANOVA: Factor Único</b>						
<b>Descripción</b>					<b>Alpha</b>	<b>0,05</b>
<b>Fuentes</b>	<b>SS</b>	<b>Df</b>	<b>MS</b>	<b>F</b>	<b>P.value</b>	
<b>Entre grupos</b>	52,10012381	6	8,683354	10,24469	0,000191	
<b>Dentro de los grupos</b>	11,86633333	14	0,847595			
<b>Total</b>	63,96645714	20	3,198323			

*Nota.* Elaborado por Autoras, 2022.



**Tabla 22***Prueba de TUKEY HSD/KRAMER sobre contenido de Carotenoides en líquenes*

<b>TUKEY HSD/KRAMER</b>			Alpha 0,05
<b>Q TEST</b>			
<b>Group 1</b>	<b>Group2</b>	<b>Promedio</b>	<b>P-value</b>
PC	C	2,943333333	0,0202453*
PC	TLB	4,2	0,00101528*
PC	TC	4,553333333	0,00045746*
PC	CL	4,81	0,00026054*
PC	CO	4,56	0,00045074*
PC	L	4,16666667	0,00109599*
C	TLB	1,25666667	0,64322793**
C	TC	1,61	0,38163473**
C	CL	1,86666667	0,23638181**
C	CO	1,61666667	0,3772651**
C	L	1,223333333	0,66895144**
TLB	TC	0,353333333	0,99889133**
TLB	CL	0,61	0,97972144**
TLB	CO	0,36	0,9987689**
TLB	L	0,033333333	1**
TC	CL	0,25666667	0,99982127**
TC	CO	0,00666667	1**
TC	L	0,38666667	0,99816726**
CL	CO	0,25	0,99984656**
CL	L	0,643333333	0,97371193**
CO	L	0,393333333	0,99798554**

Nota: Elaborado por Autoras, 2022 \*\*No hay diferencia \*Si hay diferencia

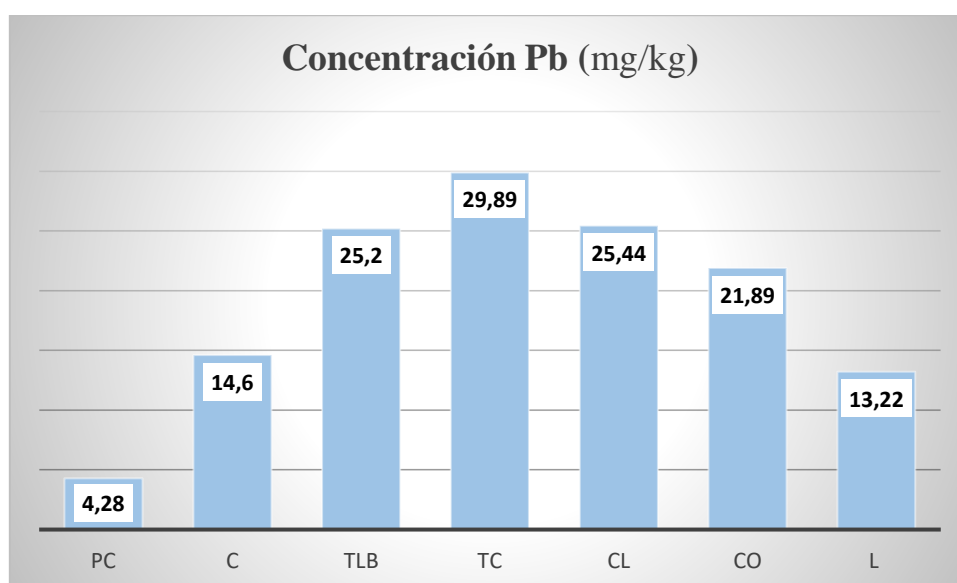
Los resultados de la prueba de TUKEY HSD/KRAMER (tabla 22), muestran diferencia significativa entre PC y C; PC y TLB; PC y TC; PC y CL; PC y CO; PC y L.

### 4.3 Cuantificación de metales pesados en el líquen *P. Austrosinense*

- **Plomo**

**Figura 27**

*Comparación de Datos de Plomo Obtenidos en las Diferentes Localidades*



*Nota.* Elaborado por las autoras, 2022

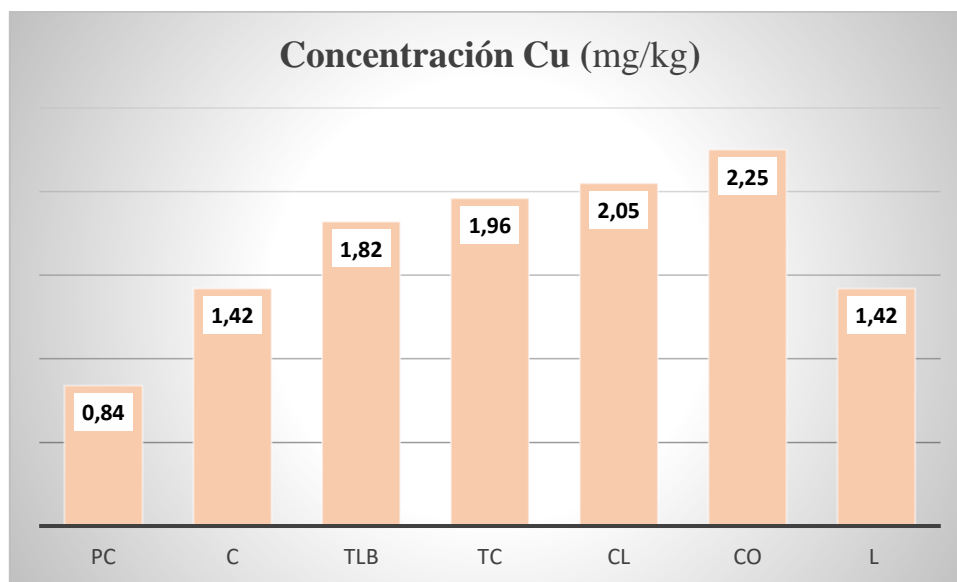
La Tabla 7 nos muestra para el metal plomo un valor promedio de 4.28 mg/kg para el punto de control (PC); 14.6 mg/kg Conocoto (C); 25.2 mg/kg Turubamba- La Gran Bretaña (TLB); 29.89 mg/kg Turubamba- Caupicho (TC); 25.44 mg/kg Calderón (CL); 21.89mg/kg La Concepción; 13.22 mg/kg Lloa (L). Comparando estos valores con los máximos permisibles para plomo en aire establecidos según el Ministerio del Ambiente de Ontario-Canadá ( 2012), que es de 0,5 mg/kg para un tiempo de exposición de 24 horas, no se estaría superando la norma en ninguna de las localidades estudiadas. De acuerdo en cambio a lo referido por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

Bogotá-Colombia. (2017), la concentración máxima de plomo en el aire es de 0,5mg/kg para un periodo anual, lo que implicaría que los resultados obtenidos en cuanto a la concentración de plomo en las localidades si superen la normativa. Y lo mismo sucede para la Norma Mexicana NOM-025-SSA1 (Dirección General de Salud Ambiental de Mexico, 1994), que establece un valor de 1,5 mg/kg para cada tres meses. Según estos dos últimos estándares todas las zonas muestreadas, incluso los puntos de control estarían sobrepasando los máximos permisibles, sin embargo se debe tomar muy en cuenta que los valores registrados en el punto de control, corresponden a la concentración inicial de este metal en los líquenes y que están directamente influenciadas por fuentes naturales pertenecientes al hábitat en que se desarrollan estos organismos, razón por la cual estos valores no estarían contemplados en la comparación de máximos permisibles ya que solo después de la implantación de estos organismos a las diferentes localidades la fluctuación de valores entre los iniciales y los registrados después del tiempo de exposición (6 meses) estarían indicando el deterioro de la calidad del aire a causa de este metal en las diferentes zonas.

- **Cobre**

**Figura 28**

*Comparación de Datos Obtenidos de Cobre en las Diferentes Localidades*



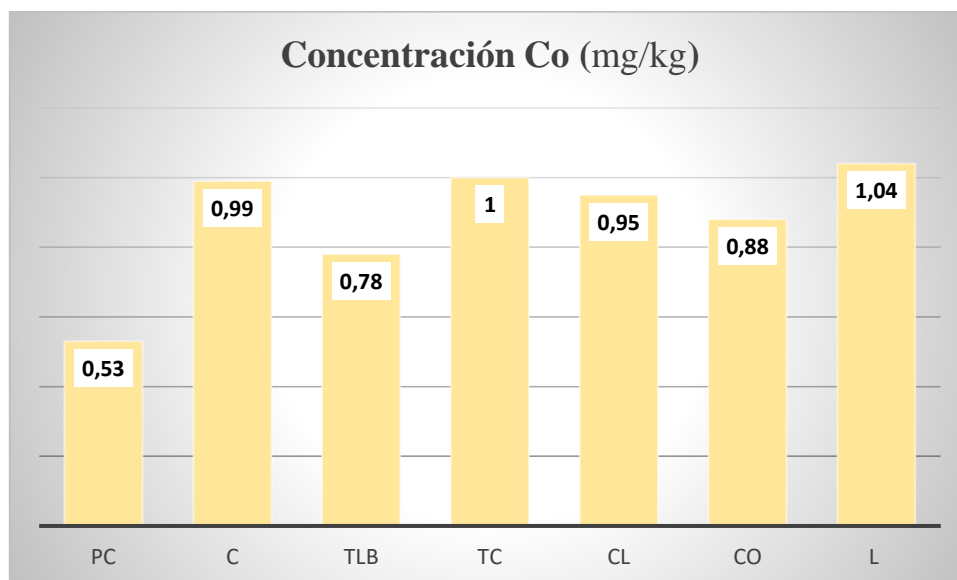
*Nota.* Elaborado por las autoras, 2022.

Los resultados encontrados para el Cu (Tabla 7) nos da un valor promedio de 0.84 mg/kg para el Punto de Control (PC); 1.42 mg/kg Conocoto (C); 1.82 mg/kg Turubamba-La Gran Bretaña (TLB); 1.96 mg/kg Turubamba- Caupicho (TC); 2.05 mg/kg Calderón (CL); 2.25mg/kg La Concepción (CO); 1.42 mg/kg Lloa (L). Que comparados con los máximos permisibles para este metal según el Ministerio del Ambiente de Ontario-Canadá (2012), es de 50 mg/kg para 24 horas, por lo cual no se estaría sobrepasando la normativa y aun la localidad de La Concepción (CO), que registro el valor más alto estaría dentro de los rangos establecidos.

- **Cobalto**

**Figura 29**

*Comparación de Datos de Cobalto Obtenidos en las Diferentes Localidades*



*Nota:* Elaborado por las autoras, 2022.

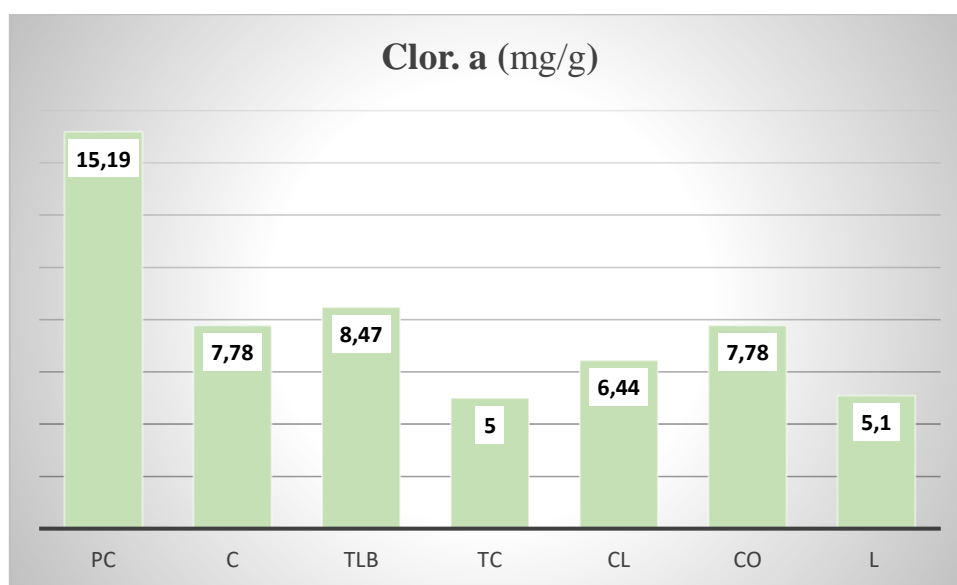
Para el metal Cobalto la Tabla 7 nos da a notar un valor promedio de concentración de 0.53 mg/kg para el punto de control (PC); 0.99 mg/kg Conocoto (C); 0.78 mg/kg Turubamba- La Gran Bretaña (TLB); 1 mg/kg Turubamba- Caupicho (TC); 0.95 mg/kg Calderón (CL); 0.88 mg/kg La Concepción; 1.04 mg/kg Lloa (L). En comparación con el máximo permisible para este metal que es de 0,1 mg/kg para 24 horas según lo referido por el Ministerio del Ambiente de Ontario-Canadá (2012), las concentraciones obtenidas se encuentran cumpliendo la normativa y ninguna sobrepasa la misma.

#### 4.4 Cuantificación de pigmentos en el líquen *P. Austrosinense*.

- Clorofila a

**Figura 30**

*Comparación de Datos de Clor.a Obtenidos en las Diferentes Localidades*



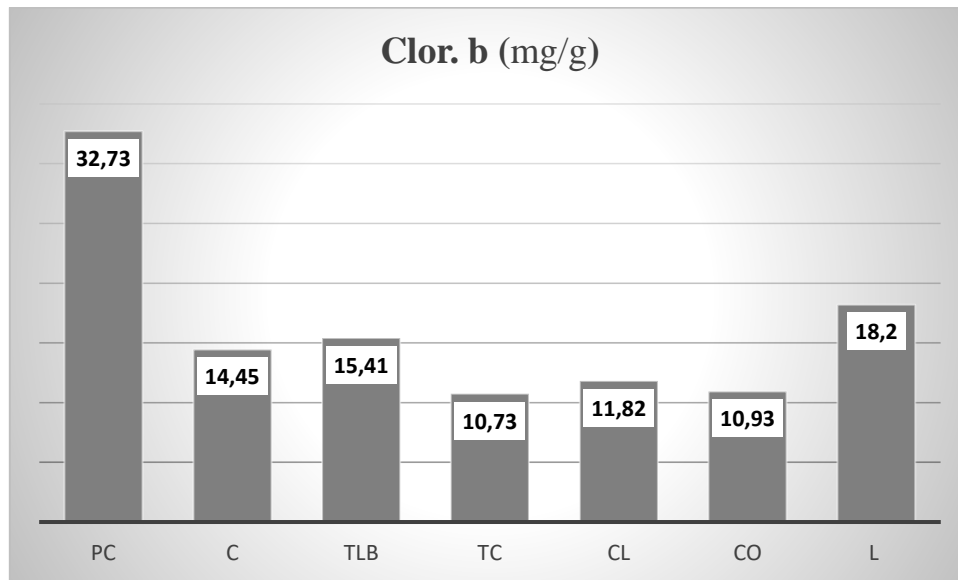
Nota: Elaborado por las autoras, 2022.

Los resultados presentados en la Tabla 14 nos dan un valor promedio de 15.19 mg/g para el punto de control (PC); 7.78 mg/g Conocoto (C); 8.47 mg/g Turubamba- La Gran Bretaña (TLB); 5 mg/g Turubamba- Caupicho (TC); 6.44 mg/g Calderón (CL); 7.78 mg/g La Concepción; 5.1 mg/g Lloa (L).

- **Clorofila b**

**Figura 31**

*Comparación de Datos de Clor.b Obtenidos en las Diferentes Localidades*



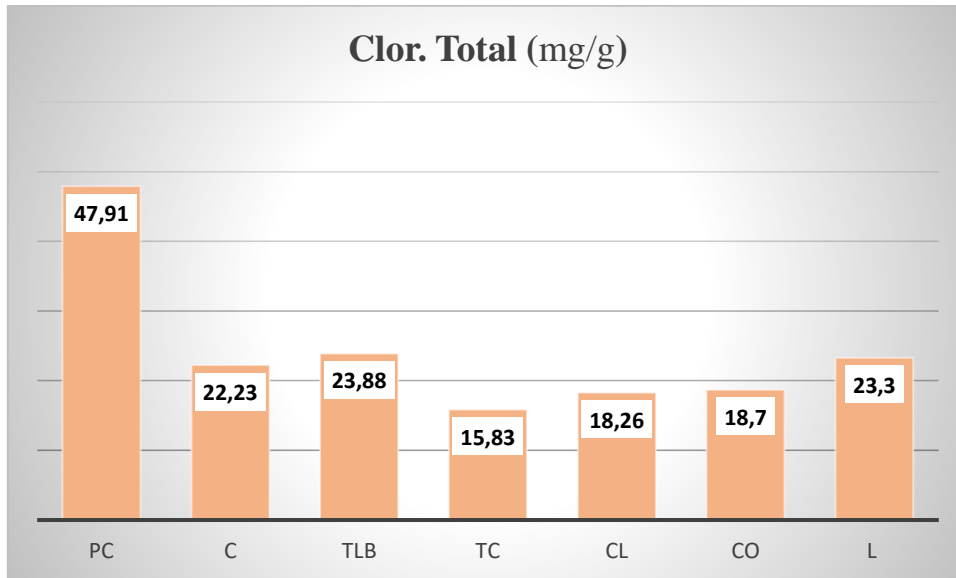
Nota: Elaborado por las autoras, 2021

Para la clorofila b (Tabla 14), los valores son de 32.73 mg/g para el punto de control (PC); 14.45 mg/g Conocoto (C); 15.41 mg/g Turubamba- La Gran Bretaña (TLB); 10.73 mg/g Turubamba- Caupicho (TC); 11.82 mg/g Calderón (CL); 10.93 mg/g La Concepción; 18.2 mg/g Lloa (L).

- **Clorofila Total**

**Figura 32**

*Comparación de Datos de Clor. Total, Obtenidos en las Diferentes Localidades*



Nota: Elaborado por las autoras, 2021

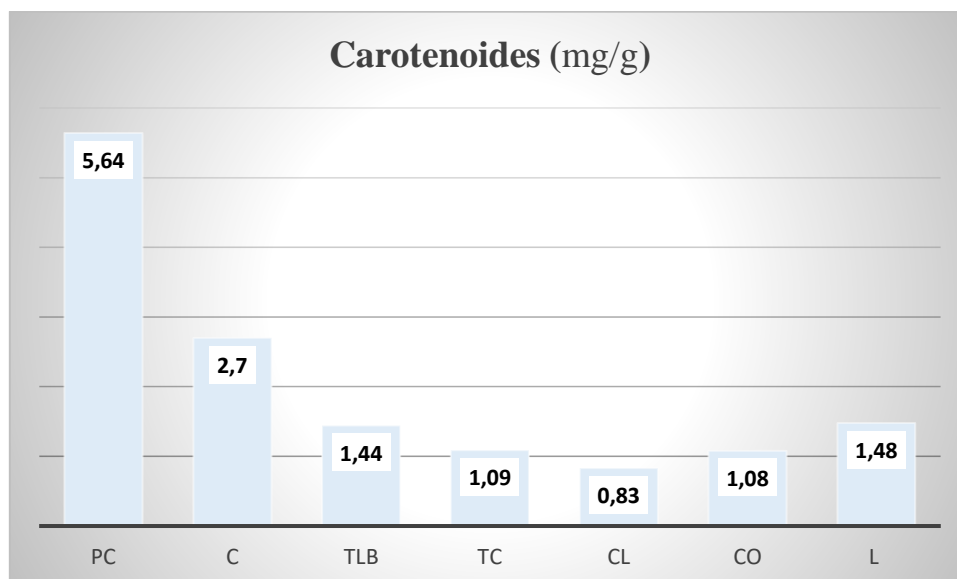
La clorofila total (Tabla 14) por otra parte obtuvo los siguientes valores promedio 47.91 mg/g para el punto de control (PC); 22.23 mg/g Conocoto (C); 23.88 mg/g Turubamba- La Gran Bretaña (TLB); 15.83 mg/g Turubamba- Caupicho (TC); 18.26 mg/g Calderón (CL); 18.7 mg/g La Concepción; 23.3 mg/g Lloa (L).



- **Carotenoides**

**Figura 33**

*Comparación de Datos de Carotenoides Obtenidos en las Diferentes Localidades*



Nota: Elaborado por las autoras, 2021

En cuanto al contenido de carotenoides (Tabla 14), los resultados fueron los siguientes 5.64 mg/g para el punto de control (PC); 2.7 mg/g Conocoto (C); 1.44 mg/g Turubamba- La Gran Bretaña (TLB); 1.09 mg/g Turubamba- Caupicho (TC); 0.83 mg/g Calderón (CL); 1.08 mg/g La Concepción; 1.48 mg/g Lloa (L).

#### **4.5 Análisis de cuantificación de metales pesados entre localidades**

Los niveles de concentración de metales pesados Pb, Cu, Co en las muestras transplantadas a las diferentes localidades fueron superiores a la muestra control, resultado esperado ya que el punto de control fue establecido en un zona considerada libre de contaminación antropogénica, el metal que se encontró en mayor concentración fue el plomo siendo superior al resto, en la localidad de Caupicho, barrio ubicado al sur del DMQ que cuenta con una densidad poblacional alta y gran cantidad de afluencia vehicular y comercial, lo cual sería un indicador de que la contaminación por plomo presente en

esta zona podría provenir de estas fuentes de emisión (El Rhzaoui et al., 2015), las bajas concentraciones de este metal obtenidas en Conocoto y Lloa ratificarían también estas aseveraciones, ya que Conocoto representa una zona considerada residencial en su mayoría con amplios espacios verdes al igual que Lloa que cuenta con abundante vegetación y con tráfico vehicular moderado a bajo.

Los otros dos metales analizados Cu, Co, al igual que el plomo también estuvieron presentes en todas las localidades, aunque en concentraciones inferiores al metal plomo, el Cu y Co son metales que también tendrían una fuente de origen vehicular según lo sugerido El Rhzaoui et al. (2015). Sin embargo, el metal Cobalto obtuvo su valor más alto en Lloa, lo cual nos indica que este hecho podría deberse a fuentes naturales al ser Lloa un sector turístico con abundante vegetación y fuentes termales.

#### **4.6 Análisis de cuantificación de pigmentos entre localidades**

Los valores obtenidos para clorofilas y carotenoides también señalarían a la localidad de Caupicho como un sitio con deficiente calidad del aire, ya que hubo una disminución bastante significativa de pigmentos en este lugar con respecto al punto control y a las demás localidades y tal como lo establece Puckett et al. (1972), la degradación de clorofilas y carotenoides en líquenes es un claro ejemplo del daño que sufren estos organismos al estar expuestos a contaminantes atmosféricos.

Los bajos valores de Clor.a en el barrio de Caupicho denotan sensibilidad de este parámetro a la polución atmosférica presente en este sector (Ocampo et al., 2008), sin embargo, el valor similar obtenido en Lloa puede indicarnos que esta variable es influenciada de igual manera por condiciones ambientales radiación, temperatura, humedad, etc.

La degradación de la clorofila b por otra parte estaría asociada con la oxidación lipídica de la membrana de los líquenes al estar expuestos a contaminantes atmosféricos

(Garty, 2001). Y tal como puede observarse en las tablas de resultados estos valores también fueron bajos para Caupicho.

La Clor. Total, al igual que los carotenoides presentaron variaciones de concentración entre todas las muestras transplantadas a las áreas urbanas en relación al sitio de recolección de líquenes.







#### 4.7 Nivel de contaminación por metales pesados en las localidades.

A continuación, se muestran los resultados correspondientes al nivel de contaminación por metales pesados Pb, Cu, Co, de acuerdo al grado de concentración de los mismos en las localidades estudiadas.

- **Plomo**

**Tabla 23**

*Nivel de Contaminación por Plomo de Acuerdo a la Concentración del Mismo en las Diferentes Localidades.*

<b>Localidad</b>	<b>Concentración Pb (mg/kg)</b>  (La media de los tres puntos muestreados en cada localidad)	<b>Nivel de contaminación</b>	<b>Color asignado</b>
Turubamba (Caupicho)	29.89	Peligrosa	
Calderón	25.44	Muy mala	
Turubamba (La Gran Bretaña)	25.2	Mala	
La Concepción	21.89	Regular	
Conocoto	14.6	Moderada	
Lloa	13.22	Favorable	

*Nota.* Elaborado por las Autoras, 2022.







La Tabla (23), antes expuesta señala a la localidad de Turubamba- Caupicho con un nivel de contaminación peligrosa y se le asigna el color rojo debido a que la media de los tres puntos muestreados en este sector arrojan un valor de 29,89 mg/kg, concentración significativamente alta en relación al Cu y al Co, que también fueron estudiados en esta investigación, y relativamente superior a las localidades de Calderón, La Gran Bretaña y la Concepción que en ese orden obtuvieron un nivel de contaminación muy malo , malo, regular, tomando en cuenta que todas estas zonas están influenciadas por gran movimiento vehicular y comercial, podríamos decir que los resultados son los esperados para este metal.

Conocoto y Lloa por otra parte obtuvieron los valores más bajos en este análisis de plomo con un nivel de contaminación moderado y favorable.

- **Cobre**

**Tabla 24**

*Nivel de Contaminación por Cobre de Acuerdo a la Concentración del Mismo en las Diferentes Localidades*

<b>Localidad</b>	<b>Concentración Cu (mg/kg)</b> (La media de los tres puntos muestreados en cada localidad)	<b>Nivel de contaminación</b>	<b>Color asignado</b>
La Concepción	2.25	Peligrosa	
Calderón	2.05	Muy mala	
Turubamba (Caupicho)	1.96	Mala	
Turubamba (La Gran Bretaña)	1.82	Regular	
Conocoto	1.42	Moderada	
Lloa	1.42	Favorable	







*Nota.* Elaborado por las Autoras, 2022.

El metal Cu presento valores de concentración muy inferiores al plomo con una máxima de 2.25 mg/kg reportado en La Concepción calificándose como un nivel de contaminación peligrosa para este metal en esta localidad le siguen muy de cerca Calderón, Caupicho, La gran Bretaña, con un nivel de contaminación muy malo, malo, regular respectivamente, como podemos notar el grupo problema en la contaminación por plomo vuelve a ser el mismo que presenta los valores más altos de contaminación por Cu, lo cual es de entenderse ya que el Cu también es un metal que está presente en sectores con una alta polución atmosférica, Conocoto y Lloa obtuvieron una vez más la concentración más baja con un nivel de contaminación moderada y favorable.

- **Cobalto**

**Tabla 25**

*Nivel de Contaminación por Cobalto de Acuerdo a la Concentración del Mismo en las Diferentes Localidades*

<b>Localidad</b>	<b>Concentración Co (mg/kg)</b>  (La media de los tres puntos muestreados en cada localidad)	<b>Nivel de contaminación</b>	<b>Color asignado</b>
Lloa	1.04	Peligrosa	
Turubamba (Caupicho)	1	Muy mala	
Conocoto	0.99	Mala	
Calderón	0.95	Regular	
La Concepción	0.88	Moderada	
Turubamba (La Gran Bretaña)	0.78	Favorable	

*Nota.* Elaborado por las Autoras, 2022.

Para el caso del metal Cobalto si hubo un giro bastante inesperado ya que Lloa presento la concentración más alta de 1.04mg/kg, calificándose como nivel de contaminación peligrosa para el Co en esta localidad, seguido estuvo Caupicho, Conocoto, Calderón reportando el valor más bajo en La Concepción y La Gran Bretaña, lo que hace suponer que la concentración obtenida en Lloa para el cobalto no solo tendría una fuente de contaminación antropogénica, si no que esta estaría además ligada a otra fuente de emisión de este contaminante al aire, que se cree es de origen natural lo más probable ya que Lloa es un lugar turístico rodeado de vegetación, fuentes termales entre otros atractivos.

#### 4.8 Evaluación del tráfico vehicular e industrias en las localidades.

En la tabla 25 se muestra el resultado del número de vehículos que transitan por los puntos de muestreo en una hora, en un horario pico (nueve una y seis de la tarde), así como también en esta misma tabla se presentan los resultados correspondientes al número de industrias que rodean el sector.

**Tabla 26**

*Contabilización del Tráfico Vehicular e Industrias de las Diferentes Localidades*

<b>Puntos de muestreo</b>	<b># de vehículos</b> (conteo visual durante una hora en horario pico)	<b># de industrias</b> (observación presencial de los alrededores que rodean cada zona)
C1	79	No hay industrias cercanas
C2	119	No hay industrias cercanas
C3	421	Mecánica, lavadora de carros
TLB1	502	No hay industrias cercanas
TLB2	496	Café minerva, plásticos Vikingos
TLB3	700	Café minerva, plásticos Vikingos
TC1	750	Mecánica
TC2	870	No hay industrias cercanas
TC3	1200	Vulcanizadora, gasolinera, abundancia de negocios pequeños
CL1	634	Gasolinera
CL2	800	Fábrica de mangueras, lavadora de carros, vulcanizadora
CL3	394	Gasolinera, mecánica

<b>Puntos de muestreo</b>	<b># de vehículos (conteo visual durante una hora en horario pico)</b>	<b># de industrias (observación presencial de los alrededores que rodean cada zona)</b>
CO1	926	No hay industrias cercanas
CO2	1116	Negocios pequeños
CO3	653	No hay industrias cercanas
L1	79	No hay industrias cercanas
L2	91	No hay industrias cercanas
L3	106	No hay industrias cercanas

*Nota.* Elaborado por las Autoras, 2022.

Los resultados de la tabla 26 nos dan a notar que existe una mayor afluencia vehicular y comercial en las localidades de Caupicho, Calderón, La Gran Bretaña y La Concepción, este grupo obtuvo además niveles de contaminación poco favorables en los resultados de concentración de metales pesados antes expuestos, así como también hubo una disminución significativa del contenido de clorofilas y carotenoides en las muestras líquénicas implantadas en estos sitios.

#### **4.9 Análisis de factibilidad económica del uso del líquen *Parmotrema austrosinense (Zahlbr.hale)*, como bioindicador de la contaminación atmosférica.**

El líquen *P. Austrosinense* demostró ser factible económicamente de ser utilizado para evaluar la calidad del aire sin incurrir en gastos exacerbados, ya que el rubro económico que implicó esta investigación así lo sugiere al ser comparado con el costo que conlleva adquirir un equipo automatizado para medir la contaminación atmosférica el mismo que asciende a valores altos que varían de acuerdo a los distintos proveedores.



## 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 Conclusiones

- El líquen *P. Austrosinense* acumulo mayor concentración de Pb en la localidad de Turubamba (Caupicho), obteniendo el valor más alto en el punto (TC3) que corresponde a la avenida principal de este sector que cuenta con gran cantidad de afluencia vehicular y de comercio en la zona (contaminación atmosférica alta), lo que nos permite señalar entonces que esta especie si es apta para evaluar la calidad del aire y que puede ser utilizada como un bioindicador de altas concentraciones de este metal en el aire.
- El líquen *P. Austrosinense* denoto presencia de metales pesados Pb, Cu y Co en cantidades superiores a las del punto de control, en todas las localidades muestreadas, siendo superiores las concentraciones de plomo con respecto a los otros metales.
- El líquen *P. Austrosinense* presento daño liquénico al estar expuesto a las condiciones ambientales de las diferentes localidades, este daño se reflejó en una disminución significativa de clorofilas y carotenoides con respecto al punto de control.
- El área más contaminada en la presente investigación corresponde a la localidad de Turubamba (Caupicho), ya que obtuvo los valores más significativos de concentración de metales pesados (metal Plomo).

### 5.2 Recomendaciones

- Para el estudio de determinadas sustancias marcadoras de estrés por contaminación en líquenes es indispensable indagar la disponibilidad en el país de reactivos necesarios que involucran este tipo de investigaciones que aún no han sido estudiadas en el lugar de origen y residencia del investigador.

- Realizar más investigaciones que utilicen esta especie de líquen en periodos de muestreo más cortos para demostrar que tan óptimo es su nivel de captación de contaminantes en lapsos de tiempo reducidos.

## 6 REFERENCIAS

- Acurio, L. (2014). *Proceso para la obtencion de bronce fosforico en el taller de fundicion de la facultad de mecanica de la escuela superior politecnica de Chimborazo y sus aplicaciones en la industria*. Escuela Superior Politecnica de Chimborazo.
- Álvarez, B., & Boso, Á. (2018). Representaciones sociales de la contaminación del aire y las estufas de leña en diferentes niveles socioeconómicos de la ciudad de temuco, Chile. *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*, 34(3), 527–540. <https://doi.org/10.20937/RICA.2018.34.03.14>
- Anze, R., Franken, M., Zaballa, M., Pinto, M. R., Zeballos, G., Cuadros, M. D. L. Á., Canseco, Á., Rocha, A. De, Estellano, V. H., & Granado, S. Del. (2007). Bioindicadores en la detección de la contaminación atmosférica en Bolivia. In *Revista Virtual REDESMA* (pp. 53–74).
- Barreiro, I. (2014). *Contaminacion Atmosferica E Impacto En La Salud De Habitantes De La Via Manta-Rocafuerte, Debido a Concentraciones De Mp 10, Periodo Enero 2012 - Junio 2013* [Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabi]. <https://repositorio.ulead.edu.ec/bitstream/123456789/1387/1/ULEAM-POSG-GA-0011.pdf>
- Barreno, E., & Pérez, S. (2003a). Liqueenes de la Reserva Natural Integral de Munillos. In *Consejería de Medio Ambiente, Ordenación Del Territorio e Infraestructuras del Principio de Asturias KKK Ediciones*.
- Barreno, E., & Pérez, S. (2003b). Los líquenes y el medio. In *Consejería de Medio Ambiente, Ordenación del Territorio e Infraestructura del Principado de Asturias* (Vol. 1, Issue 1, pp. 84–90).
- Barrimi, M., Aalouane, R., Aarab, C., Hafidi, H., Baybay, H., Soughi, M., Tachfouti, N., Nejari, C., Mernissi, F. Z., Rammouz, I., & McKenzie, R. B. (2013). Estudio fitoquímico de liquen *Thamnolia vermicularis* (Sw.) Ach. ex Schaer) presente en la provincia del Azuay. In *Encephale* (Vol. 53, Issue 1, pp. 59–65).
- Bustamante, A., Gusmán, E., & Benitez, A. (2018). Primeros registros de los géneros *Phyllopetula* y *Reimnitzia* (líquenes epífitos) para el Ecuador. *Gayana. Botánica*, 75(1), 535–538. <https://doi.org/10.4067/s0717-66432018000100535>
- Calles, J. A. (2007). Bioindicadores terrestres y acuáticos para las microcuencas de los ríos Illangama y Alumbre, provincia Bolívar. In *EcoCiencia: Vol. 6 y 12y* (Issue 235, p. 245).
- Campos Herrera, M. de los A., Lücking, R., Pérez, R. E., Miranda González, R., Sánchez, N., Barcenás Peña, A., Carrizosa, A., Zambrano, A., Ryan, B. D., & Nash, T. H. (2014). Biodiversity of lichens in Mexico. In *Revista Mexicana de Biodiversidad* (Vol. 85, Issue SUPPL., pp. 82–99). <https://doi.org/10.7550/rmb.37003>
- Cañas, M. ., & Pignata, M. L. (2003). *Efecto de Contaminantes Atmosféricos Urbano-Industriales sobre el liquen Parmotrema Austrosinense ( Zahlbr .)Hale* (Vol. 1, pp. 87–99).
- Cango Paccha, G. P. (2015). *Briofitos y liques epífitos como organismos bioindicadores de la calidad del aire de a ciudad de Loja*. Universidad Tecnica Particular de Loja.

- Cañizares, R. (2000). Biosorción de metales pesados mediante el uso de biomasa microbiana. *Revista Latinoamericana de Microbiología*, 42(3), 131–143.
- Cubas, P. (2008). Algas eucariotas. In *Aulados* (pp. 3–8).
- Cuesta, F., Bustamante, M., Maldonado, G., Devenish, C., Becerra, M. T., & Quiñonez, L. (2012). *Indicadores Para Evaluar Y Monitorear El Estado De La Biodiversidad En Los Andes Tropicales En El Contexto De Cambio Climático: Propuesta Metodológica Para Los Países De La Comunidad Andina* (p. 39).
- Cueva, A. (n.d.). La atmósfera, sus capas y propiedades. In *Dirección de Educación Media Superior* (p. 6). [https://www.uaeh.edu.mx/division\\_academica/educacion-media/repositorio/2019/3-semester/diversidad-espacio-terrestre/docs/la-atmosfera-capas-propiedades.pdf](https://www.uaeh.edu.mx/division_academica/educacion-media/repositorio/2019/3-semester/diversidad-espacio-terrestre/docs/la-atmosfera-capas-propiedades.pdf)
- Dirección General de Salud Ambiental de México. (1994). *NORMA Oficial Mexicana NOM-026-SSA1-1993, SALUD ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto a (Pb). Valor normado para la concentración de (Pb) en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población.*
- Dorado, A. (2010). ¿Qué es la biodiversidad?. Una publicación para entender su importancia, su valor, y los beneficios que nos aporta. In *Fundación Biodiversidad* (Vol. 1, p. 84).
- El Rhzaoui, G., Divakar, P., Crespo, A., & Tahiri, H. (2015). Biomonitoring of air pollutants by using lichens (*Evernia prunastri*) in areas between Kenitra and Mohammedia cities in Morocco. In *Lazaroa* (Vol. 36, Issue 0, pp. 21–30). [https://doi.org/10.5209/rev\\_laza.2015.v36.49486](https://doi.org/10.5209/rev_laza.2015.v36.49486)
- GAD Parroquial de Conocoto. (2016). *Actualización Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial - GAD Parroquial de Conocoto - D.M.Q.* (p. 217).
- Galarza, P. E. (2019). Determinación de la calidad de aire mediante el uso de líquenes en la ciudad de Cuenca. In *Facultad de Ciencias Químicas Carrera de Ingeniería Ambiental* (p. 74).
- Gamiño, Z., Gomez, F., Sánchez, L., Fuentez, R., & Contreras, D. (2019). “El cobalto el metal del siglo XXI.” In *Naturaleza y Tecnología* (pp. 26–31).
- García, M., Ramírez, H., Ulloa, H., Arias, S., & Pérez, A. (2012). *Las inversiones térmicas y la contaminación atmosférica en la zona metropolitana de Guadalajara (México)*.
- Garty, J. (2001). Biomonitoring Atmospheric Heavy Metals with Lichens: Theory and Application. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 20(4), 64. [https://doi.org/10.1016/s0735-2689\(01\)80040-x](https://doi.org/10.1016/s0735-2689(01)80040-x)
- GBITH. (2021). *Parmotrema austrosinense* (Zahlbr.) Hale. In *Infraestructura Mundial de Información en Biodiversidad*.
- González, A. (2018). *Evaluación De La Capacidad Bioacumuladora De Contaminantes En Líquenes, Utilizados En El Monitoreo De La Calidad Del Aire De La Parroquia San Carlos, Canton La Joya De Los Sachas, Provincia De Orellana* [Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/10244/1/236T0381.pdf>

- González, A. (2015). *Evaluación de la capacidad bioacumuladora de contaminantes en líquenes, utilizados en el monitoreo de la calidad del aire de la parroquia San Carlos, cantón La Joya de los Sachas, provincia de Orellana.*
- González, D. (2014). Bioindicadores como aliados en el monitoreo de condiciones ambientales. In *Cegesti* (Issue 252, pp. 1–4).
- Hawksworth, D. L., Iturriaga, T., & Crespo, A. (2005). Lichens as rapid bioindicators of pollution and habitat disturbance in the tropics. In *Revista Iberoamericana de Micología* (Vol. 22, Issue 2, pp. 71–82). [https://doi.org/10.1016/s1130-1406\(05\)70013-9](https://doi.org/10.1016/s1130-1406(05)70013-9)
- Herrera, J., & Rodríguez, S. (2010). Validación de un método de análisis para la determinación de metales pesados en partículas pM10 colectadas en aire ambiente. *Tecnología En Marcha*, 23(3), 33–46. <https://www.medigraphic.com/pdfs/lamico/mi-2000/mi003f.pdf?q=metales>
- Herrera, M. de los Á., & Lücking, R. (2016). *Líquenes. January 2009.*
- Jaramillo, M., & Botero, L. (2010). Comunidades liquénicas como bioindicadores de calidad del aire del valle de Aburrá. In *Gestión y Ambiente* (Vol. 13, p. 15). <https://www.redalyc.org/pdf/1694/169419998008.pdf>
- Lichtenthaler, H. (1987). Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. In *Methods in Enzymology* (Issue August).
- Londoño, L., Londoño Muñoz, P., & Muñoz Garcia, F. G. (2016). *Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal* (Vol. 14, Issue 2, pp. 145–153). [https://doi.org/10.18684/BSAA\(14\)145-153](https://doi.org/10.18684/BSAA(14)145-153)
- Maldonado, M. (2012). *Caracterización del material particulado PM10 de la red de monitoreo de aire de la ciudad de Quito de los años 2009 y 2010 por espectrofotometría de absorción atómica.* Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Margulis, L. (1993). *Biología de los líquenes.*
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible Bogotá- Colombia. (2017). 2. *Resolución 2254 de 2017 - Niveles Calidad del Aire.-2.pdf* (p. 11). 01 noviembre del 2017.
- Ministerio del Ambiente de Ontario- Canada. (2012). *IF\_252-2015-OEFA-DE-SDCA-2.pdf* (p. 33).
- Municipio DMQ. (2011). *Ordenanza Metropolitana 171* (p. 230). q.
- Noriega, P., Medici, A., Murillo, A., Bedón, J., Haro, F., & Galecio, G. (2008). Estudio de la concentración de cadmio y plomo en el aire de la ciudad de Quito, empleando briofitas como biomonitores. *La Granja*, 8(2), 17. <https://doi.org/10.17163/lgr.n8.2008.03>
- Ocampo, A., Hernandez, J., Alvarez, V., Coronel, R., Acosta, W., Moyano, R., & Cañas, M. (2008). *Contenido de pigmentos fotosintéticos en el líquen Parmotrema austrosinense trasplantado a la ciudad Capital y el área de colección (Los Varela, Ambato) en Catamarca, Argentina.*
- Ochoa, D., Prieto, A., Aragon, G., & Benitez, A. (2015). Cambios en la composición de líquenes epífitos relacionados con la calidad del aire en la ciudad de Loja (Ecuador).

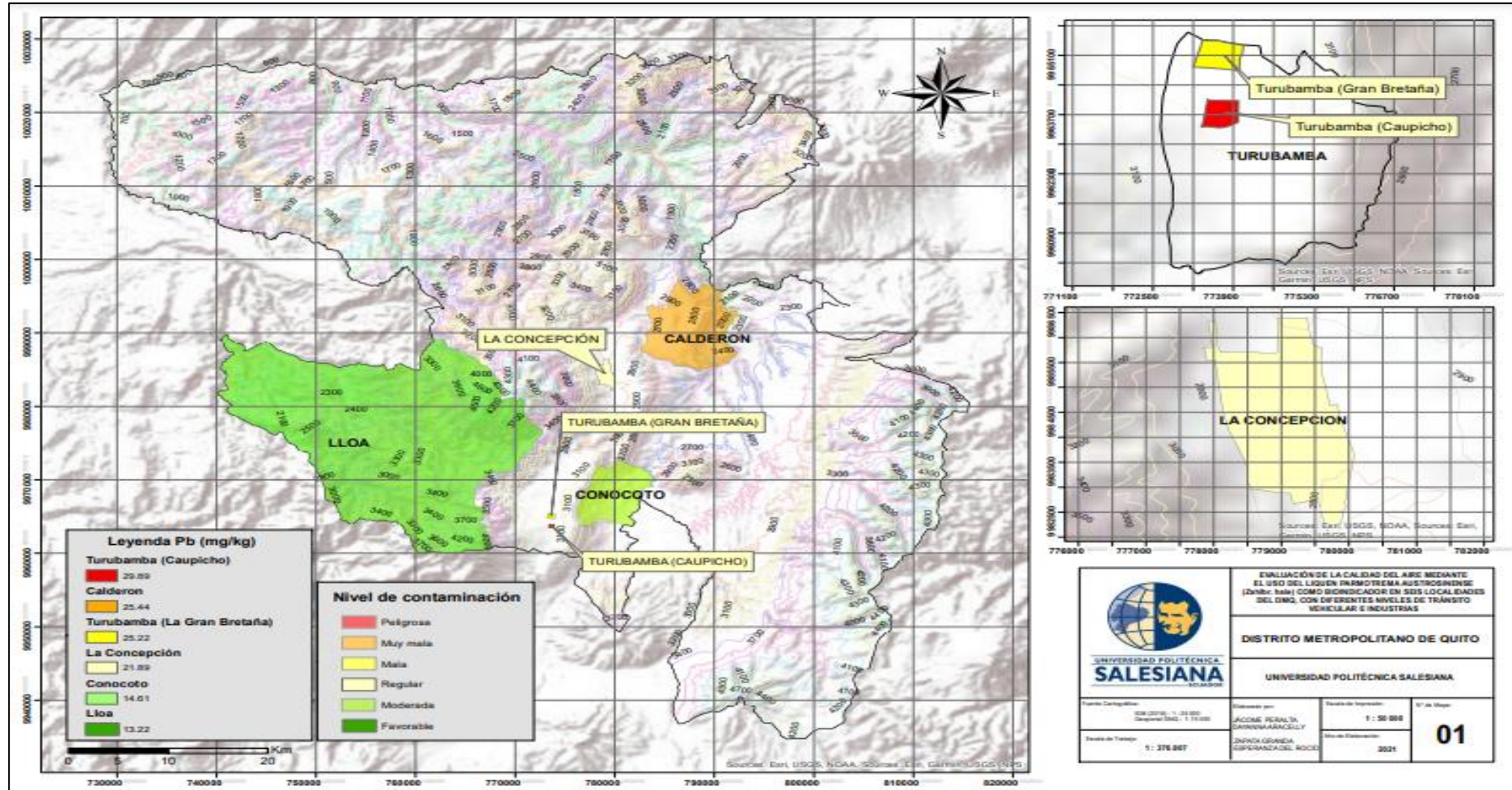
In *Caldasia* (Vol. 37, Issue 2, pp. 333–343).  
<https://doi.org/10.15446/caldasia.v37n2.53867>

- Organizacion Panamericana de la Salud. (2000). *Impacto de los Desastres en la Salud Publica* (E. K. Noji (ed.); Division d).
- Ortiz, S., & Ortega, A. (2014). BIOINDICADORES, GUARDIANES DE NUESTRO FUTURO AMBIENTAL. *Bioindicadores: Guardianes de Nuestro Futuro Ambiental*, 173–192.
- Pardo Gonzales, A. (2017). *Líquenes como bioindicadores de la calidad del aire*. Universidad Complutense.
- Puckett, K. J., Nieboer, E., Flora, W. P., & Richardson, D. H. (1972). *SULPHUR DIOXIDE: ITS EFFECT ON PHOTOSYNTHETIC FIXATION IN LICHENS AND SUGGESTED MECHANISMS OF PHYTOTOXICITY*.
- Puentestar, W. (2015). *La problematica ambiental y el deterioro de los recursos naturales en el Ecuador, una perspectiva desde la geografia*. Pontificia Universidad Catolica del Ecuador.
- Puerto, A., & Garcia, J. (1986). *La contaminación atmosférica* (p. 58). [https://digital.csic.es/bitstream/10261/35579/1/La contaminación atmosférica.pdf](https://digital.csic.es/bitstream/10261/35579/1/La%20contaminaci%C3%B3n%20atmosf%C3%A9rica.pdf)
- Quiroga, R. (2007). Indicadores ambientales y de desarrollo sostenible: avances y perspectivas para América Latina y el Caribe. In *Publicación de las Naciones Unidas* (p. 227).
- Remache, A. (2013). *Validacion de metodos para el analisis de metales en diferentes matrices por espectrofotometria de absorcion atomica*. Universidad Central del Ecuador.
- Rocabado, D. (2011). Los Hongos • Antecedentes • Diversidad de hongos en Bolivia • Aspectos benéficos • Aspectos perjudiciales • Glosario. In *Diana Rocabado* (Vol. 62, Issue January 2011, pp. 1–20).
- Rodriguez, M. (2015). *Contaminación atmosférica y justicia ambiental en Quito*. Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales Sede Ecuador.
- San Matías, M. (2003). *Líquenes*.
- Secretaria de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial Gobierno del Estado de Jalisco. (n.d.). *Inversión térmica* (p. 3).
- Segura, S. (2013a). “*CARACTERIZACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA EN SEIS PARQUES RECREACIONALES DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO MEDIANTE EL USO DE BIOINDICADORES*.” Universidad Central del Ecuador.
- Segura, S. (2013b). Caracterizacion de la contaminacion atmosferica en seis parques recreacionales del distrito metropolitano de Quito mediante el uso de bionindicadores. In *Gospodarka Materialowa i Logistyka* (Issue 4). Universidad Central del Ecuador.
- Simba, E., & Zurita, M. (2021). Evaluacion de la presencia de metales pesados en *Solanum Lycopersicum*, *Solanum tubersum*, *Daucus carota*, *Lactuca sativa* mediante espectrofotometria de absorcion atomica, en cuatro mercados de la ciudad de Quito

- [Universidad Politecnica Salesiana]. In Tesis. <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5081/1/UPS-CYT00109.pdf>
- Speedwave MVS-2. (2018). *Application Report Microwave Pressure Digestion Food , Pharma , Cosmetics*. 42.
- Toro, P. (2013). *Determinación de los metales pesados Cobalto, Mercurio y Plomo en la represa Daule Peripa por medio de Espectrómetro de emisión atómica con fuente de Plasma de argón con Acoplamiento Inductivo*. Universidad de Guayaquil.
- Uribe Silano, J. S. (2014). *Liquenes cortícolas de los llanos colombianos* (p. 20).
- Vaillant Flores, D. (2014). Los líquenes, una alternativa para el control de fitopatógenos. In *Fitosanidad*.
- Vallejo, M., Jáuregui-Renaud, K., Hermosillo, A. G., Márquez, M. F., & Cárdenas, M. (2003). Efectos de la contaminación atmosférica en la salud y su importancia en la ciudad de México. *Gaceta Medica de Mexico*, 139(1), 57–63.
- Vasquez, M. (2015). *Estudio de los efectos de la contaminación atmosférica sobre los bioindicadores liquénicos y la degradación de los mismos*. Universidad de las Palmas de Gran Canaria.
- Vásquez, S. (2020). *Determinación de la concentración de metales pesados cadmio y arsénico en hortalizas lechuga (Lactuca sativa) y tomate (Lycopersicon esculentum Mill) de la zona agrícola del sector Machachi* [Universidad Central del Ecuador]. <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/21959/1/T-UCE-0008-CQU-243.pdf>
- Vega, A., & Velez, P. (2011). *Validacion del metodo de determinacion de cobre y zinc por espectrofotometria de absorcion atomica de llama en agua cruda y tratada para el laboratorio de analisis de aguas y alimentos de la universidad tecnologica de Pereira*. Universidad tecnologica de Pereira.
- Villoslada, N. (1994). Hongos liquenícolas de ecuador. In *Anales del Jardín Botánico de Madrid* (Vol. 60, pp. 19–25).
- Vizuite, C. (2015). *Quedaba lejos y no habia nada: sentidos y significados en la organizacion vecinal de Turubamba*. Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales Sede Ecuador.

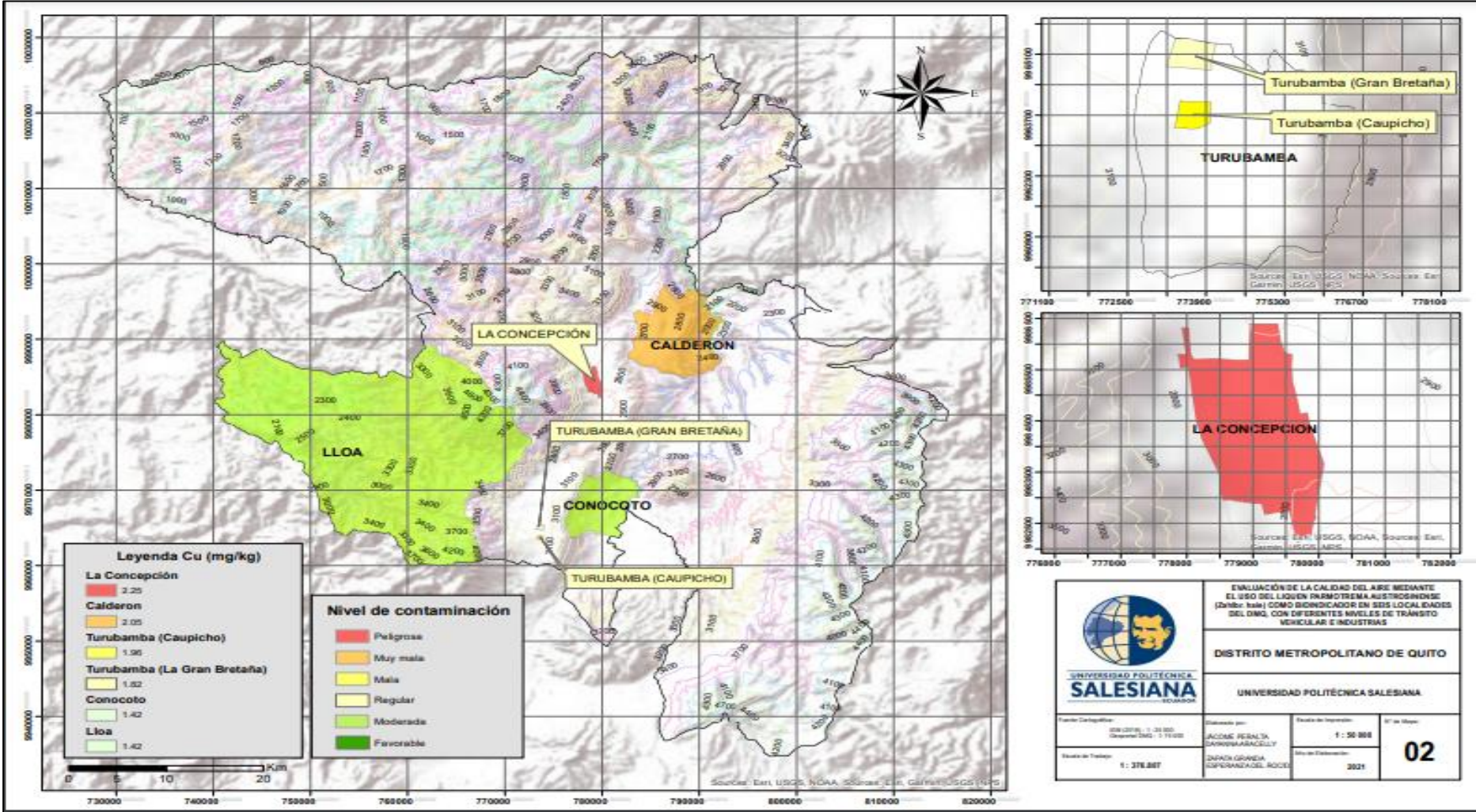
## 7 ANEXOS

Anexo 1. Mapa de concentración de plomo



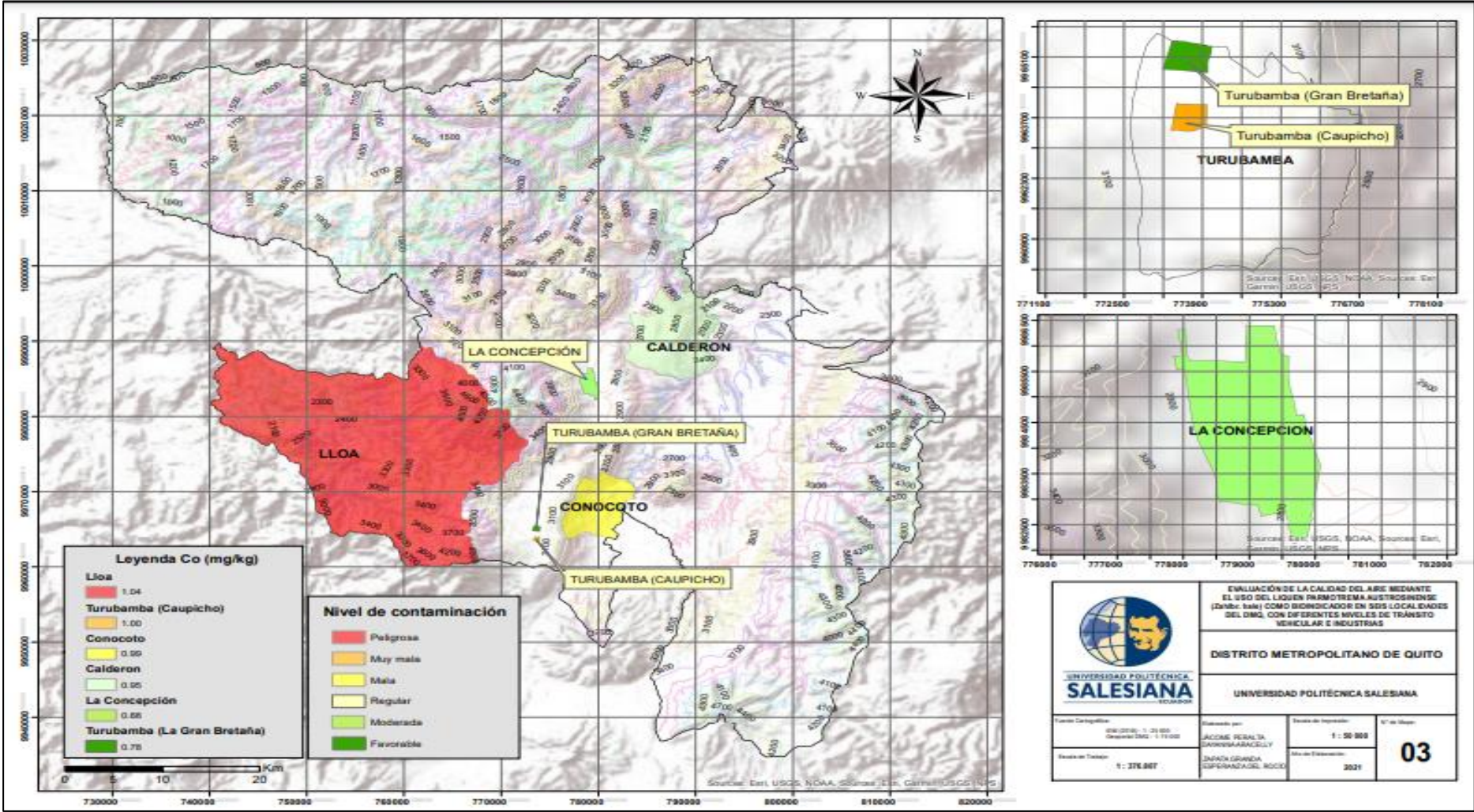


Anexo 2. Mapa de Concentración de cobre





Anexo 3. Mapa de concentración de cobalto



Anexo 4. Registro fotográfico

Zona de recolección de líquenes



**Figura 34:** Sector “La Calera Machachi”  
**Elaborado por:** Autoras, 2022.

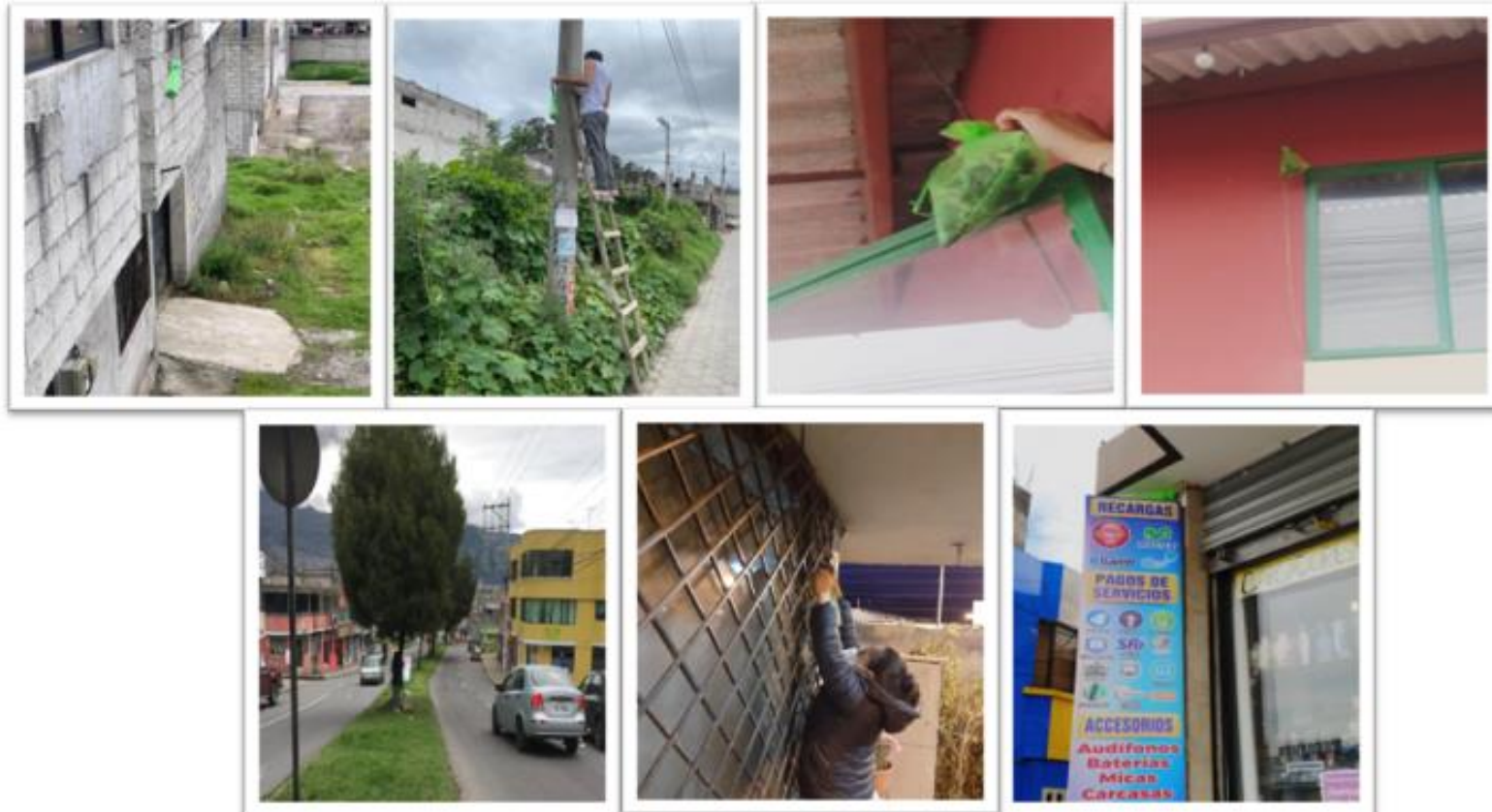


**Colocación de muestras en el punto de control**



**Figura 35:** punto de control "La Calera Machachi"  
**Elaborado por:** Autoras, 2022.

### Trasplante de líquenes en las diferentes localidades



**Figura 36:** puntos de muestreo  
**Elaborado por:** Autoras, 2022.

### Materiales de Laboratorio



**Figura 37:** insumos para análisis de muestras  
**Elaborado por:** Autoras, 2022.

**Fase de laboratorio**



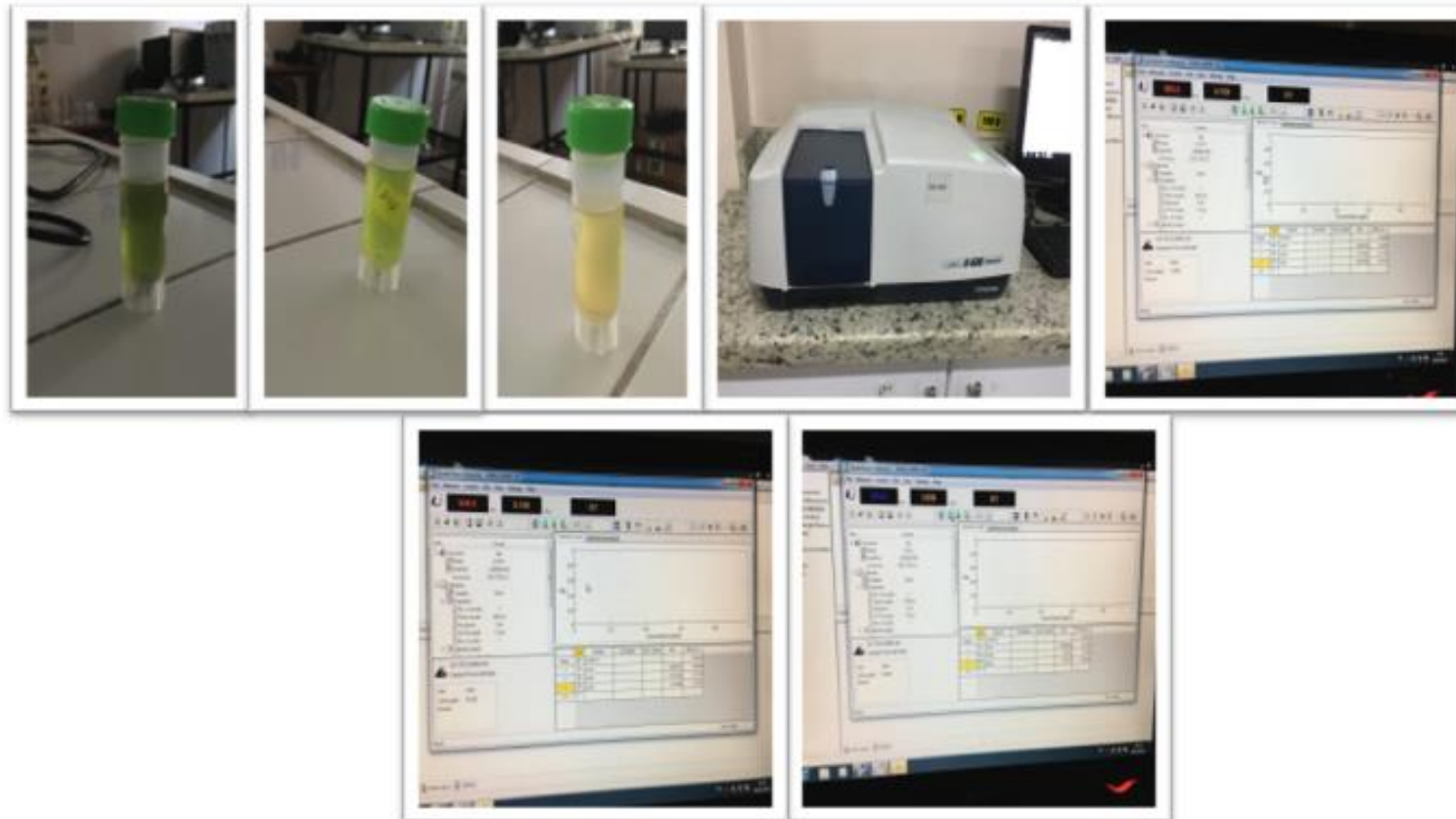
**Figura 38:** secado y refrigeración de muestras  
**Elaborado por:** Autoras, 2022.



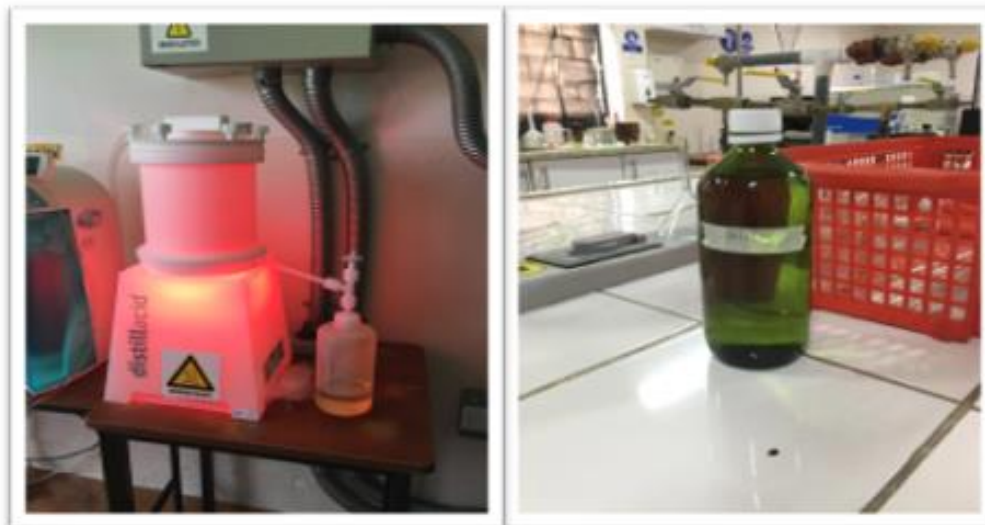


**Figura 39:** extracción de clorofilas y centrifugado de muestras  
**Elaborado por:** Autoras, 2022.

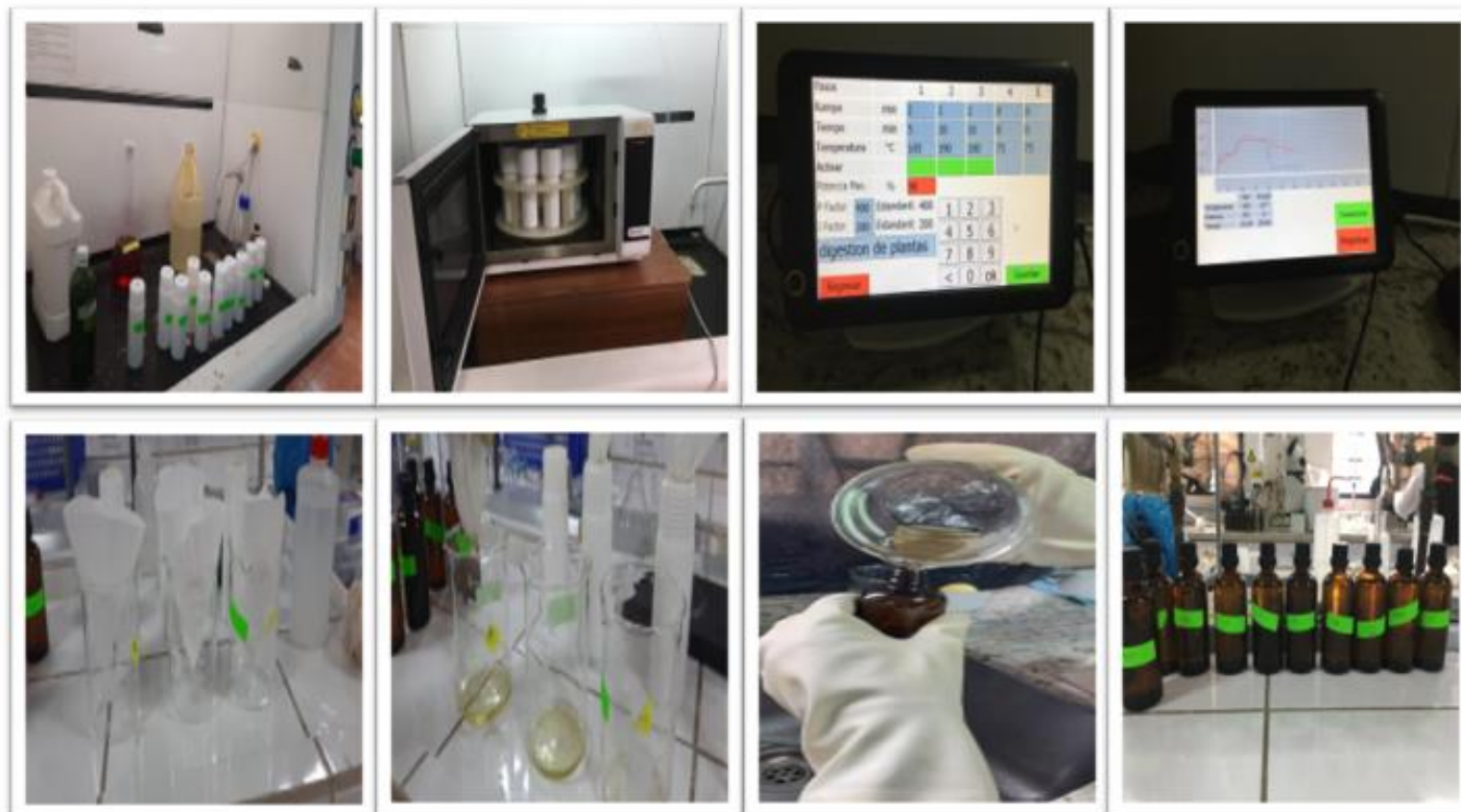




**Figura 40:** análisis de clorofilas y carotenoides  
**Elaborado por:** Autoras, 2022.



**Figura 41:** destilación del ácido nítrico  
**Elaborado por:** Autoras, 2022.



**Figura 42:** digestión de muestras  
**Elaborado por:** Autoras, 2022.



**Figura 43:** análisis de metales pesados  
**Elaborado por:** Autoras, 2022.

**Anexo 5.** Ficha para la recolección de datos en las diferentes localidades

<b>Ficha para la recolección de datos</b>			
<b>Tipo de zona</b>	Urbana	Rural	
<b>Presencia de viviendas</b>	Si	No	
<b>Presencia de fabricas</b>	Si	No	
<b>Presencia de cobertura vegetal</b>	Si	No	
<b>Tráfico vehicular</b>	Alto	Medio	Bajo
<b>Avenidas cercanas</b>	Si	No	

Anexo 6. Resultados prueba estadística ANOVA.

	PC	C	TLB	TC	CL	CO	L			
<b>Pb</b>	3,81	7,31	22,67	27,33	26,67	24,33	7,33			
	4,32	14,2	22,33	29,67	27,33	26,33	13,01			
	4,71	22,31	30,67	32,67	22,33	15,01	19,33			
ANOVA: Single Factor										
DESCRIPTION						Alpha		0,05		
<i>Group</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Mean</i>	<i>Variance</i>	<i>SS</i>	<i>Std Err</i>	<i>Lower</i>	<i>Upper</i>		
PC	3	12,84	4,28	0,2037	0,4074	2,81099	-1,74897	10,30897		
C	3	43,82	14,60667	56,37403	112,748067	2,81099	8,577693	20,63564		
TLB	3	75,67	25,22333	22,27853	44,5570667	2,81099	19,19436	31,25231		
TC	3	89,67	29,89	7,1652	14,3304	2,81099	23,86103	35,91897		
CL	3	76,33	25,44333	7,378533	14,7570667	2,81099	19,41436	31,47231		
CO	3	65,67	21,89	36,5008	73,0016	2,81099	15,86103	27,91897		
L	3	39,67	13,22333	36,03413	72,0682667	2,81099	7,19436	19,25231		
ANOVA										
<i>Sources</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P value</i>	<i>Eta-sq</i>	<i>FIMSE</i>	<i>Omega Sq</i>		
Between Groups	1428,582	6	238,0971	10,04417	0,00021252	0,811486	1,82977	0,720986		
Within Groups	331,8699	14	23,70499							
Total	1760,452	20	88,02261							

	PC	C	TLB	TC	CL	CO	L												
<b>Cu</b>	0,69	1,17	1,68	1,71	2,32	1,38	1,86												
	0,71	1,32	1,46	2,04	1,85	2,05	1,15												
	1,12	1,77	2,31	2,13	1,97	3,33	1,25												
ANOVA: Single Factor																			
DESCRIPTION										Alpha		0,05							
	<i>Group</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Mean</i>	<i>Variance</i>	<i>SS</i>	<i>Std Err</i>	<i>Lower</i>	<i>Upper</i>										
	PC	3	2,52	0,84	0,0589	0,1178	0,275067	0,25004	1,42996										
	C	3	4,26	1,42	0,0975	0,195	0,275067	0,83004	2,00996										
	TLB	3	5,45	1,816667	0,194633	0,38926667	0,275067	1,226706	2,406627										
	TC	3	5,88	1,96	0,0489	0,0978	0,275067	1,37004	2,54996										
	CL	3	6,14	2,046667	0,059633	0,11926667	0,275067	1,456706	2,636627										
	CO	3	6,76	2,253333	0,981633	1,96326667	0,275067	1,663373	2,843294										
	L	3	4,26	1,42	0,1477	0,2954	0,275067	0,83004	2,00996										
ANOVA																			
	<i>Sources</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P value</i>	<i>Eta-sq</i>	<i>RMSSE</i>	<i>Omega Sq</i>										
	Between	4,203095	6	0,700516	3,086167	0,03857397	0,569456	1,01426	0,373452										
	Within Groups	3,1778	14	0,226986															
	Total	7,380895	20	0,369045															

	PC	C	TLB	TC	CL	CO	L	
<b>Co</b>	0,36	0,79	0,76	0,81	0,97	1,05	1,02	
	0,57	1,01	0,69	0,98	1,13	0,68	1,34	
	0,66	1,17	0,88	1,22	0,76	0,91	0,75	
ANOVA: Single Factor								
DESCRIPTION	Alpha						0,05	
<i>Group</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Mean</i>	<i>Variance</i>	<i>SS</i>	<i>Std.Err</i>	<i>Lower</i>	<i>Upper</i>
PC	3	1,59	0,53	0,0237	0,0474	0,113039	0,287556	0,772444
C	3	2,97	0,99	0,0364	0,0728	0,113039	0,747556	1,232444
TLB	3	2,33	0,776667	0,009233	0,01846667	0,113039	0,534222	1,019111
TC	3	3,01	1,003333	0,042433	0,08486667	0,113039	0,760889	1,245778
CL	3	2,86	0,953333	0,034433	0,06886667	0,113039	0,710889	1,195778
CO	3	2,64	0,88	0,0349	0,0698	0,113039	0,637556	1,122444
L	3	3,11	1,036667	0,087233	0,17446667	0,113039	0,794222	1,279111
ANOVA								
<i>Sources</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Pvalue</i>	<i>Eta-sq</i>	<i>FIMSE</i>	<i>Omega Sq</i>
Between Groups	0,57119	6	0,095198	2,483437	0,07544151	0,515581	0,909842	0,297673
Within Groups	0,536667	14	0,038333					
Total	1,107857	20	0,055393					



	PC	C	TLB	TC	CL	CO	L		
<b>Clor. A</b>	17,29	10,82	8,45	6,13	6,44	4,91	4,69		
	14,38	7,52	10,82	5,35	3,79	7,79	4,6		
	13,89	4,99	6,13	3,83	9,08	10,64	6,01		
ANOVA: Single Factor									
DESCRIPTION									
							Alpha	0,05	
<i>Group</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Mean</i>	<i>Variance</i>	<i>SS</i>	<i>Std Err</i>	<i>Lower</i>	<i>Upper</i>	
PC	3	45,56	15,18667	3,378033	6,756067	1,283957	12,43285	17,94048	
C	3	23,33	7,776667	8,546633	17,09327	1,283957	5,022852	10,53048	
TLB	3	25,4	8,466667	5,499233	10,99847	1,283957	5,712852	11,22048	
TC	3	15,31	5,103333	1,368133	2,736267	1,283957	2,349519	7,857148	
CL	3	19,31	6,436667	6,996033	13,99207	1,283957	3,682852	9,190481	
CO	3	23,34	7,78	8,2083	16,4166	1,283957	5,026186	10,53381	
L	3	15,3	5,1	0,6231	1,2462	1,283957	2,346186	7,853814	
ANOVA									
<i>Sources</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P value</i>	<i>Eta-sq</i>	<i>RMSSE</i>	<i>Omega Sq</i>	
Between Groups	213,6171	6	35,60285	7,198839	0,001172	0,755215	1,549068	0,639132	
Within Groups	69,23893	14	4,945638						
Total	282,8561	20	14,1428						

	PC	C	TLB	TC	CL	CO	L		
<b>Clor. b</b>	48,26	23,15	8,14	13,4	13,13	8,1	13,6		
	25,55	13,13	23,15	11,26	8,66	7,22	25,43		
	24,38	7,07	14,95	7,53	13,68	17,46	15,57		
ANOVA: Single Factor									
DESCRIPTION						Alpha 0,05			
	<i>Group</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Mean</i>	<i>Variance</i>	<i>SS</i>	<i>Std Err</i>	<i>Lower</i>	<i>Upper</i>
	PC	3	98,19	32,73	181,2279	362,4558	4,322971	23,45815	42,00185
	C	3	43,35	14,45	65,9484	131,8968	4,322971	5,178149	23,72185
	TLB	3	46,24	15,41333	56,48603	112,9721	4,322971	6,141482	24,68518
	TC	3	32,19	10,73	8,8249	17,6498	4,322971	1,458149	20,00185
	CL	3	35,47	11,82333	7,580633	15,16127	4,322971	2,551482	21,09518
	CO	3	32,78	10,92667	32,20693	64,41387	4,322971	1,654815	20,19852
	L	3	54,6	18,2	40,1749	80,3498	4,322971	8,928149	27,47185
ANOVA									
	<i>Sources</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P value</i>	<i>Eta-sq</i>	<i>RMSSE</i>	<i>Omega Sq</i>
	Between Groups	1073,092	6	178,8487	3,190068	0,034533	0,577555	1,031191	0,384893
	Within Groups	784,8994	14	56,06424					
	Total	1857,992	20	92,89959					

	PC	C	TLB	TC	CL	CO	L	
<b>Clor. Total</b>	65,55	33,98	16,59	19,52	19,57	12,99	18,29	
	39,93	20,65	33,98	16,61	12,45	14,99	30,04	
	38,27	12,07	21,08	11,36	22,77	28,11	21,56	
ANOVA: Single Factor								
DESCRIPTION					Alpha	0,05		
<i>Group</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Mean</i>	<i>Variance</i>	<i>SS</i>	<i>Std Err</i>	<i>Lower</i>	<i>Upper</i>
PC	3	143,75	47,91667	233,8897	467,7795	5,284855	36,58178	59,25155
C	3	66,7	22,23333	121,8922	243,7845	5,284855	10,89845	33,56822
TLB	3	71,65	23,88333	81,49703	162,9941	5,284855	12,54845	35,21822
TC	3	47,49	15,83	17,1027	34,2054	5,284855	4,495113	27,16489
CL	3	54,79	18,26333	27,90613	55,81227	5,284855	6,928446	29,59822
CO	3	56,09	18,69667	67,45813	134,9163	5,284855	7,361779	30,03155
L	3	69,89	23,29667	36,77763	73,55527	5,284855	11,96178	34,63155
ANOVA								
<i>Sources</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P value</i>	<i>Eta-sq</i>	<i>RMSSE</i>	<i>Omega Sq</i>
Between Groups	2108,333629	6	351,3889	4,193732	0,012726	0,642514	1,182333	0,477123
Within Groups	1173,0472	14	83,78909					
Total	3281,380829	20	164,069					

	PC	C	TLB	TC	CL	CO	L		
<b>Carotenoides</b>	6,83	4,39	1,51	1,18	0,58	0,36	0,76		
	5,28	2,18	1,53	1,11	1,04	0,57	2,81		
	4,82	1,53	1,29	0,98	0,88	2,32	0,86		
ANOVA: Single Factor									
DESCRIPTION					Alpha	0,05			
<i>Group</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Mean</i>	<i>Variance</i>	<i>SS</i>	<i>StdErr</i>	<i>Lower</i>	<i>Upper</i>	
PC	3	16,93	5,643333	1,109033	2,218067	0,531537	4,5033	6,783367	
C	3	8,1	2,7	2,2477	4,4954	0,531537	1,559966	3,840034	
TLB	3	4,33	1,443333	0,017733	0,035467	0,531537	0,3033	2,583367	
TC	3	3,27	1,09	0,0103	0,0206	0,531537	-0,05003	2,230034	
CL	3	2,5	0,833333	0,054533	0,109067	0,531537	-0,3067	1,973367	
CO	3	3,25	1,083333	1,158033	2,316067	0,531537	-0,0567	2,223367	
L	3	4,43	1,476667	1,335833	2,671667	0,531537	0,336633	2,6167	
ANOVA									
<i>Sources</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Pvalue</i>	<i>Eta-sq</i>	<i>RMSSE</i>	<i>Omega Sq</i>	
Between Groups	52,10012381	6	8,683354	10,24469	0,000191	0,814491	1,847944	0,725376	
Within Groups	11,86633333	14	0,847595						
Total	63,96645714	20	3,198323						