

UNIVERSIDAD NACIONAL INTERCULTURAL DE LA SELVA CENTRAL JUAN SANTOS ATAHUALPA



FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Biomonitoreo de elementos traza en áreas urbanas e industrial usando
líquenes como biomonitores de la calidad del aire en Chanchamayo -
Perú

TESIS

Para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental

AUTORA

Bach. Kathy Pamela Magan Vargas

ASESOR

Dr. Alex Rubén Huamán de la Cruz

Chanchamayo, Perú

2024

AGRADECIMIENTOS

A mi alma mater, la Universidad Nacional de la Selva Central Juan Santos Atahualpa por haberme formado como profesional estos cinco años de estudios universitarios y por haber financiado mi proyecto de tesis.

Un agradecimiento especial a mi asesor e investigador, el Pós - PhD. Alex Rubén Huamán de la Cruz, por haber aportado con sus sabios conocimientos y guiado mis pasos para culminar este proyecto de investigación.

A los jurados de mi tesis, que con sus ideas y consejos logré mejorar mi tesis de pregrado.

A los profesionales del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) E.E.A. Pichanaqui por brindarme sus conocimientos y técnicas en laboratorio.

A mis padres que fueron los que me formaron desde pequeña con buenos valores y virtudes, que gracias a ellos tengo el honor de ser una buena persona y profesional.

Y por último y no menos importante a mis amigos que con sus sugerencias y apoyo brindados pude seguir con mis metas trazadas.

DEDICATORIA

Este logro se lo dedico a Dios y a mis padres, porque reconozco todo el esfuerzo y dedicación que hicieron, para que yo pueda lograr mis sueños.

A mí persona por la perseverancia y esfuerzo que le puse a este trabajo de investigación para lograr un sueño más en mi vida.

RESUMEN

En el presente estudio, las especies de líquen *Physcia undulata* y *Heterodermia galactophylla* fueron usados como biomonitores para evaluar la deposición de elementos traza (ET) sobre un área industrial: Vitoc (A1) y cuatro áreas urbanas: San Ramon (A2), La Merced (A3), Perene (A4), y Pichanaqui (A5) de la Provincia de Chanchamayo, Departamento Junín, Perú. En total fueron cuantificados 15 elementos traza (As, Ba, Cd, Co, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Ni, Pb, Rb, Sb, V y Zn) usando el Espectrómetro de Masa con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-MS). La concentración de los elementos fue sometido a las siguientes pruebas estadísticas: Kruskal-Wallis para el biomonitorio pasivo; T student de dos muestras independientes para el biomonitorio activo; factor de enriquecimiento (FE); análisis jerárquico de conglomerados (AJC) y análisis de componentes principales (ACP) para el grado de contaminación e identificación de las fuentes de emisión. Los resultados mostraron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre las áreas de monitoreo (A1, A2, A3, A4 y A5) para la mayoría de los elementos. El factor de enriquecimiento (FE) reveló una significativa acumulación de Cd (325%), Cu (1250%), Pb (250%) y Zn (400%) en las muestras de Vitoc. Asimismo, se observaron enriquecimientos notables de Ba (150%) y V (250%) en Pichanaqui, y de Co (325%) y Ni (748%) en Perené. Por el contrario, en La Merced, los elementos As, Co, Fe, Mn y Rb presentaron concentraciones cercanas a los valores de fondo ($FE < 50\%$). Los análisis de AJC y ACP mostraron 3 posibles fuentes principales de los ET como: el parque automotor (Cu, Sb, Cd, Mg, Ni, Co, Mn, Ba, As, Fe y V), la actividad industrial (Pb y Zn) y de origen natural (K y Rb).

Palabras clave: Calidad del aire, biomonitorio, elementos traza, líquenes.

ABSTRACT

In the present study, the lichen species *Physcia undulata* and *Heterodermia galactophylla* were used as biomonitors to evaluate the deposition of trace elements (TE) over an industrial area: Vitoc (A1) and four urban areas: San Ramon (A2), La Merced (A3), Perene (A4), and Pichanaqui (A5) of Chanchamayo Province, Junín Department, Peru. A total of 15 trace elements (As, Ba, Cd, Co, Cu, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Ni, Pb, Rb, Sb, V and Zn) were quantified using Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometer (ICP-MS). The concentration of the elements was subjected to the following statistical tests: Kruskal-Wallis for passive biomonitoring; Student's t-test of two independent samples for active biomonitoring; enrichment factor (EF); hierarchical cluster analysis (HCA) and principal component analysis (PCA) for the degree of contamination and identification of emission sources. The results showed significant differences ($p < 0.05$) between monitoring areas (A1, A2, A3, A4 and A5) for most of the elements. The enrichment factor (EF) revealed a significant accumulation of Cd (325%), Cu (1250%), Pb (250%) and Zn (400%) in the Vitoc samples. Likewise, notable enrichments of Ba (150%) and V (250%) were observed at Pichanaqui, and of Co (325%) and Ni (748%) at Perené. On the contrary, at La Merced, the elements As, Co, Fe, Mn and Rb showed concentrations close to background values ($FE < 50\%$). The AJC and ACP analyses showed 3 possible main sources of TE as: the automotive fleet (Cu, Sb, Cd, Mg, Ni, Co, Mn, Ba, As, Fe and V), industrial activity (Pb and Zn) and natural origin (K and Rb).

Key words: Air quality, biomonitoring, trace elements, lichens.

ÍNDICE

	Pág.
AGRADECIMIENTOS	ii
DEDICATORIA	iii
RESUMEN	iv
ABSTRACT	v
ÍNDICE	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
ÍNDICE DE TABLAS	xi
GLOSARIO	xii
ABREVIATURAS.....	xiv
INTRODUCCIÓN.....	xvi
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	18
1.1. Fundamentación del problema	18
1.2. Formulación del problema	19
1.2.1. Problema general	19
1.2.2. Problemas específicos.....	19
1.3. Objetivos	19
1.3.1. Objetivo general	19
1.3.2. Objetivos específicos.....	19
1.4. Definición y operacionalización de variables	19
1.5. Hipótesis.....	20
1.5.1. Hipótesis general	20
1.5.2. Hipótesis específicas.....	20
1.6. Justificación.....	21
CAPITULO II MARCO TEÓRICO.....	22
2.1. Antecedentes	22
2.1.1. Antecedentes Internacionales	22
2.1.2. Antecedentes Nacionales	23
2.1.3. Antecedentes Regionales	24

2.2.	Bases teóricas.....	25
2.2.1.	Contaminación atmosférica.....	25
2.2.2.	Contaminantes atmosféricos.....	26
2.2.3.	Monitoreo ambiental.....	27
2.2.4.	Biomonitoreo.....	27
2.2.5.	Bioindicador.....	28
2.2.6.	Elementos traza.....	28
2.2.7.	Espectrómetro de Masa con Plasma Acoplado Inductivamente.....	28
2.2.8.	Liquen.....	29
2.2.9.	Biotipos de liquen.....	29
2.2.10.	Líquenes epífitos.....	31
2.2.11.	Factores ecológicos que influyen en el crecimiento del liquen.....	31
2.2.12.	<i>Physcia undulata</i>	33
2.2.13.	<i>Heterodermia galactophylla</i>	34
CAPITULO III METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN.....		35
3.1.	Ámbito de estudio.....	35
3.1.1.	Áreas de monitoreo.....	35
3.2.	Nivel, tipo y diseño de investigación.....	37
3.2.1.	Método de investigación.....	37
3.2.2.	Diseño de investigación.....	37
3.2.3.	Tipo de investigación.....	38
3.2.4.	Enfoque de la investigación.....	38
3.2.5.	Nivel de investigación.....	38
3.3.	Población y muestra.....	38
3.3.1.	Población.....	38
3.3.2.	Muestra.....	38
3.4.	Procedimientos, técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	39
3.4.1.	Procedimientos.....	39

3.4.2.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	51
3.5.	Análisis de datos	51
3.5.1.	Análisis de comparación.....	51
3.5.2.	Análisis jerárquico de conglomerados (AJC).....	52
3.5.3.	Factor de enriquecimiento (FE).....	52
3.5.4.	Análisis de componentes principales (ACP)	52
3.6.	Consideraciones éticas	53
CAPITULO IV RESULTADOS Y DISCUSIONES		54
4.1.	Presentación de resultados y discusiones.....	54
4.1.1.	Resultado 1	54
4.1.2.	Resultado 2	59
4.1.3.	Resultado 3	63
CONCLUSIONES.....		68
RECOMENDACIONES		69
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		70
ANEXOS		80

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	<i>Physcia undulata</i>	33
Figura 2	<i>Heterodermia galactophylla</i>	34
Figura 3	Mapa de ubicación de la Provincia de Chanchamayo	35
Figura 4	Flujograma de las actividades realizadas.....	39
Figura 5	Altura promedio para la extracción de líquenes	45
Figura 6	Área control del estudio ubicada en el sector Kimiri, La Merced, distrito de Chanchamayo	46
Figura 7	Biofiltros de líquenes	48
Figura 8	Muestreo por puntos cardinales en la zona minera de Vitoc	49
Figura 9	Líquenes identificados de los puntos de monitoreo en las diferentes áreas de la provincia de Chanchamayo.....	50
Figura 10	Diagrama de cajas y bigotes de los elementos traza del Biomonitoreo activo	54
Figura 11	Diagrama de cajas y bigotes de los elementos del Biomonitoreo pasivo	56
Figura 12	Factor de enriquecimiento (FE) \pm desviación estándar para los elementos As, Ba, Cd, Co, Cu, Fe, K y Mg en 5 áreas de muestreo en los que se tomaron muestras de la especie <i>Physcia undulata</i> durante la investigación.	61
Figura 13	Factor de enriquecimiento (FE) \pm desviación estándar para los elementos Mn, Ni, Pb, Rb, Sb, V y Zn en 5 áreas de muestreo en los que se tomaron muestras de la especie <i>Physcia undulata</i> durante la investigación.	62
Figura 14	Coefficiente de correlación de Spearman para los elementos traza.....	63
Figura 15	Dendrograma de los elementos analizados (Cu, Sb, Cd, Mg, Ni, Co, Mn, Ba, As, Fe, V, Zn, Pb, K y Rb)	66
Figura 16	Mapa de ubicación de Vitoc (A1) {del biomonitoreo pasivo	92
Figura 17	Mapa de ubicación de San Ramón (A2) del biomonitoreo pasivo	93
Figura 18	Mapa de ubicación de La Merced (A3) del biomonitoreo pasivo	94
Figura 19	Mapa de ubicación de Perené (A4) del biomonitoreo pasivo.....	95
Figura 20	Mapa de ubicación de Pichanaqui (PI) del biomonitoreo pasivo.	96
Figura 21	Mapa de ubicación de Vitoc (A1) del Biomonitoreo activo	97
Figura 22	<i>Heterodermia galactophylla</i> en la zona control	103
Figura 23	<i>Physcia undulata</i> en el sitio de muestreo	103
Figura 24	Medición de la altura (1.5-2.0 m) del forofito donde se recolectará la muestra..	104
Figura 25	Extracción de las muestras de líquenes	104
Figura 26	Muestras entregadas para el análisis.....	105

Figura 27	Extracción de líquenes para el biomonitoreo activo.....	105
Figura 28	Pre-tratamiento físico de las muestras de líquenes para el biomonitoreo activo .	106
Figura 29	Homogenización de las muestras de líquenes	106
Figura 30	Pesaje de la muestra control (20 g) de líquen	107
Figura 31	Pesaje de las muestras (5 g) que serán instaladas en los sitios de muestreo	107
Figura 32	Llenado de las bolsas que se utilizarán para el biomonitoreo activo.....	108
Figura 33	Colocación de las bolsas en los puntos de monitoreo aledaños a la zona minera	108
Figura 34	Extracción de las bolsas de líquenes.....	109
Figura 35	Proceso de secado de las muestras.....	109
Figura 36	Las muestras son colocadas en la estufa para ser deshidratadas	110
Figura 37	Manejo del molino de bolas para la pulverización de las muestras.....	110
Figura 38	Digestión de las muestras	111
Figura 39	Lectura de las muestras en el ICP-MS.....	111

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Operacionalización de variables	20
Tabla 2	Datos de la altitud, superficie y población de las áreas de estudio en Chanchamayo	36
Tabla 3	Puntos de monitoreo ubicados en Vitoc para el biomonitoreo pasivo	40
Tabla 4	Puntos de monitoreo ubicados en San Ramón para el biomonitoreo pasivo	41
Tabla 5	Puntos de monitoreo ubicados en La Merced para el biomonitoreo pasivo	41
Tabla 6	Puntos de monitoreo ubicados en Perené para el biomonitoreo pasivo.....	43
Tabla 7	Puntos de monitoreo ubicados en Pichanaqui para el biomonitoreo pasivo.....	43
Tabla 8	Fecha de recolección de las muestras de líquenes	45
Tabla 9	Peso de las muestras utilizadas en el biomonitoreo activo	47
Tabla 10	Puntos de monitoreo ubicados en Vitoc para el biomonitoreo activo.....	48
Tabla 11	Media y desviación estándar (DE) de las concentraciones de elementos traza en la especie de liquen H. obscurata para el Biomonitoreo Activo.....	55
Tabla 12	Media y desviación estándar (DE) de las concentraciones de elementos traza en la especie de liquen P. undulata para el Biomonitoreo pasivo.....	59
Tabla 13	Resultado del ACP para las muestras del liquen Physcia undulata	64
Tabla 14	Modelo - PERMANOVA de Compuestos químicos regiones Selva Central.....	65

GLOSARIO

Antropogénicas: Son actividades ejecutadas por el ser humano, como la industria de hidrocarburos, la minería, la quema de árboles y la tala (Torres, 2019).

Autótrofos: Organismos que pueden elaborar su propio alimento a través de la fotosíntesis (Cabello, 1996).

Bioindicadores: Son organismos que muestran comportamientos que pueden indicar la calidad que presenta el ambiente donde se desarrollan (Méndez & Monge, 2011).

Biomonitoreo: Es el manejo de biomonitores en relaciones definidas de medición con el propósito de evaluar la calidad atmosférica en un área de interés, para uno o varios contaminante presentes en dicha área (Anze et al., 2007).

Biomonitores: Son seres o comunidad de ellos que permiten cuantificar la calidad atmosférica mediante la comparación de rangos (Anze et al., 2007).

Contaminantes atmosféricos: Es la presencia de partículas o formas de energía que involucre riesgo o daño para el hombre o la naturaleza.

Corticícola: Liquen que se desarrolla encima de la corteza de los árboles (Oksanen, 2006).

Dorsiventral: Cuando un órgano presenta una cara dorsal y una cara ventral.

Elementos traza: Son elementos que se presentan concentraciones extremadamente bajas en la naturaleza y en tejidos vegetales (Torri et al., 2016).

Espectrometría de masas: Es una técnica de química analítica que conlleva a identificar la cantidad y tipo de elementos que aparezca en una muestra midiendo la relación de masa/carga y la cantidad de iones en fase gaseosa (Puy et al., 2017).

Fisiología: Es el estudio de las funciones de los organismos (Cabello, 1996).

Forofito: Planta portadora del liquen corticícola (Cutipa, 2019).

Fotobionte: Es el organismo que sintetiza los azúcares a través de la fotosíntesis que realiza (Barreno & Pérez, 2003a).

Geogénicas: Deriva de fuentes geológicas que conducen a la liberación de sustancias de la roca (Varrica et al., 2022).

Límite de detección: Número expresado en unidades de concentración que establece el nivel más bajo de concentración de un sustancia o elemento que puede determinarse como estadísticamente diferente del blanco analítico (Corley, 2003).

Líquenes: Es la unión entre un hongo y un alga o cianobacteria (Barreno & Pérez, 2003a).

Material particulado: Son partículas suspendidas en el aire de tamaño muy variado, alcanzando desde los 0.001 μm hasta los 100 μm (Griño, 2006).

Micobionte: Es la parte fúngica del organismo incapaz de generar sus propios alimentos (Barreno & Pérez, 2003a).

Rizinas: Son grupo de hifas compactadas, simples o ramificadas que utilizan los líquenes para sujetarse del sustrato (Barreno & Pérez, 2003a).

Saxícola: Liquen que vive sobre la superficie de las rocas (Arroyo, 2022).

Talo: Cuerpo vegetativo sin diferenciación de tejidos (Huereca et al., 2018).

ABREVIATURAS

AC	: Área Control
ACP	: Análisis de Componentes Principales
AJC	: Análisis Jerárquico de Conglomerados
BA	: Biomonitorio activo
BP	: Biomonitorio pasivo
CP	: Componentes principales
DE	: Desviación estándar
E.E.A.	: Estación Experimental Agraria
EB	: Expuesto a la línea base
ET	: Elementos traza
Fa	: Factor
Fas	: Factores significativos
FE	: Factor de enriquecimiento
ICP-MS	: Espectrómetro de Masa con Plasma Acoplado Inductivamente
INEI	: Instituto Nacional de Estadística e Informática
INIA	: Instituto Nacional de Investigación Agraria
LABSPECTRO	: Laboratorio de Espectrometría Atómica
LD	: Límites de detección
LM	: La Merced
MP	: Material particulado
MPCH	: Municipalidad Provincial de Chanchamayo
NMS	: Escala no paramétrica
OMS	: Organización mundial de la salud
OPS	: Organización Panamericana de la salud

PE	: Perené
PI	: Pichanaqui
PUC-Río	: Pontificia Universidade Católica do Río de Janeiro
SR	: San Ramón
UTM	: Universal Transversal de Mercator
V	: Vitoc

INTRODUCCIÓN

La contaminación del aire es considerada como uno de los problemas más significativos que perturban a la sociedad del siglo XXI (Ballester, 2005). Ocasionando la pérdida en la calidad del aire, efectos negativos sobre la salud humana y medio ambiente, y contribuyendo al cambio climático (Reyes et al., 2016; Xiao & Gao, 2021).

Diversos estudios indican que aproximadamente el 20% de las enfermedades del ser humano estarían relacionado a los contaminantes ambientales (Vargas, 2005; Cifuentes et al., 2017). Palacios & Moreno (2022) revelan que la exposición a sustancias químicas genera efectos negativos, como trastornos respiratorios, daños en pulmones, cerebro e hígado. Asimismo, Luján & Gonzáles (2016) encontraron que contaminantes ambientales influirían en la incidencia de enfermedades respiratorias como neumonía e infecciones respiratorias agudas.

Entre los contaminantes atmosféricos se encuentran gases (SO_x , NO_x , CO y CH_4) y material particulado (MP) que son liberados por las diversas fuentes naturales (volcán, aerosol marino, resuspensión del suelo, entre otros) o antrópicas (parque automotor, industrias y uso de agroquímicos) (Romero et al., 2006; Rabha & Saikia, 2019). El MP atmosférico está catalogado como una mezcla compleja de partículas sólidas y líquidas cuya composición está dada por material orgánico y geológico, carbón elemental, sales, nitratos y sulfatos de amonio, y elementos traza (Yassi et al., 2002; Castell, 2012; Valls, 2017).

Los elementos traza (ET) son elementos químicos de baja concentración en el ambiente (Wolterbeek, 2002; Saib et al., 2023). Sin embargo, muchos de estos elementos inclusive a bajas concentraciones (Cd, As, Pb, Hg y Zn) tienden a ser tóxicos para la salud y el medio ambiente (Peirson & Cawse, 1976; Varrica et al., 2022). La exposición, inhalación o ingestión a estos ET podrían generar episodios agudos cardiovasculares, variabilidad de la frecuencia cardíaca, afecciones respiratorias, así como también aumentar el riesgo de enfermedades crónicas como la diabetes y el cáncer de pulmón (Valls, 2017; Untea et al., 2019). Es por eso, que es de suma importancia realizar estudios de monitoreo para conocer los contaminantes y su concentración dentro de una determinada área de interés; y así, poder adoptar medidas preventivas para proteger la salud las personas frente a la exposición de estos contaminantes.

Hoy en día existen diversos equipos de monitoreo de la calidad del aire que son semiautomáticos o automáticos (Partisol, Hi-Vol) que cumplen esa tarea. Sin embargo, estos equipos necesitan de un elevado presupuesto para su puesta en marcha y mantenimiento, así, como un personal calificado. Frente a ello, es necesario buscar alternativas eco-amigables y de bajo presupuesto para realizar monitoreos de la calidad del aire.

En las últimas décadas, diversos estudios usaron plantas epífitas para evaluar la calidad de aire, como: líquenes, musgos, tilandsias entre otros organismos en diversas partes del mundo (Lijteroff et al., 2009, Ghirardi et al., 2010; Krömer et al., 2014; Torres, 2019). Los líquenes son una combinación simbiótica (hongos y algas) y se encuentran ampliamente distribuidos en diversos países de América del Sur como Ecuador, Colombia, Bolivia, Perú (Lijteroff et al., 2009). Usualmente se desarrollan sobre la superficie de rocas, corteza de los árboles, paredes, entre otros (Huereca et al., 2018). Son altamente sensibles al cambio de hábitat y medio ambiente y por obtener sus nutrientes y agua por intermedio de sus estomas (carece de raíces), son considerados excelentes bioindicadores de la calidad del aire en diferentes ecosistemas (Barreno & Pérez, 2003a; Hawksworth et al., 2005).

Nylander (1866) fue el primero en usar a los líquenes epífitos (género *Parmelia*, *Physcia* y *Lecanora*) como indicador biológico para evaluar la contaminación atmosférica de los jardines de Luxembourg en Francia. También en Perú, se usaron a los líquenes como biomonitores de la calidad del aire. Chavez (2017), utilizó el liquen *Ramalia farnicea* para conocer la capacidad de bioacumulación del Pb en la zona metalúrgica de Jicamarca, Lima. Arroyo (2022) empleo tres especies de líquenes (dos del género *Usnea* y la especie *Sticta weigeli*) para determinar la bioacumulación de metales pesados en la Cordillera Blanca en Ancash, Perú.

Existen dos tipos de biomonitoreo: el biomonitoreo pasivo (BP) y el biomonitoreo activo (BA), el BP consiste en recolectar especímenes del área de interés y llevarlos al laboratorio para analizarlos, mientras que el BA consiste en recolectar los especímenes de un área que tenga poca o ninguna influencia de contaminantes, y trasplantarlos dentro un área de interés, siendo estos expuestos durante un periodo de tiempo determinado (Abas, 2021).

En la Provincia Chanchamayo no existe estudios en donde aplicaron líquenes como biomonitor para evaluar la calidad del aire en función de los elementos traza, por lo que este estudio; es el primero en informar sobre qué elementos traza fueron encontrados en el aire, así como, su concentración de estos. Así, el objetivo de la presente investigación fue biomonitorear elementos traza en áreas urbanas e industrial usando las especies de liquen *Physcia undulata* y *Heterodermia galactophylla*, respectivamente, para evaluar los elementos traza presentes en el aire de las áreas urbanas e industrial de Chanchamayo – Perú.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Fundamentación del problema

La cantidad de contaminantes en la atmósfera varía considerablemente; por su ubicación de las fuentes de contaminación, la distribución, las características del terreno y las condiciones climáticas versátiles (Pokrývková et al., 2016). Entre las fuentes de contaminación antrópicas, están las centrales térmicas, la industria química, las plantas de calefacción, las incineradoras de residuos, el parque automotor, la generación de energía nuclear y la minería a cielo abierto (Sanmi, 2018). Estas fuentes de contaminación generan contaminantes atmosféricos graves para salud humana y el medio ambiente.

Uno de los contaminantes más significativos en el aire, son los elementos traza (ET) que ocasiona daños severos para el medio ambiente y la salud humana (OPS, 2024). Estos ET pueden ser liberados en forma de material particulado de fuentes naturales (volcanes o erosión del suelo) y antrópicas (industrias, parque automotor e incineración de residuos sólidos). Entre los ET más tóxicos se encuentran el Pb, Cd, As y Sb, elementos que son tóxicos inclusive a bajas concentraciones (Saib et al., 2023).

Los ET por ser casi inmóviles (pesados) y su alta capacidad de acumularse en diversos organismos, con el tiempo han generado muchas patologías en la salud humana (Anaya et al., 2020). Su ingesta o exposición a cortos o largos periodos de tiempo podría generar diversos problemas a la salud (Puy et al., 2017); como es, la exposición al Pb (ECA, $1.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ por mes), la cual estaría causando la hipertensión, daño cerebral, disfunción renal, toxicidad de los órganos reproductores, y la generación de la inmunotoxicidad (OMS, 2022). Mientras la exposición a altas concentraciones de Cd (ECA, $0.09 \mu\text{g}/\text{m}^3$ por 24 horas) estaría provocando daños en los pulmones y en casos más severos la muerte (Ramírez, 2002). Una exposición prolongada al As por consumo de agua o alimentos contaminados estaría ocasionando lesiones cutáneas y también el cáncer (Padilla, 2021).

La provincia de Chanchamayo conocida como capital cafetalera del Perú, es uno de los destinos turísticos más cautivantes de la Selva Central gracias a sus bellos atractivos turísticos como paisajes, biodiversidad, gastronomía y cultura amazónica ancestral. Así como también cuenta con una gran cantidad de agroindustrias dedicadas a la producción de café, cacao, piña, kió, néctares, mermeladas y chocolates, para realzar la economía de la población. Podría estar siendo perjudicada por estas agroindustrias entre otras actividades antropogénicas.

En la actualidad no existen investigaciones de la calidad de aire en la provincia de Chanchamayo. El crecimiento urbano y poblacional, la agroindustria, la industria minera y el aumento del parque automotor; podrían estar emitiendo contaminantes (elementos traza) a la atmosfera de la provincia de Chanchamayo, es por ello que me planteo el siguiente problema.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

- ¿Cuáles son los elementos traza presentes en el aire de las áreas urbanas e industrial de Chanchamayo – Perú usando líquenes como biomonitores?

1.2.2. Problemas específicos

1. ¿Cuáles son las concentraciones de los elementos traza en las muestras de líquenes de áreas urbanas e industrial en la Provincia de Chanchamayo?
2. ¿Las concentraciones de los elementos traza presentes en líquenes serán diferentes en las áreas de monitoreo (Vitoc, San Ramón, La Merced, Perené y Pichanaqui) de la Provincia de Chanchamayo?
3. ¿Cuáles son las fuentes de emisión más significativas de los elementos traza de la Provincia de Chanchamayo?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

- Evaluar los elementos traza presentes en el aire de las áreas urbanas e industrial de Chanchamayo – Perú, usando líquenes como biomonitores de la calidad del aire.

1.3.2. Objetivos específicos

1. Cuantificar los elementos traza en las muestras líquenes colectadas de áreas urbanas e industrial en la Provincia de Chanchamayo.
2. Comparar la concentración de los elementos traza presentes en los líquenes de las áreas de monitoreo (Vitoc, San Ramón, La Merced, Perené y Pichanaqui) de la Provincia de Chanchamayo.
3. Identificar las fuentes de emisión más significativas de los elementos traza de la Provincia de Chanchamayo.

1.4. Definición y operacionalización de variables

Tabla 1*Operacionalización de variables*

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES	UNIDAD DE MEDIDA
Independiente: Área de estudio	Es el área de interés donde se realizará el estudio	Áreas urbanas	Zonas residenciales y comerciales	Distritos
		Área industrial	Industria liviana	Distritos
Dependiente: Concentración de elementos traza	Los elementos traza (ET) son sustancias dispersadas en la naturaleza que inhiben distintos procesos metabólicos en el organismo cuando sobrepasan el nivel de concentración normal.	Elementos naturales	Concentraciones de Ca, Al, K, Fe, Mg y Na	µg/g
		Elementos industriales	Concentraciones de Cd, Cu, Pb, Ni, V, As y Zn	µg/g
		Elementos vehiculares	Concentraciones de Pb, Cr, Sb, V, Zn y Ba	µg/g
		Elementos tóxicos	Concentraciones de Cd, As y Pb	µg/g

Nota. Elaboración propia

1.5. Hipótesis

1.5.1. Hipótesis general

- Los líquenes usados como biomonitores en las áreas urbanas e industrial de Chanchamayo-Perú contienen elementos traza relacionados a fuentes vehiculares, industriales y naturales.

1.5.2. Hipótesis específicas

1. La concentración de los diferentes elementos traza de la Provincia de Chanchamayo serán diferentes entre sí.
2. Existiría diferencias significativas entre las diferentes áreas de monitoreo (Vitoc, San Ramón, La Merced, Perené y Pichanaqui) con respecto a la concentración de los elementos traza.
3. Las fuentes de emisión de elementos traza más significativas serían la industrial y vehicular en la Provincia de Chanchamayo.

1.6. Justificación

Normalmente, la evaluación de la calidad del aire se realiza empleando dispositivos automáticos y semiautomáticos avanzados, como el muestreador de alto volumen (Hi Vol 3000 Alto volumen), de medio volumen (Partisol 2000), y de bajo volumen (Micro Vol 1100 Bajo volumen) (Castelar, 2019). Sin embargo, la mayoría de estos aparatos son costosos de adquirir y conllevan gastos considerables de mantenimiento y operación (tales como consumo eléctrico, filtros requeridos para cada muestreo, y la necesidad de personal cualificado para la toma de muestras). Además, el muestreo tiende a ser en momentos específicos y la cantidad de muestras obtenidas es limitada (usualmente 1 o 2 muestras por semana) (DIGESA, 2005). Por consiguiente, se busca un enfoque alternativo y más económico para llevar a cabo el monitoreo de la calidad del aire.

El biomonitoreo emplea organismos biológicos, ya sea partes individuales o comunidades, para evaluar la calidad del aire en una zona determinada, ya que estos reaccionan directamente a los cambios, desarrollo o alteraciones en su entorno (García et al., 2017). El uso de líquenes como organismos biológicos para el biomonitoreo se plantea como una alternativa económica y efectiva debido a su capacidad para reaccionar directamente ante las variaciones en la calidad del aire. Como organismos que crecen en superficies expuestas, los líquenes son sensibles a la contaminación atmosférica y pueden reflejar con precisión los niveles de contaminantes presentes en el ambiente. Además, su recolección y análisis no requieren equipos sofisticados ni costosos, lo que los convierte en una herramienta accesible para evaluar la calidad del aire en diversas áreas (Barreno & Pérez, 2003a).

Este estudio proporcionó datos sobre la concentración de elementos traza en líquenes usados como biomonitores del aire en la Provincia de Chanchamayo, lo cual servirá como punto de partida para investigaciones futuras en la Selva Central.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Antecedentes Internacionales

Saib et al. (2023) estableció un panorama completo de la contaminación atmosférica por metales en la Área industrial urbanizada del este de Argel, Argelia. Donde se transplantaron talos del líquen epífito *Pseudevernia furfuracea* desde un bosque remoto no contaminado (llamado Theniet El-Had) a 18 lugares de monitoreo en la región de Rouiba-Reghaia que presentaba actividades antropogénicas contrastadas, incluida la Reserva Natural Boscosa de Reghaia. Se cuantificaron 33 metales en líquenes tras 3 meses de exposición usando la fluorescencia de rayos X y análisis instrumental de activación de neutrones. Todas las concentraciones de elementos biomonitoreados mostraron aumentos drásticos en comparación con la región de control, y el cálculo del índice del factor de contaminación reveló que Sb, Pb, Ti, V, Ce, La, Ga, Cr, Cs, Cu y Cd presentaban los niveles de contaminación más elevados en casi todos los lugares del estudio. El grado de contaminación ambiental se evaluó mediante el factor de enriquecimiento, el índice de carga contaminante, el análisis de conglomerados y el análisis de componentes principales. Finalmente se concluyó mediante un análisis de correspondencias múltiples que Pb, Sb y Ga estaban altamente enriquecidos con metales pesados en todos los lugares de estudio, incluso en la Reserva Natural de Reghaia.

Varrica et al. (2022) estudiaron la variación en el contenido de metales y metaloides medidos en los líquenes (*Xanthoria calcicola* Oxner) recogidos en el complejo petroquímico de Siracusa (Sicilia, Italia) considerado uno de los mayores de Europa. Las concentraciones de dieciocho elementos traza medidos en los líquenes recogidos en 49 puntos diferentes se analizaron mediante el espectrómetro de masas inductivamente acoplado (ICP-MS). Las concentraciones de los elementos típicos de las emisiones industriales (As, Cr, Ni y V) ponen de manifiesto la criticidad medioambiental existente en la zona de estudio. La interpretación de los datos en términos de análisis estadístico multielemental (AF) y factor de enriquecimiento (FE) demostró ser particularmente útil para identificar varias fuentes que contribuyen a la presencia de elementos traza en la atmosfera entre emisiones antropogénicas y emisiones geogénicas. Los resultados de este estudio revelan la versatilidad de la especie de líquen *Xanthoria calcicola* Oxner en la búsqueda de elementos traza en ambientes con mucha actividad humana, por lo que, el enfoque seguido en este estudio también puede ser aplicarse a otros contextos industriales.

Puy et al. (2017) investigó la deposición atmosférica de algunos metales pesados utilizando especies de líquenes saxícolas (*Xanthoparmelia mexicana* (Gyeln.) Hale, *Xanthoparmelia tasmanica* (Hook. f. & Taylor) Hale, *Caloplaca aff. brouardii* (B.deLesd.) Zahlbr, *Caloplaca aff. ludificans* Arup, y *Aspicilia* sp), se recolectaron muestras de 3 áreas (rural, suburbana y urbana) a lo largo de la ciudad de Guanajuato, durante los meses de octubre-noviembre de 2012, abril, julio y octubre de 2013 y enero de 2014. Las muestras de líquenes se analizaron mediante el Espectrómetro de Masa con Plasma Acoplado Inductivamente. Las concentraciones de metales pesados en las muestras de líquenes de la especie *Xanthoparmelia* oscilaron entre (96.21 µg/g) para el plomo (Pb), (95.10 µg/g) para zinc (Zn), (58.40 µg/g) para vanadio (V), (105.15 µg/g) para Cromo (Cr), y (48.93 µg/g) para el Niquel (Ni). Las especies de *Caloplaca* (92.42 µg/g) para el plomo (Pb), (172.97 µg/g) para el Zinc (Zn), (53.51 µg/g) para el vanadio (V), (91.23 µg/g) para el cobre (Cu), respectivamente, y *Aspicilia* sp (612.91 µg/g) para el plomo (Pb), (72.24 µg/g) para el zinc (Zn), (56.25 µg/g) para el vanadio (V), (18.24 µg/g) para el cobre (Cu). La significación estadística entre las concentraciones de Co-V, Ni-Cr, Ni-Co, Sn-Zn, Co-Cr, Zn-Th, Sn-Th y Co-Zn afirmó que provenían de fuentes antropogénicas debidas principalmente a las emisiones del tráfico de vehículos, las correlaciones de la combustión de combustibles fósiles, la eliminación de residuos sólidos y otras actividades antropogénicas locales. También se observó, que la concentración de los metales se encontraba en un rango superior, como los valores máximos de Pb, Zn, V y Cu para las áreas suburbanas y urbanas de la ciudad de Guanajuato. Los factores de contaminación o el factor de índice de contaminación y los criterios de índice de carga contaminante revelaron altos niveles de Be, Cu, Co, Zn, Pb, y Th en las especies *Caloplaca* y *Aspicilia* sp., mientras que las especies *Xanthoparmelia* muestran valores superiores sólo en Be, Sb y Pb. Los resultados revelaron que los líquenes más sensibles fueron *Aspicilia* sp., con los niveles más altos de Pb.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

Arroyo (2022) en su investigación utilizó a los líquenes como bioindicadores de 10 metales pesados en las partes altas de dos subcuencas de la Cordillera Blanca (Ancash, Perú); las cuales son Lullán-Parón y Yanayacu. Para el análisis se usó 3 especies, de las 33 especies de líquenes identificadas, para la determinación de las concentraciones de metales pesados bioacumulados, se extrajeron dos especies del género *Usnea* de tipo saxícola y cortícola, como también se eligió un líquen folioso de la especie *Sticta weigeli*. Los resultados de los elementos analizados por ICP-MS, fueron valorados con ANOVA para dos factores: lugar de estudio y tipo de especie, lo cual mostró una mayor

bioacumulación de Mn en la subcuenca de Parón y de As en Querococha. A nivel de especie, se observó una mayor bioacumulación de As en la especie *Sticta weigeli* a comparación de las especies del género *Usnea*. El análisis de correlaciones y de componentes principales mostró que la mayoría de metales provienen de elementos litofílicos. Finalmente, se evaluó la participación de metales provenientes del suelo hacia los líquenes mediante la comparación de nivel de abundancia de metales entre los líquenes y suelos, y el análisis de factores de enriquecimiento, obteniendo como resultado la influencia de los metales del suelo en la concentración de metales de los líquenes, aunque existe algunos elementos como el Cr, As, Pb y Zn que provienen de transporte atmosférico de partículas originadas por actividades antropogénicas realizadas en las áreas de investigación.

Díaz (2006) en su trabajo de investigación utiliza los líquenes como bioindicadores de metales pesados en áreas andinas ubicadas en las periferias de una unidad minera. La zona de estudio comprende dos áreas adyacentes, ubicadas en el distrito de Huay Huay, provincia de Yauli, Región Junín, una de ellas colindante a la Unidad Minera Andaychagua (Volcan Compañía Minera). Para este estudio se recogieron y determinaron 41 especies de 14 familias, referente a la clase *Lecanoromycetes*, prevaleciendo *Leprocaulon gracilis* en el área adyacente a la unidad minera y *Xanthomendoza mendozae* en el área de control. Los elementos que se midieron fueron Cu, Zn, Pb, Ag, As, Cd y Mn, utilizando el Espectrómetro de Masa con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-MS). La prueba de Mann-Whitney se usó como análisis estadístico para conocer el enriquecimiento y remoción de metales, así como también se usó el análisis multidimensional de escala no paramétrica (NMS) para saber distribución ecológica y el índice de similitud de Sørensen para formar las diferencias a nivel de las comunidades líquénicas en las áreas examinadas. Los resultados demostraron que los líquenes trabajan como bioacumuladores eficientes, especialmente los líquenes foliosos *Xanthoparmelia* sp y *Paraparmelia* sp. En conclusión, se comprobó que los líquenes no liberan los metales que almacenan extracelularmente.

2.1.3. Antecedentes Regionales

Huamán et al. (2018) utilizó la especie de líquen *Flavoparmelia caperata* para biomonitorar elementos traza en la región metropolitana de los Andes peruanos, el cual tuvo como objetivo evaluar la deposición atmosférica de elementos traza en el área metropolitana de Huancayo. Para ello, 10 áreas fueron escogidos y categorizados como urbanos, peri-urbanos y rural, basándose al uso del suelo. Por otro lado, se recolectaron algunas muestras de líquenes de áreas no contaminadas llamadas sitio control. Para saber

la concentración de 16 oligoelementos se usó un Espectrómetro de Masa con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-MS) y se examinaron por factor de enriquecimiento (FE), análisis de conglomerados jerárquicos (AJC) y análisis de componentes principales (ACP), de los cuales 12 de 16 oligoelementos en sitios urbanos y periurbanos presentaron concentraciones superiores a las de los sitios rurales y control ($p < 0.05$). Los resultados de FE revelaron un enriquecimiento significativo (al menos dos veces el del sitio de control) de Ba, Cr, Cd, Pb, Sb, V y Zn en la mayoría de los sitios. El ACP y AJC demostraron que la mayor parte de elementos se derivaron de fuentes vehiculares, minera y de origen mineral.

Cedron & Velasquez (2022) biomonitoreo elementos traza en la atmosfera del Área Metropolitana de Huancayo utilizando muestras de la especie *Tillandsia capillaris* como biomonitor. También se biomonitorearon dos áreas periurbanas (Chupaca y San Agustín de Cajas). Para la metodología se empleó el biomonitoreo activo, los cuales se extrajeron a los biomonitores de un área de control para luego ser expuestos a áreas contaminadas durante 3 meses (De setiembre a diciembre del 2017). Se emplearon 32 muestras, pero solo se cuantifico 5 elementos traza (Cd, Ni, Pb, Sb y As) mediante el Espectrómetro de Masa con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-MS). La ratio expuesta a la línea base (EB) fue manejado para conocer la concentración de elementos traza en biomonitores. Los mapas de distribución fueron aplicados a los elementos cuyo EB ratio fueron > 1.75 . Análisis de conglomerados jerárquico (AJC) fue para conocer las posibles fuentes de contaminación. Los resultados revelaron una alta acumulación de los elementos As y Cd en áreas periurbanas, mientras en urbanas Pb y Sb. El AJC asemejo 2 fuentes principales, donde As y Cd están estrechamente relacionadas a las actividades agrícolas, en cambio Pb y Sb son relativas a fuentes vehiculares.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Contaminación atmosférica

La contaminación atmosférica se define como la presencia en el aire de componentes o formas de energía que representan un riesgo, daño o alteraciones significativas para las personas y el entorno en el que viven (Aránguez et al., 1999). Por lo tanto, se puede decir que la contaminación atmosférica ocurre cuando se producen cambios en el medio ambiente que tienen efectos perjudiciales en los seres vivos y los ecosistemas naturales (Ballester, 2005).

Las emisiones a la atmósfera están conectadas al cambio climático, es por ellos que puede ocasionar graves efectos sobre la salud de los ciudadanos, no sólo indirectamente

por el impacto en los fenómenos meteorológicos sino de manera inmediata por los efectos directos de los contaminantes sobre la salud (Ballester, 2005).

2.2.2. Contaminantes atmosféricos

2.2.2.1. Tipos de contaminantes

➤ Contaminantes primarios

Son sustancias emitidas directamente a la atmósfera de distintas fuentes identificables, estas pueden ser, las partículas de polvo, aerosoles y humos; óxido nítrico (NO_x), dióxido de azufre (SO_2), compuestos orgánicos, compuestos halogenados y metales pesados (Onursal & Gautam, 1984).

➤ Contaminantes secundarios

Son aquellos gases que no guardan relación directamente a la atmósfera, sino que son el resultado de las interacciones entre contaminantes primarios y la radiación de compuestos orgánicos (Onursal & Gautam, 1984). Teniendo como principal fuente de emisión a los transportes de combustión, (CO_2). Entre ellos tenemos: Ozono (O_3), oxidantes o smogs fotoquímicos, óxido nítrico (NO_2), dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) y plomo (Pb) (Onursal & Gautam, 1984).

Toda reacción o alteración atmosférica sustituye a partir de su metabolismo con la naturaleza, produce y reproduce un mayor crecimiento en la producción de energía y la eliminación de residuos de un metabolismo urbano, cuantificado (Onursal & Gautam, 1984; Kennedy et al.2010).

2.2.2.2.Fuentes de contaminantes

➤ Fuentes naturales

Se considera fuentes naturales de contaminación atmosférica a las siguientes actividades causadas por la meteorología, como la radiación causada por el sol, la radiación cósmica, el ozono originado por las ráfagas eléctricas, la actividad volcánica, residuos orgánicos en descomposición y el salitre que emite al mar (Palacios & Moreno, 2022).

➤ Fuentes antropogénicas

Las fuentes antropogénicas son aquellas creadas o alteradas por la actividad humana a lo largo del tiempo, incrementando gradualmente su nivel de peligrosidad. Se dividen en fuentes fijas o estacionarias, que permanecen en un

lugar específico, y fuentes móviles, que se desplazan de un sitio a otro. (J. Mora et al., 2021).

- Fuentes fijas: Estas pueden ser de tipo estacional o permanente (Santoni & Lijteroff, 2006), por ejemplo; las que provienen de actividades antropogénicas dentro del sector agrícolas e industrial, como las empresas de producción y distribución de energía eléctrica, la construcción de carreteras y edificios, actividades en temas agrícolas, actividades referentes a la minería, industrias en general (smog fotoquímico y la quema de desperdicios a campo abierto (Arteaga, 2018).
- Fuentes móviles: Son las que cambian la ubicación con respecto al tiempo y el área de influencia de sus emisiones por lo que se considera lineal o de superficie (Arteaga, 2018). Estas son los medios de transporte como: los aviones, embarcaciones, ferroviarios, vehículos con motor, entre otros (Santoni & Lijteroff, 2006).

2.2.3. Monitoreo ambiental

El monitoreo ambiental es utilizado para medir la presencia y concentración de contaminantes en el ambiente, así como el estado de conservación de los recursos naturales (OEFA, 2024).

Actualmente, el monitoreo ambiental recurre a tres técnicas de diagnóstico: monitoreo de efectos biológicos con ensayos de toxicidad, monitoreo biológico de cambio, y medición de parámetros químicos convencionales en descargas y cuerpos receptores (Castillo, 2004).

2.2.4. Biomonitorio

El biomonitorio (*bio* = vida; monitoreo = seguimiento en el tiempo de ciertas de ciertas condiciones de interés) es un conjunto de técnicas basadas en la reacción y sensibilidad de distintos organismos vivos a diversas sustancias contaminantes presentes en un ecosistema (Anze et al., 2007).

2.2.4.1. Biomonitorio activo

Es una técnica que se realiza en un determinado tiempo, que consiste en coleccionar organismos de áreas naturales sin alteración humana para luego ser trasplantadas a áreas contaminadas de vital importancia para el estudio. Mayormente esta técnica nos permite evaluar cuantitativamente y requerir de una

Área de control para comparar con las muestras no contaminadas (Yauri & Vilca, 2015).

2.2.4.2. Biomonitoreo pasivo

Es la técnica más simple que se emplea por trabajar en el área de interés, gracias a que se puede recolectar estos organismos presentes en el ámbito de origen o áreas donde se dará el monitoreo, para esa opción sería con líquenes evaluados y analizados por un largo periodo (Yauri & Vilca, 2015).

2.2.5. Bioindicador

Se considera bioindicador cuando un organismo presenta alguna reacción que puede ser reconocida frente a diferentes grados de modificación del medio. Muchas especies son incapaces de adaptarse ecológica o genéticamente a la condición ambiental alterada, de modo que su ausencia es, de hecho, un indicio del problema. Su comportamiento ante dichas condiciones difiere del natural en aspectos tales como hábito, fisiología, demografía y relaciones con otros organismos (Olaya & Martha, 2006). Otros autores lo definen como organismos que responden a la contaminación generando una alteración en su fisiología o su capacidad para acumular sustancias o elementos (Lijteroff et al., 2009).

Los bio organismos se utilizan elementalmente para definir las características de una biosfera. Estos organismos se conocen como bioindicadores o biomonitores, los cuales pueden variar considerablemente. El seguimiento biológico también incorpora datos relativos a amenazas pasadas y al impacto de diversas variables (Parmar et al., 2016).

2.2.6. Elementos traza

Los elementos traza son sustancias dispersadas en la naturaleza que inhiben distintos procesos metabólicos en el organismo de los vegetales y los animales cuando sobrepasan el nivel de concentración normal, algunos de estos elementos son Arsénico (As), Cadmio (Cd), Cobre (Cu), Cromo (Cr), Plomo (Pb) y Zinc (Zn) (K. Romero, 2014).

Por otro lado, tenemos micronutrientes que se encuentran en pequeñas cantidades. Entre ellos tenemos a los siguientes elementos: Boro (B), Cloro (Cl), Manganeso (Mn), Molibdeno (Mo), Cobre (Cu), Hierro (Fe), Níquel (Ni) y Zinc (Zn) (Torri et al., 2016).

2.2.7. Espectrómetro de Masa con Plasma Acoplado Inductivamente

El ICP-MS es una técnica multielemental que permite cuantificar elementos con bajos límites de detección (LD) de ng/Kg hasta mg/Kg y cuantificación alcanzados, así

como también tiene una gran capacidad de discriminar isótopos (B. Arias, 2016). Sus límites del ICP-MS son mucho más bajos en relación a otras técnicas analíticas convencionales como: la fluorescencia de rayos X, la absorción atómica con horno de grafito o generación de hidruros o espectrometría de emisión óptica, entre otros (B. Arias, 2016)

Esta técnica es ideal para analizar metales a nivel traza en matrices como agua, alimentos, lixiviados de fragmento de minerales o rocas, por su rapidez de análisis y capacidad de precisión (Yauri & Vilca, 2015).

2.2.8. Liquen

Los líquenes son seres complejos cuyos cuerpos vegetativos son llamados talos, los cuales están conformados por asociaciones simbióticas cíclicas entre un micobionte que llega a ser el hongo heterótrofo y un fotobionte como socio fotosintético, unicelular o cenobial, el cual está encargado de sintetizar los azúcares involucrados en el metabolismo, logrando liberar oxígeno (Barreno & Pérez, 2003). La parte fúngica del organismo se le denomina micobionte, la cual está conformada por un hongo de la división *Ascomycota* y otras ocasiones una levadura; ambos tipos de hongos son heterótrofos, esto quiero decir que son incapaces de fabricar su propio alimento, por lo que necesitan una otra fuente para nutrirse (Cabello, 1996). Por otra parte, tenemos al fotobionte que está compuesto por un alga o una cianobacteria, las cuales son autótrofas, es decir que son capaces de crear su propio alimento, mediante la producción de azúcares fabricada en el vía de la fotosíntesis (Uitzil, 2014).

2.2.8.1. Liquen como bioindicador de la calidad del aire

En el siglo XIX, los líquenes eran considerados como como probables bioindicadores, ya en 1960 se identificó al SO₂ (dióxido de azufre) como la causa primordial que influía en el desarrollo, distribución y salud de la población líquénica, a partir de entonces se suscitó un incremento exponencial de los investigaciones en temas de biomonitores empleando líquenes, es por ello que en la actualidad se tiene más de 2 000 estudios difundidos sobre ello, considerando libros y una colección de escritos sobre comunidades líquénicas que fueron publicadas en “The Lichenologist” (Hawksworth et al., 2005).

2.2.9. Biotipos de liquen

La apariencia de un liquen se determina por la morfología de su talo, esto se ve principalmente por el micobionte. Solo se conocen unos pocos casos en los que el

fotobionte determina el hábito de todo el talo, en los géneros filamentosos *Coenogonium*, *Ephebe*, *Cystocoleus* y *Racodium*. Sin embargo, el conocimiento de la influencia del fotobionte en la morfogénesis del líquen es relevante, porque solo después del establecimiento de la simbiosis se desarrolla el talo característico de un líquen. Los líquenes se dividen en tres principales grupos: estos son los tipos crustosos, foliosos y fruticulosos (Izquierdo, 2015).

2.2.9.1.Líquenes crustosos

Los líquenes crustosos están adheridos al sustrato con su parte inferior superficial y no pueden extraerse sin destruirlos. La pérdida del recurso hídrico está bloqueado principalmente a la superficie expuesta. Es por eso que cuando se desarrollan en superficies rocosas inclinadas, se benefician del flujo de agua superficial. Estos factores permiten que los líquenes toleren hábitats totalmente externos, como sustratos rocosos desnudos y expuestos. Aunque el tipo de crecimiento crustoso parece estar claramente definido, la variación del tipo básicamente crustoso es abundante. Se pueden distinguir los siguientes subtipos: costras pulverulentas, endolíticas, endofloeodicas, escamosas, peltadas, pulvinadas, lobuladas, efiguradas y sufruticulosas. Su organización en talo puede ser homómera o heterómera (Arroyo, 2022).

2.2.9.2.Líquenes foliosos

Los líquenes foliosos tienen forma de hoja, son planos y sólo están parcialmente adheridos al sustrato. Los talos foliosos son homómeros (líquenes gelatinosos) o heterómeros. Por lo general, tienen una organización dorsiventral con superficies superior e inferior distintas. El talo lo integran lóbulos con varios niveles de ramificación en su interior. Los líquenes foliosos desarrollan una gran variedad de tamaños y diversidad de talos (Figueredo, 2020).

- Los líquenes laciniados son los típicos líquenes foliáceos. Son lobulados y varían considerablemente en tamaño; pueden ser homómeros gelatinosos o como en la mayoría de los casos, heterómeros (Herrera et al., 2014). Los lóbulos pueden estar dispuestos radialmente (especies del género *Parmelia*), o superpuestos como tejas en un techo (*Peltigera* y *Hypocoenomyce*). En algunos géneros, los lóbulos del talo pueden volverse inflado, que tiene un centro medular hueco (Arroyo, 2022).
- Los líquenes umbilicados tienen talos circulares, que consisten en uno solo, lóbulo no ramificado o talos multilobulados con patrones de ramificación

limitados (Shukla et al., 2014). Todos están unidos al sustrato por un ombligo central desde la superficie inferior. Esto a menudo se puede reconocer por una depresión en forma de ombligo en la parte superior. El ombligo suele estar formado por hifas conglutinadas, dispuestas en paralelo y apretadas, sin células fotobiontes. Aparentemente, los umbilicados han evolucionado varias veces en grupos no relacionados como *Dermatocarpaceae*, *Parmeliaceae*, *Physciaceae* y *Umbilicariaceae* (Barreno & Pérez, 2003a).

2.2.9.3. Líquenes fruticulosos

Los lóbulos del talo de los líquenes fruticulosos son similares a pelos, en forma de correa o arbustiva y los lóbulos pueden ser planos o cilíndricos. Siempre sobresalen de la superficie del sustrato. Algunos grupos tienen talos dispuestos dorsiventralmente (por ejemplo, *Sphaerophorus melanocarpus*, *Evernia prunastri*), pero la mayoría posee talos radiales (Barreno & Pérez, 2003b).

2.2.10. Líquenes epífitos

Los líquenes epífitos son aquellos organismos que cubren los troncos y ramas de árboles y arbustos (Calatayud Lorente et al., 2000). Es por eso que se utilizaron como bioindicadores de la calidad del aire.

Los líquenes también pueden absorber metales pesados, por no tener una cutícula protectora, lo que les permite acumular en sus tejidos estos contaminantes, por eso se evalúan con métodos químicos para determinar las concentraciones en los organismos (Olaya & Martha, 2006).

También son considerados organismos perennes ya que pueden ser muestreados durante todo el año (Hawksworth et al., 2005).

2.2.11. Factores ecológicos que influyen en el crecimiento del líquen

2.2.11.1. Factores abióticos

- Los sustratos son considerados como factores discriminantes en el establecimiento del líquen, puesto que influyen mediante sus características químicas y físicas. Los líquenes pueden prosperar en cualquier sustrato, ya sean inmóviles o biológicos, como cortezas de árboles, madera muerta, hojas, caparazones y pieles de animales, minerales, plásticos, entre otros (Barreno & Pérez, 2003a).
- La textura o naturaleza física genera limitaciones en el establecimiento de los líquenes, como son las cortezas lisas, suaves, agrietadas o duras; las rocas más

resistentes o durables son factores de selección muy importantes, ya que la instalación será sencilla, y habrá una retención de agua por mucho tiempo (Barreno & Pérez, 2003a).

- El pH es otro aspecto que se debe tener en cuenta, dado que, si el sustrato posee un pH ácido o alcalino, los elementos se ionizan de modo diferente y esto va a intervenir sobre los talos del liquen; aunque se desconoce la forma en la que influye, en algunos estudios se percibe que gran cantidad de poblaciones liquénicas son pertinentes con la alcalinidad o acidez de sus sustratos (Barreno & Pérez, 2003b).
- El clima, la insolación, la temperatura y las precipitaciones causan respuestas de la vegetación y de las poblaciones que habitan en un territorio, pero ello es más relevante en la comunidad liquénica (Figueredo, 2020).
- La luz es otro aspecto importante y primordial para los líquenes, es por ello que son llamados organismos fotófitos ya que este factor influye en el crecimiento de talos simbióticos seguros. Cuando la luz, la temperatura y humedad interactúan en los fotosintetizadores, se expresan por valores del punto de compensación, en donde la cantidad de dióxido de carbono (CO₂) absorbido por la fotosíntesis es igual a la que se exhala en la respiración (Barreno & Pérez, 2003b).
- El agua es otro factor que obstaculiza el reparto de las poblaciones liquénicas; tal cual se mencionó, tiene una relación con la luz y ayuda en las funciones indispensables, así también, en la compensación de los talos (Barreno & Pérez, 2003a).
- La temperatura es un factor decisivo en la repartición de las plantas y líquenes, puesto que incide sobre su metabolismo. Las variedades de los desiertos cálidos tienen grados de tolerancia singulares a los de las altas montañas (Anze et al., 2007).
- El viento tiene resultados secundarios que se observan sobre todo en las situaciones de hidratación de los talos y un mínimo por efectos erosivos o por la velocidad del viento (Barreno & Pérez, 2003b).

2.2.11.2. Factores bióticos

Los líquenes tienen una estrecha relación con el medio abiótico, pero en su entorno hay otros organismos vivos como animales, plantas, y el ser humano que

puede impactar sobre su hábitat y modificar las condiciones fisiológicas de los líquenes (Sperlea et al., 2022).

En el mismo hábitat pueden existir otras especies liquénicas que cohabiten entre sí, generando una competencia por espacio; las poblaciones de líquenes con mejores adaptaciones fisiológicas y morfológicas adecuadas al medio, o las más tolerantes, tendrán un rango más amplio de colonización (Barreno & Pérez, 2003a).

2.2.12. *Physcia undulata*

Descripción

Talo folioso, irregular a orbicular, generalmente poco adherido al sustrato, lóbulos delgados, sueltos planos adunados a elevados, puntas redondeadas, eciliado. Superficie superior gris, de aspecto escarchado, sorediado. Soredia en soralia marginal que les dan a los márgenes una apariencia undulada, usualmente no alcanzando la parte más externa de la punta de los lóbulos, a veces erodados. Córtex superior prosoplectenquima, médula blanca, córtex inferior indistintamente prosoplectenquima, superficie inferior gris blanquecino a café, con rizinas concolores o más oscuros. Apotecios poco comunes, de hasta 2 mm de ancho, con margen ligeramente sorediado.

Figura 1

Physcia undulata



Nota: Adaptado de *Image of Physcia undulata*, por Jason Hollinger, EOL (<https://eol.org/media/10882937>), cc-by-sa-3.0.

2.2.13. *Heterodermia galactophylla*

Descripción

Talo: folioso, formando rosetas o irregularmente extendidas, robustas, de 2-4 (-10) cm de diámetro, firmemente adnatos, de dicotómica a irregularmente lobulados lóbulos: 1-2 mm, radiados, escasamente divididos, discretos, planos a ligeramente convexos, minuciosamente dentados, superficie superior ecilada: gris-blanquecina a raramente gris oscura en el centro, brillante, raramente pruinosa, soledios: granulares, a menudo marrón óxido, en soledios labriformes a capitados en lóbulos laterales y terminales, a veces confluentes y formando soledios marginales corteza superior: prosa plecténquima de la médula: blanca por encima, marrón óxido por debajo corteza inferior: ausente superficie inferior: afieltrada con pigmento de color óxido o marrón amarillento, metabolitos secundarios: corteza con atranorina y cloroatranorina; médula con atranorina, zeorina, un terpeno no identificado y un pigmento marrón oxidado. Sustrato y ecología: crece en troncos de árboles caducifolios y rocas musgosas en condiciones abiertas pero húmedas (Scutari, 1995).

Figura 2

Heterodermia galactophylla



Nota. Adaptado de *Sharnoff Image Collection*, por Stephen Sharnoff, Consortium of Lichen Herbaria(<https://lichenportal.org/portal/taxa/index.php?taxauthid=1&taxon=55063&clid=1018>), CCO 1.0.

CAPITULO III

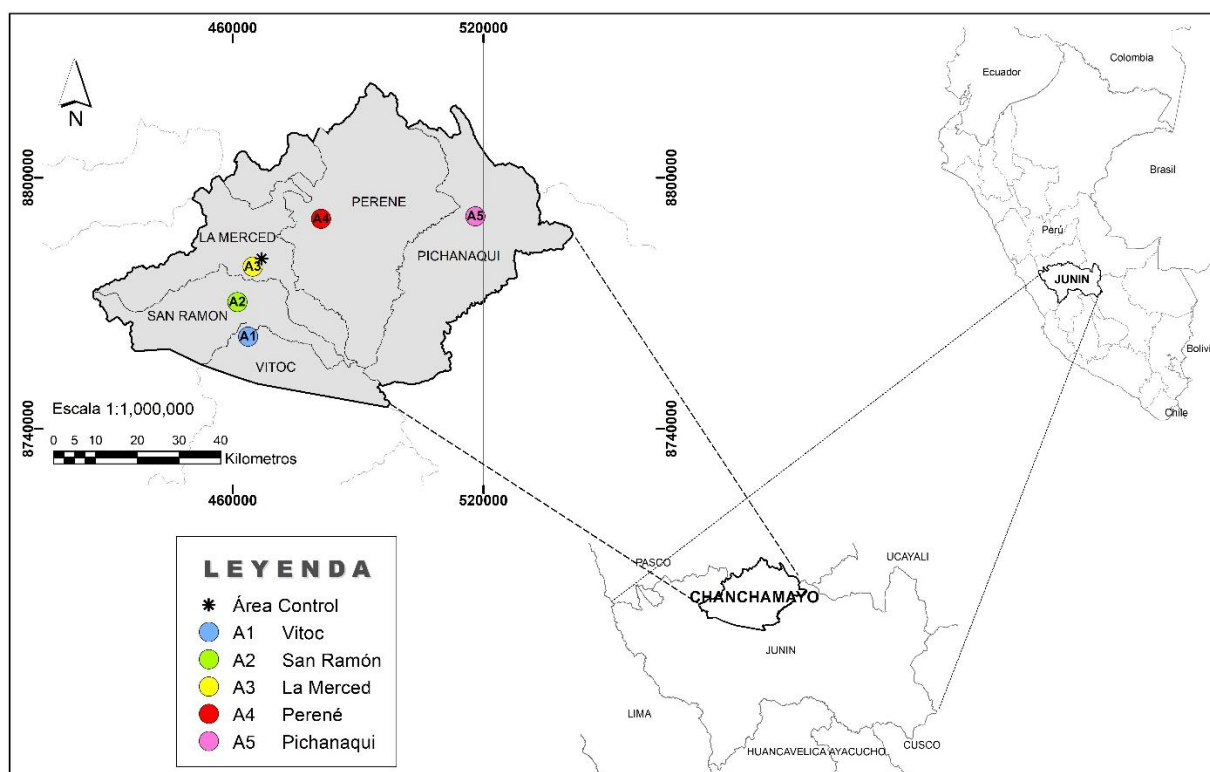
METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Ámbito de estudio

La provincia de Chanchamayo (11°03'00" S; 75°18'15" O) está localizada en el Departamento de Junín (Figura 3), abarca una superficie de 4 725 km², con 6 distritos (Vitoc, San ramón, Chanchamayo, San Luis de Shuaro, Perené y Pichanaqui) y posee una población de 151 489 de habitantes aproximadamente (INEI, 2018). Su altitud varía de 500 a 1 930 m s.n.m, con un clima tropical (cálido, húmedo y lluvioso) característico (MPCH, 2007). La temperatura media anual es de 24°C, mientras su precipitación media anual es de 115 mm, con mayores precipitaciones reportadas entre los meses de enero a marzo (alrededor de 2 000 mm) (MPCH, 2013). La humedad media es de 68% y el índice UV es 5 (MPCH, 2007).

Figura 3

Mapa de ubicación de la Provincia de Chanchamayo



Nota. En este mapa se puede observar las 5 áreas de monitoreo y el área control del estudio dentro de la Provincia de Chanchamayo, Departamento Junín, Perú.

3.1.1. Áreas de monitoreo

Dentro de Provincia de Chanchamayo, se eligió 5 distritos (Vitoc, San Ramón, La Merced, Perené y Pichanaqui) que fueron considerados como área de estudio para evaluar la calidad del aire de estos distritos. En la Tabla 2 se puede observar la altitud, extensión y población que contiene cada distrito seleccionado como área de estudio.

Tabla 2

Datos de la altitud, superficie y población de las áreas de estudio en Chanchamayo

Áreas	Distritos	Altitud (m s.n.m.)	Extensión (km ²)	Población (hab.)
A1	Vitoc	1 850	313.85	1 814
A2	San Ramón	820	591.67	25 800
A3	La Merced	751	919.72	27 790
A4	Perené	1 000	1 224.16	52 874
A5	Pichanaqui	525	1 496.59	39 054

Nota. Esta tabla muestra las características geográficas de las áreas de monitoreo de la Provincia de Chanchamayo. Tomada del *Censo Nacional 2017, INEI*.

3.1.1.1. Área control

El área de control de este estudio está ubicada en Kimiri (11°2'24.29" S; 75°18'45.32" O), distrito de Chanchamayo, al este de la ciudad de La Merced, con una altitud de 765 m s.n.m. Este lugar es destacado por sus hermosos atractivos turístico y su inmensa vegetación conservada por los pobladores de esta zona.

3.1.1.2. Área 1 (Vitoc)

El distrito de Vitoc (11°17'00" S; 75°15'30" O) tiene una altitud de 1 850 m s.n.m. y una extensión de 313.85 Km². Se caracteriza por ser una sociedad agrícola, donde predomina la siembra de café y granadilla. También destaca en la explotación de minas y canteras (MPCH, 2013).

3.1.1.3. Área 2 (San Ramón)

El distrito de San Ramón (11°08'25" S; 75°20'00" O) tiene una altitud de 820 m s.n.m. y una extensión de 591.67 Km². La extensión de tierras permite el desarrollo de la siembra de cítricos, café y la actividad forestal. La otra actividad económica es en la explotación de minas y canteras (MPCH, 2013).

3.1.1.4. Área 3 (La Merced)

El distrito de Chanchamayo (11°03'00" S; 75°18'15" O) tiene una altitud de 751 m s.n.m. y una extensión de 919.72 Km². Teniendo como capital a la ciudad de La Merced, uno de los centros turísticos más importantes de la Selva Central. Aquí, se ofrece una amplia gama de servicios para atender a los visitantes, incluyendo restaurantes que destacan por su gastronomía local, hoteles que ofrecen comodidad y hospitalidad, y servicios de transporte que facilitan el desplazamiento

de los turistas dentro y fuera de la ciudad. Esta infraestructura turística contribuye significativamente al desarrollo económico y al atractivo de La Merced como destino turístico destacado en la región (MPCH, 2013).

También se debe destacar la agricultura en la producción de cítricos, maracuyá, guanábana y piña. Así como también, las actividades de la industria manufacturera y construcción (MPCH, 2013).

3.1.1.5. Área 4 (Perené)

El distrito de Perené ($10^{\circ}56'00''$ S; $75^{\circ}12'00''$ O) tiene una altitud de 1 000 m s.n.m. y una extensión de 1 224.16 Km². La actividad agrícola se desarrolla satisfactoriamente en la producción de piña y guanábana. También tenemos la producción de café con alta calidad de exportación como es el café Caturra, Pache, Bourbon y Típica. Este distrito se distingue por ser un distrito que desarrolla efectivamente el comercio sobre todo en Sangani (MPCH, 2013).

3.1.1.6. Área 5 (Pichanaqui)

El distrito de Pichanaqui ($10^{\circ}56'42''$ S; $74^{\circ}51'45''$ O) tiene una altitud de 525 m s.n.m. y una extensión de 1496.16 Km², se encuentra ubicado entre los paralelos de Área (MPCH, 2013). Se dedica principalmente a la agricultura, esto se debe a que la región cuenta con un clima y tierra propicia para esta actividad mostrando una mayor producción de café de alta calidad idónea para la exportación. Así como también se produce plátanos, yuca, maíz, cacao, frijoles entre otro. En lo que respecta a la crianza de animales, se crían aves, porcinos, sajinos y peces de la Área (MPCH, 2013).

3.2. Nivel, tipo y diseño de investigación

3.2.1. Método de investigación

El método de investigación es deductivo. El razonamiento deductivo que permite generalizar a partir de casos particulares (Hyde, 2000). Como es el caso, de este estudio, donde los bioindicadores permitirán conocer la calidad del aire a partir de sus concentraciones de elementos traza. Así como también estos datos se convertirán en fuentes para estudios futuros.

3.2.2. Diseño de investigación

El presente estudio tiene un diseño de investigación transeccional o transversal, con el propósito de describir variables y analizar su incidencia e interrelación en un momento dado (Palella & Martins, 2012; Hernández et al., 2016).

3.2.3. Tipo de investigación

El tipo de investigación es básica, también conocida como investigación pura porque proporciona información de que elementos traza, y a que concentración se encuentran los elementos en las diversas áreas de monitoreo (J. L. Arias & Covinos, 2021).

3.2.4. Enfoque de la investigación

El enfoque es cuantitativo porque usa la recolección de datos para contrastar la hipótesis, en base a la medición numérica y al análisis estadístico, lo cual nos permitirá conocer los patrones de comportamiento y probar teorías (Hernández et al., 2016).

3.2.5. Nivel de investigación

El nivel de investigación es descriptivo, correlacional y explicativo (Palella & Martins, 2012). Descriptivo porque se evaluó los contaminantes de la atmosfera de la provincia de Chanchamayo y correlacional, porque se está comparando los contaminantes entre los distritos de Chanchamayo, también se dice que es explicativo ya que su objetivo es encontrar las relaciones causa-efecto de los elementos traza con respecto a la calidad del aire de la provincia de Chanchamayo.

3.3. Población y muestra

3.3.1. Población

La población está constituida por las diversas especies de líquenes presentes en la Provincia de Chanchamayo perteneciente a la Selva Central del Perú.

3.3.2. Muestra

La muestra está constituida de 56 muestras de líquenes para el Biomonitoreo Pasivo, recolectadas en 5 áreas (distritos) de monitoreo: Vitoc (n=4), San Ramón (n=10), La Merced (n=17), Perené (n=7) y Pichanaqui (n=16) y un área Control (n=2). Para el Biomonitoreo activo se usaron 7 muestras en total, Área control (n=2) y Vitoc (n=5).

El tipo muestreo para este estudio fue no probabilístico por conveniencia para el caso del biomonitoreo pasivo, ya que las muestras de líquenes fueron escogidas por los forofitos que contenían los líquenes de la especie identificada.

Por otro lado, en el biomonitoreo activo, se utilizó el muestreo por puntos cardinales, ya que las muestras colectadas del área control se trasplantaron al área industrial (Vitoc) por un periodo de 3 meses. Aquí se trabajaron con 5 muestras ubicadas a diferentes distancias y así poder ver el efecto que tiene esta industria sobre el medio ambiente.

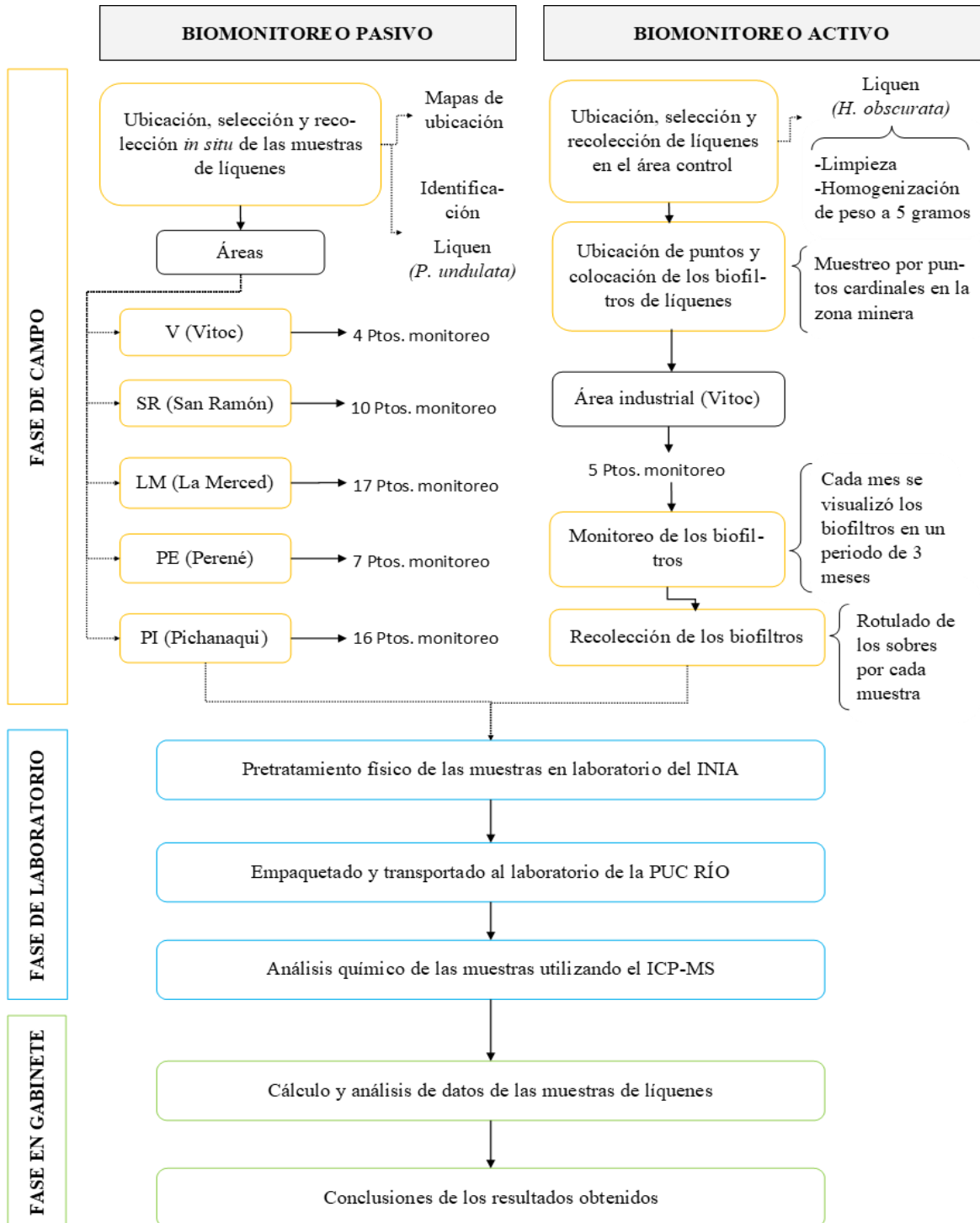
3.4. Procedimientos, técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.4.1. Procedimientos

Para esta investigación, se dividieron los procesos de evaluación de la calidad del aire en 3 fases (campo, laboratorio y gabinete). En la Figura 4 se presenta un flujograma que detalla cada fase del estudio realizada en la Provincia de Chanchamayo.

Figura 4

Flujograma de las actividades realizadas



3.4.1.1. Fase de campo

Biomonitoreo Pasivo

El biomonitoreo pasivo se realizó en las 5 áreas de monitoreo (V, SR, LM, PE, PI) con la especie *Physcia undulata*, siguiendo la metodología de Ghirardi et al. (2010).

→ Ubicación de los puntos de muestreo

Se realizó un recorrido por todas las áreas verdes de las áreas de monitoreo, logrando identificar una especie de líquen dominante, la cual fue escogida para ser identificada y analizada (Anexo 5).

→ Selección de los forofitos en las áreas de monitoreo.

Se observaron varias especies arbóreas dentro de los parques y áreas verdes de los distritos estudiados, donde se seleccionaron las siguientes especies por el diámetro y la altura: Albizia, Almendro, Ponciana, Palmera Washington, etc.

→ Elaboración de mapas de ubicación

Para cada área de muestreo se elaboró un mapa de ubicación de los puntos de monitoreo elaboradas con el programa ArcMap 10.5, donde se puede apreciar en que áreas verdes de la zona urbana se encuentran los forofitos seleccionados.

Área 1: En Vitoc se recolectaron 4 muestras de líquenes (Tabla 3) que se encontraron sobre la superficie de los troncos de los árboles dentro de la Plaza Principal de Vitoc.

Área 2: En San Ramón se recolectaron 10 muestras de líquenes (Tabla 4) de la especie *Physcia undulata* en tres parques, un anexo y calles concurridas.

Área 3: En La Merced se realizó la colecta de 17 muestras (Tabla 5) en cuatro parques y calles con alto tráfico vehicular.

Área 4: En Perené se extrajo 7 muestras de líquenes (Tabla 6) en dos parques principales, alrededor del estadio municipal de Perene y calles concurridas.

Área 5: En Pichanaqui se recolectó 16 muestras de líquenes (Tabla 7) en tres parques distintos y calles concurridas.

Tabla 3

Puntos de monitoreo ubicados en Vitoc para el biomonitoreo pasivo

N°	Área	Lugar	Referencia	Puntos de Monitoreo	Este	Norte	Tipo de área
1	A1	Vitoc	Centro poblado Santa Ana	V01	463585	8761157	Industrial

2	A1	Vitoc	En el Parque principal de Vitoc	V02	463484	8760775	Industrial
3	A1	Vitoc	Al oeste de la relavera de SIMSA	V03	463571	8762311	Industrial
4	A1	Vitoc	En el Parque principal de Vitoc	V04	463480	8760786	Industrial

Nota. Elaboración propia

Tabla 4 *Puntos de monitoreo ubicados en San Ramón para el biomonitoreo pasivo*

N°	Área	Lugar	Referencia	Puntos de Monitoreo	Este	Norte	Tipo de área
1	A2	San Ramon	Anexo 14- Fondo ecológico selva verde	SR01	463303	8764464	Urbana
2	A2	San Ramon	Anexo 14 - chacra	SR02	463144	8765564	Urbana
3	A2	San Ramon	Parque el Avión	SR03	461102	8770310	Urbana
4	A2	San Ramon	Av. Juan Santos Atahualpa-grifo LUBRIMAX	SR04	461201	8770206	Urbana
5	A2	San Ramon	Parque el Avión	SR05	461163	8770268	Urbana
6	A2	San Ramon	Parque Augusto B.leguia	SR06	461549	8770573	Urbana
7	A2	San Ramon	Parque Augusto B.leguia	SR07	461538	8770623	Urbana
8	A2	San Ramon	Urb. Arias Dávila	SR08	460437	8769930	Urbana
9	A2	San Ramon	Loza Las Palmas	SR09	460560	8770171	Urbana
10	A2	San Ramon	Loza Las Palmas	SR10	460603	8770184	Urbana

Nota. Elaboración propia

Tabla 5 *Puntos de monitoreo ubicados en La Merced para el biomonitoreo pasivo*

N°	Área	Lugar	Referencia	Puntos de Monitoreo	Este	Norte	Tipo de área
1	A3	La Merced	Parque integración	LM01	464249	8777733	Urbana

2	A3	La Merced	Parque principal de La Merced	LM02	464151	8777817	Urbana
3	A3	La Merced	Parque Bolognesi	LM03	462907	8776836	Urbana
4	A3	La Merced	Parque Bolognesi	LM04	462812	8776888	Urbana
5	A3	La Merced	Parque principal de La Merced	LM05	464147	8777790	Urbana
6	A3	La Merced	Parque integración	LM06	464227	8777718	Urbana
7	A3	La Merced	Parque principal de La Merced	LM07	464133	8777799	Urbana
8	A3	La Merced	Parque integración	LM08	464250	8777698	Urbana
9	A3	La Merced	Parque Bolognesi	LM09	462920	8776872	Urbana
10	A3	La Merced	Parque Don Bosco - Colegio MA	LM10	464796	8778789	Urbana
11	A3	La Merced	Parque Don Bosco - Colegio MA	LM11	464769	8778759	Urbana
12	A3	La Merced	Parque Miguel Grau	LM12	464690	8779006	Urbana
13	A3	La Merced	Parque Miguel Grau	LM13	464714	8779028	Urbana
14	A3	La Merced	Calle 6 de agosto - San Carlos -grifo Frente al grifo Petroperu	LM14	464737	8779700	Urbana
15	A3	La Merced	Capelo - Av. Circunvalacion	LM15	463221	8777467	Urbana
16	A3	La Merced	Jr. Santo Tomas - Pampa del Carmen	LM16	463325	8777025	Urbana
17	A3	La Merced	Calle las violetas - Pampa del Carmen	LM17	463324	8777044	Urbana

Nota. Elaboración propia

Tabla 6 *Puntos de monitoreo ubicados en Perené para el biomonitoreo pasivo*

N°	Área	Lugar	Referencia	Puntos de Monitoreo	Este	Norte	Tipo de área
1	A4	Perené	CC.PP. Pampa Silva -I.E.I. Perené	PE01	475238	8789680	Urbana
2	A4	Perené	CC.PP. Pampa Silva - I.E.I. Perené	PE02	475247	8789652	Urbana
3	A4	Perené	CC.PP. Pampa Silva - I.E.I. Perené	PE03	475276	8789671	Urbana
4	A4	Perené	CC.PP. Pampa Silva - esquina	PE04	475280	8789868	Urbana
5	A4	Perené	Estadio Perene	PE05	475404	8790062	Urbana
6	A4	Perené	Parque Santa Ana	PE06	475366	8789275	Urbana
7	A4	Perené	Parque Santa Ana	PE07	475374	8789276	Urbana

Nota. Elaboración propia

Tabla 7 *Puntos de monitoreo ubicados en Pichanaqui para el biomonitoreo pasivo*

N°	Área	Lugar	Referencia	Puntos de Monitoreo	Este	Norte	Tipo de área
1	A5	Pichanaqui	Parque Los Angeles	PI01	514367	8791325	Urbana
2	A5	Pichanaqui	Plaza de Armas Pichanaqui	PI02	513859	8792290	Urbana
3	A5	Pichanaqui	Parque Los Angeles	PI03	514404	8791318	Urbana
4	A5	Pichanaqui	Colegio Manuel Gonzales Prada	PI04	513951	8791930	Urbana
5	A5	Pichanaqui	Plaza de Armas Pichanaqui	PI05	513841	8792193	Urbana
6	A5	Pichanaqui	Plaza de Armas Pichanaqui	PI06	513910	8792252	Urbana

7	A5	Pichanaqui	Parque El Pescador	PI07	514452	8792524	Urbana
8	A5	Pichanaqui	Avenida Marginal	PI08	513390	8792185	Urbana
9	A5	Pichanaqui	Av. Micaela Bastidad - Colegio SAM	PI09	514085	8791917	Urbana
10	A5	Pichanaqui	Av. Marginal - grifo Los Angeles	PI10	514028	8791853	Urbana
11	A5	Pichanaqui	Av. Marginal - ind. Kionera	PI11	514054	8791800	Urbana
12	A5	Pichanaqui	Av. Santa Rosa - Mecánica	PI12	513894	8791744	Urbana
13	A5	Pichanaqui	Recreo campestre	PI13	515051	8791094	Urbana
14		Pichanaqui	Recreo campestre	PI14	515543	8790913	Urbana
15	A5	Pichanaqui	Cerca de una cancha de fútbol, maderera	PI15	515035	8791018	Urbana
16	A5	Pichanaqui	Cerca de un Car Wash	PI16	515085	8790797	Urbana

Nota. Elaboración propia

→ Recolección de la muestra de líquenes

Para la recolección de las muestras de líquenes de la especie (*Physcia undulata*), se pasó a medir la altura de cada forofito (1.5 m a 2.0 m), para evitar la alteración de las muestras de líquenes por las partículas del suelo de las áreas muestreadas (Figura 5).

Las fechas de recolección de las muestras de líquenes se realizaron en diferentes días de manera consecutiva según las distancias de los distritos en la provincia de Chanchamayo (Tabla 8).

Para la recolección de las muestras se usaron guantes de látex y una espátula de plástico, para no alterar el resultado de las muestras, ya que se hizo la medición de elementos traza. Después de extraer los talos liquénicos (*Physcia undulata*), se colocó las muestras en sobres manila (19 cm x 12 cm) debidamente etiquetados, para el traslado al Laboratorio de Espectrometría Atómica (LABSPECTRO) de la PUC-RIO.

Figura 5

Altura promedio para la extracción de líquenes



Nota. En esta figura se puede observar las medidas de la altura (1.5 m – 2.0 m) a la que se extrae las muestras de líquenes de los forofitos seleccionados.

Tabla 8

Fecha de recolección de las muestras de líquenes

Área	Distrito	Fechas de recolección
A1	Vitoc	25/07/2023
A2	San ramón	25/07/2023
A3	La Merced	27/07/2023
A4	Perené	28/07/2023
A5	Pichanaqui	26/07/2023

Nota. Esta tabla muestra las fechas de recolección de las muestras de cada área de monitoreo.

Biomonitoreo Activo

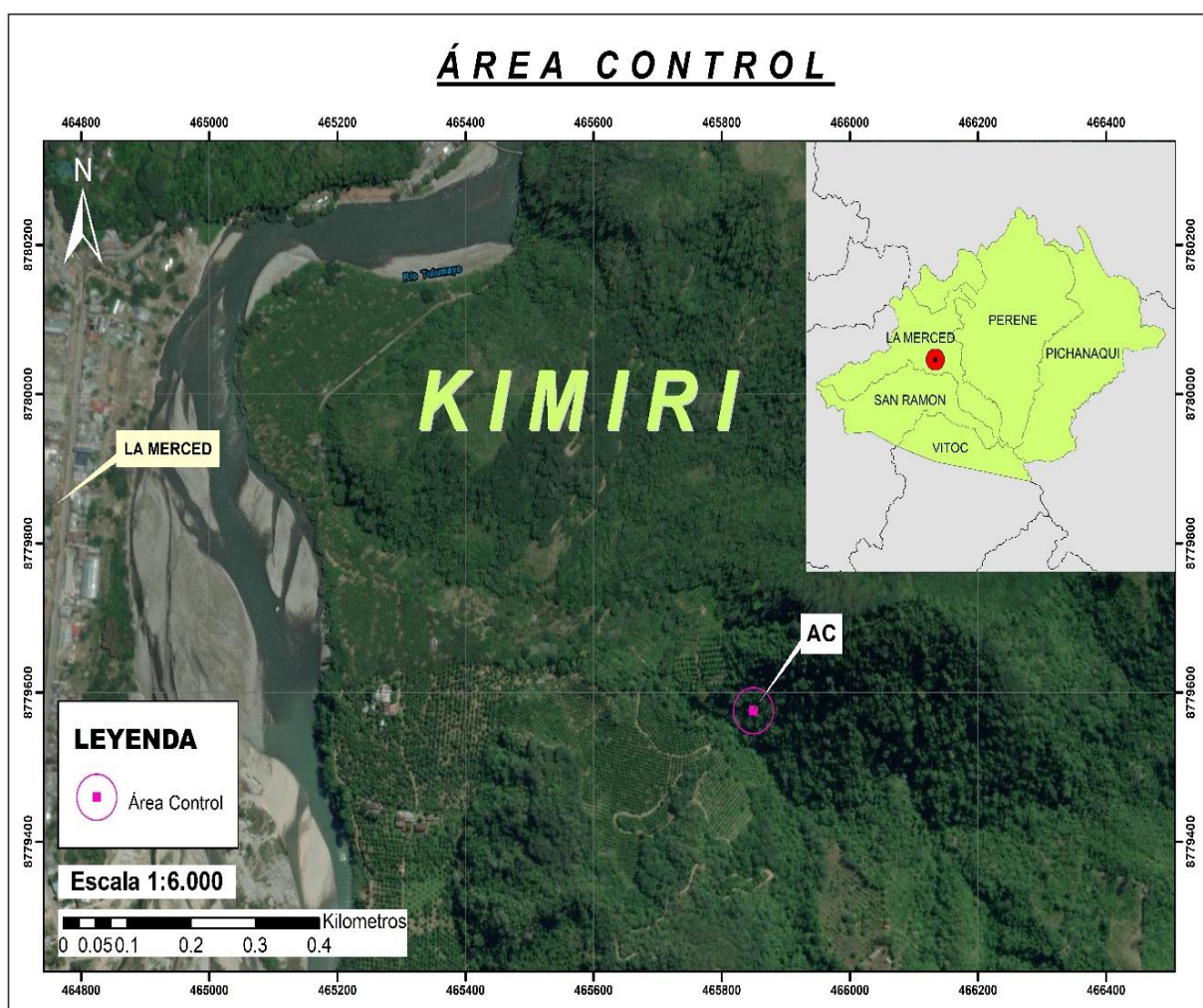
El biomonitoreo activo únicamente se realizó en Vitoc con la especie *Heterodermia galactophylla*, en donde se trasplantaron 5 muestras que fueron expuestas por un periodo de 3 meses de 01/05/2023 al 31/07/2023 (Salo, 2014), previo a ello las muestras de líquenes fueron recolectadas del área de control (Figura 6).

→ Ubicación del área control

Para el área control se escogió un lugar sin mucha actividad humana que pueda influir en las concentraciones de los elementos traza medidos, el área escogida contiene las especies requeridas para este estudio, tanto para el biomonitoreo activo como para el pasivo.

Figura 6

Área control del estudio ubicada en el sector Kimiri, La Merced, distrito de Chanchamayo



Nota. Este mapa muestra el área control (AC) de donde se recolectó las muestras en blanco para la comparación con las concentraciones de los puntos de monitoreo de las zonas urbanas e industriales

→ Selección e identificación de la especie de líquen.

Para esta actividad, se realizó un recorrido y observación de los forofitos del área control Kimiri, ubicada en la ciudad de La Merced – Chanchamayo. La especie que se encontró en mayor abundancia y riqueza fue la *Heterodermia galactophylla* (Figura 9), identificada gracias al Manual “Clave para la identificación de los géneros de Líquenes” (Barreno & Pérez, 2003).

→ Recolección de los líquenes del área de control

Se extrajo alrededor de 50 g de la especie de líquen *Heterodermia galactophylla* (Figura 24) para luego ser llevada a laboratorio y posteriormente expuestas en la zona minera en Vitoc.

→ Limpieza de las muestras de líquenes

En el Laboratorio de Suelos, Agua y Foliare (LABSAF) del INIA se realizó la limpieza física de los líquenes, donde se extrajo con unas pinzas de acero inoxidable, el sustrato sobrante del líquen y otras impurezas (Figura 25).

→ Homogenización de las muestras

Después de realizar la limpieza, se pasó a pesar las muestras (5 g cada una aprox.) en la balanza analítica del laboratorio, a continuación, se muestra la Tabla 9 con los pesos de cada muestra utilizada en el biomonitoreo activo.

Tabla 9

Peso de las muestras utilizadas en el biomonitoreo activo

Muestras trasplantadas	Puntos de monitoreo	Peso (g)
Muestra 1	V1	5.0635
Muestra 2	V2	5.0388
Muestra 3	V3	5.0135
Muestra 4	V4	5.0262
Muestra 5	V5	5.0172

Nota. Es esta tabla se muestra el peso de las muestras de líquenes trasplantados al área 1 (Vitoc) para su exposición durante tres meses.

→ Elaboración de los biofiltros de líquenes

Se emplearon mallas blancas de 17.5 cm x 14 cm en forma de sobres para contener los líquenes (Figura 7), los cuales fueron sujetos con hilo pabilo y colgados en los forofitos seleccionados, dependiendo de su distancia respecto a la relavera (de 50 m a 100 m).

Figura 7

Biofiltros de líquenes



→ Ubicación los puntos de monitoreo

Se elaboró un mapa de ubicación con los puntos de monitoreo (Tabla 10) ubicados alrededor de la relavera en Vitoc.

→ Colocación de los biofiltros de líquenes en las áreas de muestreo

Se colocaron las 5 muestras en los forofitos ubicados según sus puntos cardinales (Norte, Sur y Oeste) de la relavera de 50 a 100 metros, no se consideró el Este ya que está restringido el acceso (Figura 8).

El periodo de exposición de los líquenes fue de 3 meses, inició el 01 de mayo de 2023 y finalizó el 31 de julio de 2023.

Tabla 10

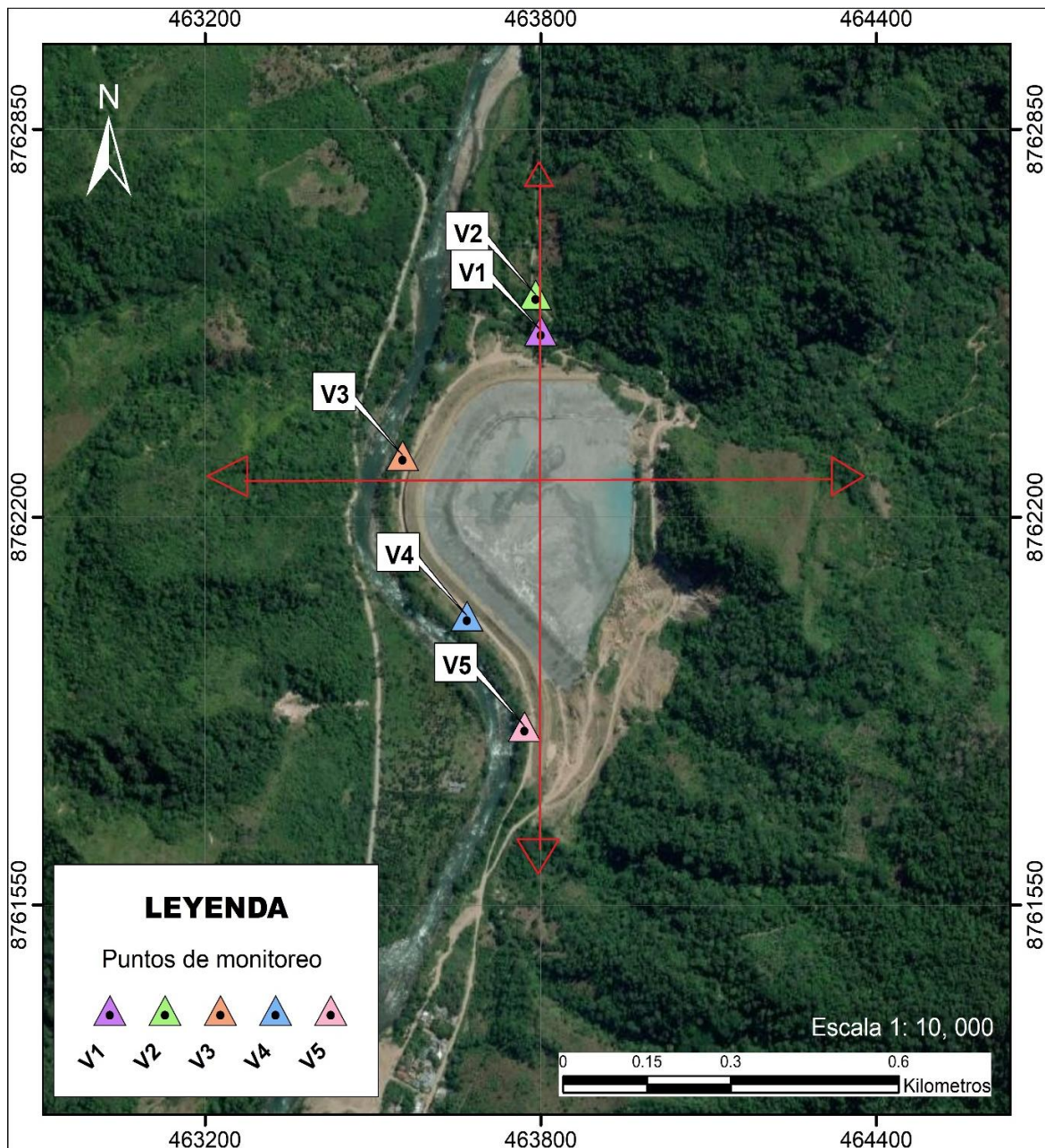
Puntos de monitoreo ubicados en Vitoc para el biomonitoreo activo

N°	Área	Lugar	Referencia	Puntos de Monitoreo	Este	Norte	Tipo de área
1	A1	Vitoc	Relavera SIMSA - norte	V1	463800	8762513	Industrial
2	A1	Vitoc	Relavera SIMSA - norte	V2	463791	8762573	Industrial
3	A1	Vitoc	Relavera SIMSA - oeste	V3	463553	8762304	Industrial
4	A1	Vitoc	Relavera SIMSA - sur	V4	463668	8762035	Industrial
5	A1	Vitoc	Relavera SIMSA - sur	V5	463771	8761850	Industrial

Nota. Elaboración propia

Figura 8

Muestreo por puntos cardinales en la zona minera de Vitoc



→ Monitoreo de los biofiltros de líquenes

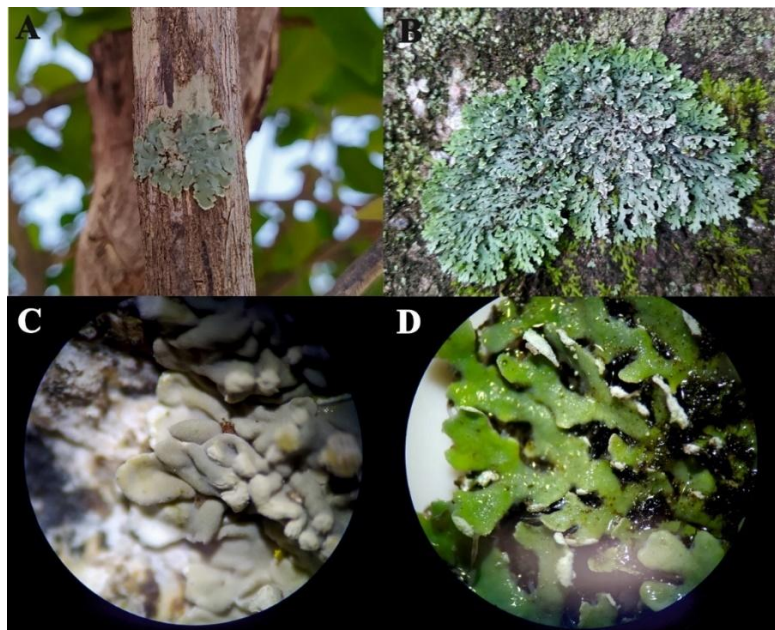
Para los monitoreos de los biofiltros, se fue cada mes para verificar que los biofiltros sigan en buen estado y en los puntos de monitoreo ubicados.

→ Recolección de los biofiltros de líquenes

Después de 3 meses se pasó a recoger los biofiltros para ser colocados en sobres manila debidamente rotulados con sus códigos respectivos.

Figura 9

Líquenes identificados de los puntos de monitoreo en las diferentes áreas de la provincia de Chanchamayo



Nota. Líquenes identificados, A y C (*Physcia undulata*) y B y D (*Heterodermia galactophylla*). Fotografía tomada por la investigadora.

3.4.1.2. Fase de laboratorio

→ Pretratamiento de las muestras

Las muestras recolectadas de ambos biomonitoreos (pasivo y activo) fueron enviados al Laboratorio de Espectrometría Atómica (LABSPECTRO) de la Pontificia Universidad católica do Rio de Janeiro (PUC-Río). En este laboratorio las muestras fueron limpiadas manualmente, no se lavaron, para poder medir los elementos atrapados en la superficie. La limpieza se realizó con materiales plásticos y guantes de látex, con el fin de eliminar materiales extraños, como tejido de liquen muerto, sustrato de corteza, otras especies de líquenes o musgos, e insectos.

→ Tratamiento y análisis químico de las muestras

Las muestras fueron secados a 65 °C por 24 horas usando un horno, se molieron y se homogenizaron en el molino de bolas, para luego ser tamizado en malla N°50 y almacenado en tubos Falcon de 50 mL. Se pesaron unos 200 ± 3 mg de cada muestra de liquen por triplicado y se sometieron a descomposición química y posterior análisis. La descomposición química se llevó a cabo utilizando 3.0 mL de ácido nítrico (HNO_3), 0.5 mL de peróxido de hidrógeno (H_2O_2) y 0.1 mL de ácido fluorhídrico (HF) a 200 °C en un frasco de teflón Savillex durante 4

horas en una placa de calefacción (Agnan et al., 2013). Luego de la descomposición, las muestras se diluyeron convenientemente hasta alcanzar el 2% de HNO₃ para después ser analizado con el espectrómetro de masas inductivamente acoplado Elan DRC II (PerkinElmer SCIEX, Norwalk, CT, EE.UU.).

3.4.1.3. Fase en gabinete

→ Análisis estadístico

Se utilizó el software estadístico R (Gentleman & Ihaka, 1993) para analizar los datos. En el biomonitorio activo, se compararon las medias de la muestra de control con el área industrial (Vitoc) mediante una prueba t de Student de dos muestras independientes. Para el biomonitorio pasivo, se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis para comparar múltiples grupos, seguida de la prueba de Mann-Whitney para la comparación por pares. Asimismo, se calculó el factor de enriquecimiento (FE), para comparar el grado de contaminación de los elementos en las áreas de estudio. También se realizó el análisis jerárquico de conglomerados (AJC) y el análisis de componentes principales (ACP) para identificar las posibles fuentes de contaminación.

- Análisis de comparación

Biomonitorio Activo

- T de Student de dos muestras independientes

Biomonitorio pasivo

- Kruskal-Wallis
- Análisis jerárquico de conglomerados (AJC)
- Factor de enriquecimientos (FE)
- Análisis de componentes principales (ACP)

3.4.2. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

- Elaboración de la ficha de campo para las anotaciones de la información de campo (Anexo 2).
- Se utilizó dos aplicativos (UTM Geo Map y Timestamp Camera) para verificar las coordenadas de los puntos de muestreo en las áreas de monitoreo dentro de la provincia de Chanchamayo.

3.5. Análisis de datos

3.5.1. Análisis de comparación

En el biomonitorio activo se utilizó la prueba t de Student de dos muestras independientes, para comparar las medias de dos grupos independientes (Área control y

área industrial). En el biomonitorio pasivo se aplicó la prueba de Kruskal-Wallis para comparar las áreas de monitoreo de la investigación, considerándose significativo el valor de $p < 0.05$. Para identificar cuáles grupos difieren significativamente, es necesario realizar pruebas post hoc. Estas pruebas son comparaciones múltiples que se realizan después de un análisis inicial (como la Kruskal-Wallis) para determinar dónde se encuentran las diferencias específicas, para este estudio se utilizó la prueba de Mann-Whitney.

3.5.2. Análisis jerárquico de conglomerados (AJC)

A los datos se les aplicó en análisis jerárquico de conglomerados (AJC), donde se usó el método Ward y distancia euclidiana al cuadrado, para identificar similitudes dentro del grupo de elementos en función de los niveles de concentración, así como para identificar probables fuentes de contaminación.

3.5.3. Factor de enriquecimiento (FE)

El factor de enriquecimiento (FE) se calculó como un porcentaje para cada elemento y punto de control mediante la siguiente ecuación:

$$FE_E(\%) = \frac{CE_A - CE_C}{CE_C} \times 100$$

Donde FE_E es el factor de enriquecimiento del elemento E, CE_A es la concentración del elemento E en la muestra de líquen, y CE_C es la concentración del elemento E en la muestra de control (Figueiredo et al., 2007). Para los criterios de interpretación, se consideró que los valores de FE superiores al 100% indicaban un enriquecimiento significativo (es decir, una concentración al menos dos veces superior a la del lugar de control). Los valores de FE del 50-100% indicaban un enriquecimiento moderado, mientras que los valores de FE inferiores al 50% indicaban condiciones normales (Huamán et al., 2018).

3.5.4. Análisis de componentes principales (ACP)

Análisis de componente principales (ACP) es una técnica para comprimir la dimensionalidad de grandes conjuntos de datos, mejorar su interpretabilidad y minimizar la pérdida de información, es decir, consiste en sintetizar y dar organización a la información contenida en una matriz de datos (Lozares & López, 1991). Martínez (2016) lo define como un tipo de transformación lineal aplicada a un conjunto de datos multivariados habitualmente correlacionados entre sí, para convertirlos en un menor número de variables no correlacionadas y ortogonales entre sí.

El ACP encuentra direcciones en el espacio que capturan la máxima varianza de un conjunto de datos mediante la transformación ortogonal de un conjunto de variables correlacionadas en un conjunto reducido de variables no correlacionadas llamadas componentes principales (CP) (Jolliffe & Cadima, 2016).

El conjunto de datos sobre líquenes que contiene el factor de enriquecimiento de 15 elementos traza de 5 áreas de muestreo (15 variables x 64 muestras) se sometieron a un análisis de componentes principales (ACP). Se aplicaron transformaciones logarítmicas antes del ACP, esto fue necesario para cumplir con los supuestos de varianza de homogeneidad y normalidad residual. Las cargas son los coeficientes de correlación entre los factores y los elementos. Los valores de carga cercanos a la unidad indican que el elemento es característico de esa fuente concreta

Se utilizó el análisis de componentes principales (ACP) con rotación Varimax para identificar fuentes potenciales de elementos en las áreas de estudio. El ACP se realizó sobre un conjunto de datos de líquenes estandarizados (media cero y varianza unitaria). Sólo se consideraron factores significativos (Fas) con valores Eigen superiores a 1 se consideraron significativos en el análisis y la interpretación (Kaiser, 1960). Los coeficientes de correlación de carga con valores iguales o superiores a 0.7 para los Fas y las variables originales se consideraron fuentes influyentes de cada Fa.

3.6. Consideraciones éticas

- El presente trabajo de investigación salvaguarda en primer lugar, la propiedad intelectual de los autores usados como referencia, respecto a las teoría y conocimientos diversos; citándolos adecuadamente y precisando en las fuentes bibliográficas. Como menciona Diaz, (2018) “la propiedad intelectual comprende los derechos de autor y propiedad industrial; en este contexto la propiedad intelectual escrita apropiadamente, está referida a los derechos de autor; sin embargo, es solo una parte; puesto que abarca el derecho de propiedad de la obra por el autor; la cual tiene su génesis cuando se materializa. En esta realidad deben existir mecanismos por el Estado peruano que resguarde al autor” p. 88.
- Se respetó los resultados registrados sin ninguna manipulación o falsificación.
- Se evitó malas prácticas en la ejecución del proyecto de tesis.
- Se evitó todo tipo de conflicto de interés y se detalló las fuentes de financiamiento.
- En el presente estudio no realizara ensayos en humanos.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Presentación de resultados y discusiones

4.1.1. Resultado 1

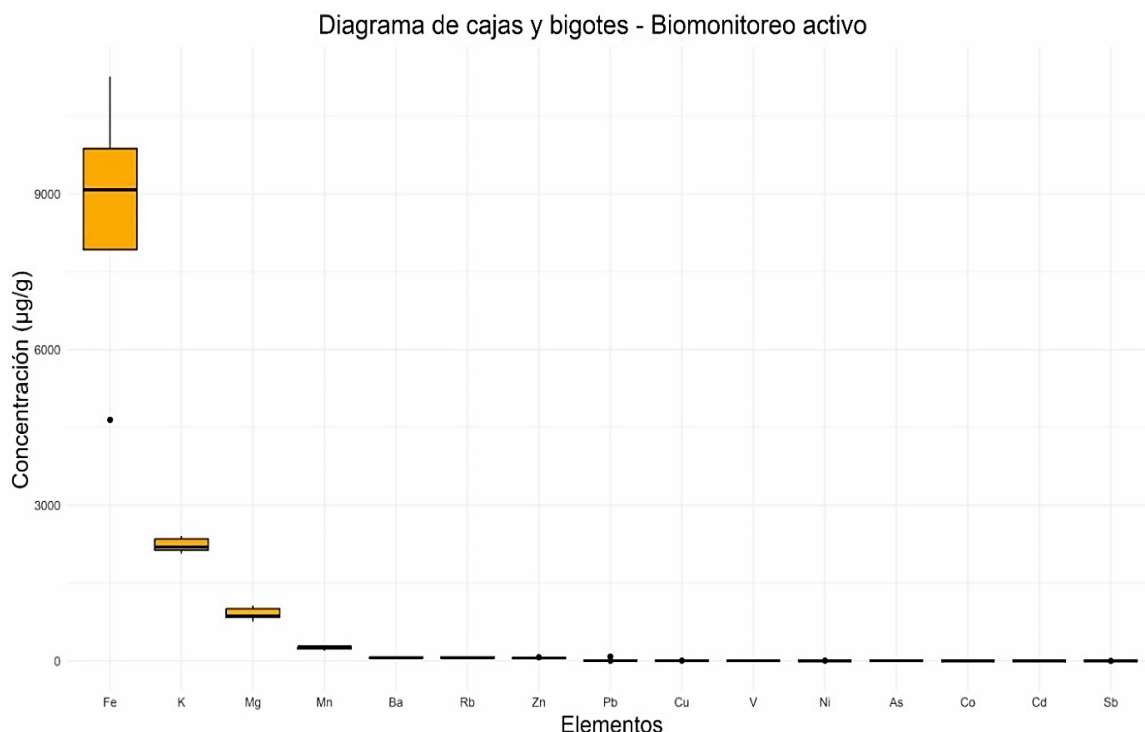
Concentración de los elementos traza del Biomonitoreo Activo:

En la Figura 10 se muestra el diagrama de cajas y bigotes de los elementos traza del biomonitoreo activo, donde se observa la mayor concentración de elementos a la izquierda del gráfico y descendiendo hacia la derecha según sus concentraciones.

Los elementos se presentan de la siguiente manera Fe>K>Mg>Mn>Ba>Rb>Zn>Pb>Cu>V>Ni>As>Co>Cd>Sb, siendo el elemento de mayor concentración Hierro (Fe) y el de menor concentración Antimonio (Sb). Mostrando una mayor variación en los elementos Hierro (Fe), Potasio (K) y Magnesio (Mg)

Figura 10

Diagrama de cajas y bigotes de los elementos traza del Biomonitoreo activo



La Tabla 11 muestra la concentración media \pm desviación estándar (DE) de quince elementos traza (As, Ba, Cd, Co, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Ni, Pb, Rb, Sb, V y Zn) del distrito de Vitoc (V) incluyendo el área control, cuantificadas en la especie de líquen *Heterodermia galactophylla*, expuesta durante un periodo de 3 meses (Del 01 de mayo de 2023 al 31 de julio de 2023). De la Tabla 11, se puede observar que la mayoría (excepto V) de los elementos traza

presentan mayores concentraciones en el área industrial (Vitoc) comparada al área de control (Kimiri). Asimismo, se puede observar que hay diferencia significativa ($p < 0.05$) para la mayoría (As, Ba, Co, Cu, Mn, Ni, Pb, Rb, Sb, V y Zn) de elementos, excepto para Fe, K, y Mg. El área de Vitoc posee una industria minera que explora y explota concentrados de Zn y Pb, el cual podría estar relacionado al incremento de Zn ($15.6 \mu\text{g/g}$) y Pb ($22.2 \mu\text{g/g}$) en las muestras. Tarawneh et al. (2021) también reportó concentraciones altas de Cu, Fe y Zn en una mina antigua abandonada en Eslovaquia, utilizando la especie de líquen *Cladonia pyxidata*. Este hallazgo se asemeja a los resultados por Valdivia & Ramírez (2018) en el pasivo ambiental minero de Santo Toribio ubicado en Perú, donde también se registraron altas concentraciones de metales como Cobre (Cu), Zinc (Zn) y Plomo (Pb). De manera similar, Rola (2020) detectó altas concentraciones de Zn, Pb y Cd en las áreas vinculadas a la actividad metalúrgica en Polonia, empleando la especie de líquen epigeo *Cladonia cariosa*.

Boamponsem et al. (2010), Ocampo et al., (2010) y Saib et al. (2023) en sus investigaciones indican que K, Fe, Mg y Mn están relacionadas a la re-suspensión del suelo. Así, el incremento observado de Fe, K, Mg y Mn en el área de Vitoc podría estar relacionado a la re-suspensión del suelo, debido a que esta área no se encuentra pavimentada y hay un enorme flujo de camiones que transportan el mineral tratado.

En la Tabla 11 se observa una leve variación en el Cadmio (Cd), que se produce como subproducto del tratamiento metalúrgico del Zn y Pb (Ramírez, 2002). Esta variación se justifica debido a la presencia de una unidad minera en esta área, donde se extraen estos metales. Fazli et al. (2015) señalan que el Cadmio es un metal proveniente de los efluentes de textiles, minería, las baterías de cadmio, industrias de electroplatinados y galvanizados.

Tabla 11

Media y desviación estándar (DE) de las concentraciones de elementos traza en la especie de líquen H. obscurata para el Biomonitorio Activo

Elementos	Área Control	Vitoc	<i>p</i> -valor
	(n=2)	(n=5)	
	Media±DE	Media±DE	
As	0.87±0.22 ^a	1.66±0.25 ^b	<i>p</i> <0.05
Ba	21.6±2.8 ^a	66.3±9.4 ^b	<i>p</i> <0.001
Cd	0.13±0.07 ^a	0.15±0.02 ^a	0.713
Co	0.62±0.18 ^a	1.11±0.16 ^a	0.106
Cu	2.98±0.87 ^a	3.48±1.14 ^a	0.582
Fe	1370±386 ^a	8556±2500 ^b	<i>p</i> <0.05
K	1863±176 ^a	2231±144 ^a	0.151
Mg	689±221 ^a	908±124 ^a	0.376

Mn	68.1±10.7 ^a	252±39 ^b	<i>p</i> <0.001
Ni	0.89±0.29 ^a	2.00±2.28 ^a	0.338
Pb	4.33±1.12 ^a	49.35±33.7 ^b	<i>p</i> <0.05
Rb	12.9±3.0 ^a	62.0±17.8 ^b	<i>p</i> <0.05
Sb	0.01±0.01 ^a	0.06±0.06 ^a	0.149
V	2.09±0.83 ^a	2.95±0.62 ^a	0.354
Zn	33.2±8.9 ^a	55.4±8.6 ^b	<i>p</i> <0.001

Nota. n equivales a la cantidad de puntos de muestreo. Diferentes letras sobre la misma línea indica diferencia significativa (*p*<0.05).

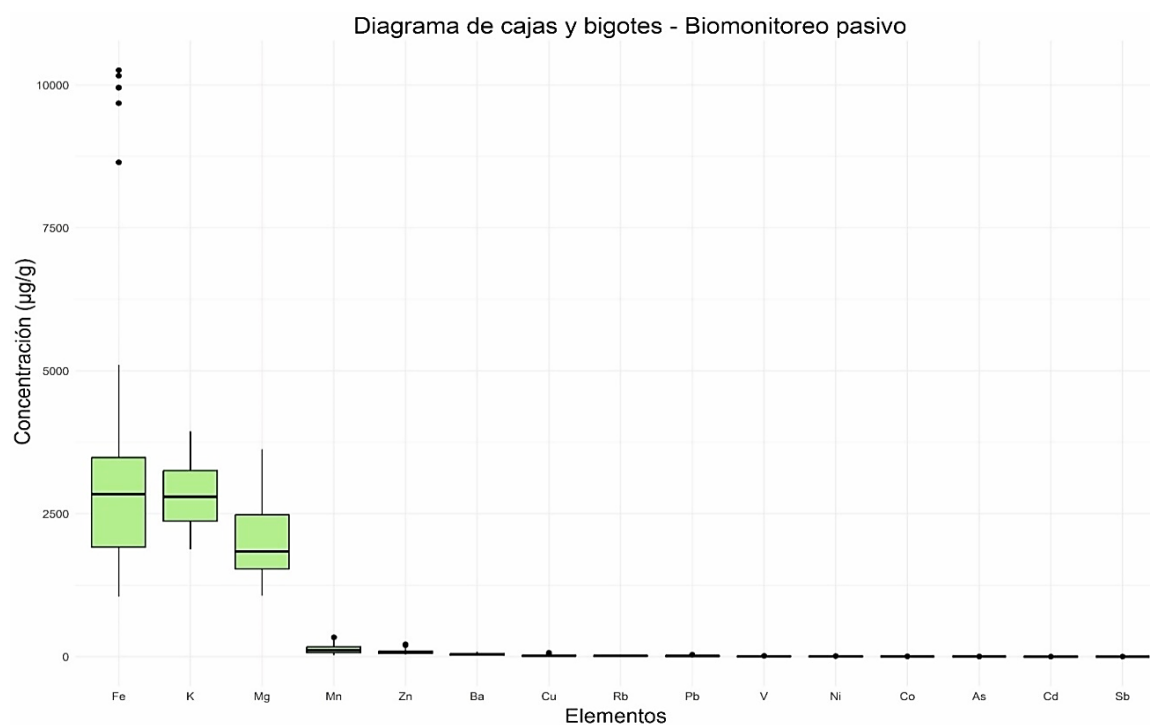
Concentración de los elementos traza del Biomonitorio Pasivo:

En la Figura 11 se muestra un diagrama de cajas y bigotes de todos los elementos traza de las 5 áreas de monitoreo de la Provincia de Chanchamayo observando la mayor concentración de elementos a la izquierda del gráfico y descendiendo hacia la derecha según sus concentraciones.

Los elementos se presentan de la siguiente manera Fe>K>Mg>Mn>Zn>Ba>Cu>Rb>V>Ni>Co>As>Cd>Sb, siendo el elemento de mayor concentración Hierro (Fe) y el de menor concentración Antimonio (Sb). Los elementos de mayor concentración como se observa en la Figura 11 claramente, son: Hierro (Fe), Potasio (K) y Magnesio (Mg), los cuales son elementos mayoritarios encontrados los estudio realizados con líquenes de Huamán et al. (2021) y Arroyo (2022).

Figura 11

Diagrama de cajas y bigotes de los elementos del Biomonitorio pasivo



La Tabla 12 muestra la concentración media \pm desviación estándar (DE) de 15 elementos traza (As, Ba, Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, K, Mn, Ni, Pb, Rb, Sb, V y Zn) en cinco áreas de monitoreo urbanas en Vitoc (V), San Ramon (SR), La Merced (LM), Perené (PE), y Pichanaqui (PI), y en el área de control (AC) Kimiri. Estos elementos fueron cuantificados a través de la especie de líquen *Physcia undulata*.

De la Tabla 12 se puede observar que La Merced presenta los más bajos valores de concentración en todos los elementos traza cuantificados (As, Ba, Cd, Co, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Ni, Pb, Rb, Sb, V y Zn), comparado a las demás áreas de monitoreo (V, SR, PE Y PI). Lucadamo et al. (2022) señalan que el tráfico, cuya frecuencia ha aumentado con el tiempo, ejerce una influencia constante en la bioacumulación de cobre (Cu), antimonio (Sb) y molibdeno (Mo). Esto justifica los altos niveles de elementos traza (cobre (41.7 $\mu\text{g/g}$) y antimonio (0.19 $\mu\text{g/g}$)) observados en Vitoc y San Ramón, donde se registra un alto tráfico vehicular por la actividad minera en estas zonas.

En Vitoc, se observaron concentraciones elevadas de Cd, Cu, Rb y Zn, lo cual podría atribuirse a la actividad minera en la zona y al intenso tráfico vehicular. Esto se debe a que Vitoc es una de las vías más utilizadas para el transporte de mercancías y para llegar a otros poblados cercanos. Según Puy et al. (2017), el plomo (Pb) y cobre (Cu) son mayormente generados por el tráfico de vehículos pesados, mientras que el zinc (Zn) proviene tanto de la minería como de las emisiones vehiculares y la incineración de residuos sólidos. Asimismo, Contardo et al. (2020) en su estudio realizado en áreas urbanas de Milán, Italia reportó al Cu y Sb como los principales contribuyentes de la carga atmosférica liberados por el tráfico vehicular.

En Pichanaqui, se registró niveles altos de los elementos Ba, Fe, Mn y V, producidos por la enorme cantidad de polvo en la ciudad, así como también el alto tráfico vehicular. Bozkurt, (2017) indica que el Fe, Mn y V, son elementos presentes en la corteza terrestre, así como en los gases de escape de los vehículos y en las emisiones producidas por la combustión de combustibles fósiles. Por otro lado, Jimenez (1990); Mora et al. (2013) señalan a los elementos mayoritarios (Si, Al, Fe, Ti, Mg, Ca, Na y K) más abundantes del suelo.

Las concentraciones de elementos traza (Tabla 12) respecto a las áreas urbanas de los distritos de Vitoc, San Ramón, La Merced, Perené y Pichanaqui, se muestran mayores variaciones a las del área control en los elementos de Ba, Cu, Pb, Rb y Zn. Así mismo, cabe recalcar en el estudios realizados por Saib et al. (2023) también se señaló al Plomo (Pb) como un contaminante de alta concentración, incluyendo también al Cd, Sb y Cu como contaminantes atmosféricos inusualmente fuertes, lo cual difiere con los autores Yauri & Vilca (2015) donde

las concentraciones más elevadas de las áreas rurales y urbanas fueron Fe, Mn, Na y V, y Varrica et al. (2022) donde mencionan que las concentraciones medianas de los elementos más abundantes en la zona industrial a Al, Fe y Ti.

Las concentraciones de cada elemento traza de las diferentes áreas de muestreo, muestran una concentración mayor al área de control, concordando con Huamán et al. (2018) el cual menciona que en la mayoría de las áreas urbanas y periurbanas eran superiores a las del área de control. Así como también, señala Saib et al. (2023) que encontró diecisiete elementos, incluidos Cd, Cu, Cs, Ga, Sb, Pb, V y Ti y, en menor medida, Cr, Al y Zn, con concentraciones de hasta 890 veces superiores a las del área de control.

En esta investigación realizada las zonas urbanas e industriales de la provincia de Chanchamayo, existe mucha diferencia significativa en los elementos como As, Ba, Mg, Mn, Ni, Pb, Rb y Zn, siendo similares a los elementos estudiados por Varrica et al. (2022), donde se muestra una diferencia significativamente en Al, As, Cr, Fe, Mn, Ni, Pb, Sb, Ti, V y Zn.

Castell (2012) en su estudio determinó que los contaminantes analizados químicamente, obtenidas del parque Rivera presentaron la mayor concentración promedio de elementos de origen natural a Al, Br, Ca, Fe, K, Mg, Na, P, Rb, Si, Sr y Ti; lo cual concuerda con esta investigación donde los elementos de K, Fe y Mg presentan concentraciones altas en todas las áreas de muestreo.

Por otro lado Castell (2012) en su investigación del parque Batlle se observaron mayores concentraciones en Fe, Cr, Cu, Pb, V, S y Zn, asociado con emisiones industriales, de elaboración de metales y derivados del tránsito vehicular.

Las probables fuentes de la contaminación determinada en este estudio son los motores a combustión de vehículos terrestres (Godoy, 2018), lo cual concuerdo ya que en las áreas urbanas donde fueron tomadas las muestras se observó una alta concurrencia de personas y comercios, donde es altamente probable utilizar vehículos motorizados para trasladarse.

Arroyo (2022), en su trabajo de investigación identifico que una parte del contenido bioacumulado de los elementos As y Cr en el sitio de muestreo (Parón abajo) y el Zn en el sitio de muestreo (Querococha arriba), tendría un origen atmosférico, mientras que, en el Pb con un alto valor en el factor de enriquecimiento, estaría ligado a las actividades antrópicas, lo cual difiere a este trabajo de investigación donde muestra que el As, Ba, Cu, Sb, Cd, Mg, Ni, Co, Mn, Fe y V provendrían del parque automotor; Rb y K vendrían de origen natural y el Pb y Zn de la actividad industrial del área de Vítoc.

En la Tabla 12, se observa que todas las concentraciones de elementos monitoreados han aumentado en comparación al área control. Este hallazgo coincide con el estudio realizado por Saib et al. (2023) en áreas urbanas e industriales en Argelia, donde se menciona que todas las concentraciones de elementos biomonitoreados mostraron aumentos significativos en comparación con la región de control.

Tabla 12

Media y desviación estándar (DE) de las concentraciones de elementos traza en la especie de líquen P. undulata para el Biomonitoreo pasivo

Elementos	Área Control (n=2)	Vitoc (n=4)	San Ramón (n=10)	La Merced (n=17)	Perené (n=7)	Pichanaqui (n=16)	<i>p</i> -valor
	Media±DE	Media±DE	Media±DE	Media±DE	Media±DE	Media±DE	
As	1.28±0.02 ^a	1.33±0.33 ^a	1.61±0.77 ^a	1.00±0.27 ^a	1.09±0.32 ^a	1.45±0.64 ^a	0.122
Ba	55.5±1.9 ^{ab}	25.5±3.0 ^b	47.4±18.6 ^{ab}	33.6±10.8 ^b	43.2±10.8 ^{ab}	56.0±22.1 ^a	<i>p</i> <0.05
Cd	0.13±0.02 ^b	0.56±0.09 ^a	0.38±0.13 ^{ab}	0.42±0.21 ^{ab}	0.33±0.12 ^{ab}	0.29±0.13 ^b	<i>p</i> <0.05
Co	0.72±0.05 ^b	0.66±0.31 ^b	1.48±0.63 ^{ab}	0.79±0.31 ^b	2.71±1.75 ^a	2.28±1.41 ^a	<i>p</i> <0.001
Cu	3.0±0.2 ^b	41.7±15.3 ^a	13.6±3.5 ^b	34.3±21.9 ^a	9.83±1.68 ^b	12.9±6.1 ^b	<i>p</i> <0.001
Fe	7370±518 ^a	2360±993 ^b	3264±797 ^{ab}	1808±613 ^b	2633±322 ^b	5873±3226 ^a	<i>p</i> <0.001
K	1863±89 ^a	2824±377 ^a	2612±654 ^a	2968±714 ^a	3021±417 ^a	2655±449 ^a	0.089
Mg	689±12 ^d	1960±505 ^{bc}	1739±296 ^c	1507±314 ^{cd}	2731±224 ^a	2321±585 ^a	<i>p</i> <0.001
Mn	176±2 ^{ab}	102±17 ^{ab}	141±75 ^{ab}	53.6±23.9 ^b	150±23 ^{ab}	191±88 ^a	<i>p</i> <0.001
Ni	0.78±0.10 ^b	3.01±0.34 ^b	3.45±1.36 ^b	2.95±0.79 ^b	7.37±2.58 ^a	5.64±2.24 ^a	<i>p</i> <0.001
Pb	5.4±0.6 ^c	18.8±6.2 ^{ab}	19.7±9.9 ^a	8.69±2.98 ^c	10.4±4.3 ^{bc}	11.9±3.9 ^{bc}	<i>p</i> <0.001
Rb	42.9±2.9 ^a	19.6±5.2 ^b	12.1±3.0 ^b	14.7±5.6 ^b	14.8±3.2 ^b	16.7±3.7 ^b	<i>p</i> <0.05
Sb	0.03±0.01 ^b	0.01±0.01 ^b	0.19±0.07 ^a	0.10±0.10 ^b	0.09±0.01 ^b	0.03±0.03 ^b	<i>p</i> <0.001
V	3.09±0.48 ^b	2.41±1.12 ^b	5.18±1.18 ^{ab}	3.26±1.39 ^b	5.50±1.62 ^{ab}	7.39±4.07 ^a	<i>p</i> <0.001
Zn	33±1 ^c	167±48 ^a	93.4±30.6 ^b	61.3±19.4 ^c	71.6±16.2 ^{bc}	75.3±20. ^{bc}	<i>p</i> <0.001

Nota. n equivale a la cantidad de puntos de muestreo. Diferentes letras (a, b, c y d) sobre la misma línea indica diferencia significativa (*p*<0.05)

4.1.2. Resultado 2

Factor de enriquecimiento (FE)

El Factor de enriquecimiento (FE) de los 15 elementos traza medidos en cada área de muestreo se calculó utilizando la ecuación del factor de enriquecimiento y los resultados de cada elemento se muestra en la Figura 12 y 13 con diagramas de cajas. Los elementos que se

enriquecieron significativamente (es decir, con concentraciones muy altas a las del área de control) son Cu, Ni y Sb en las áreas de muestreo de Vitoc, Perené y San Ramón; Co y Ni en la mayoría de las áreas, excepto en La Merced y Vitoc; Ba, Co y Sb en las áreas de San Ramón, La Merced, Perené y Pichanaquui; Cd, Pb y Zn en Vitoc; V, Mn y Fe en Pichanaquui; y Pb y Zn en San Ramón y Vitoc. Se observó un enriquecimiento moderado de Mg y Mn en PE y PI; V en la mayoría de las áreas excepto en Vitoc; Cd y Sb en PI; Co, Sb, Pb y Zn en La merced, Sb, Mn, V, Fe, Co y Ba en Vitoc. Se encontraron condiciones normales para Arsénico (As) en la mayoría de áreas de monitoreo excepto para San Ramón; así también se observó que el elemento Potasio (K) se encuentra en condiciones normales en Pichanaqui y San Ramón; Bario (Ba) en todas las áreas se encuentra en condiciones normales a excepción de Pichanaqui; Rubidio (Rb) en todas las áreas de monitoreo tienen un valor menor al 100%, lo que indica que el elemento Rb se encuentra en su estado natural en todas las áreas de monitoreo.

Los elementos con FE significativamente incluyen a Cu, Ni y Sb en las áreas urbanas de Vitoc, Perené y San Ramón (Figura 12 y 13), el cual concuerda con los elementos reportados (Ba, Cr, Pb, Sb, V y Zn) por Huamán et al. (2018) en la especie de líquen *Flavoparmelia caperata*, donde presenta el FE superior al 100% en la mayoría de los puntos de muestreo situados en zonas urbanas de Huancayo. Esta diferencia se debe a la variación del lugar y las actividades antropogénicas que se realizan en cada área urbana de la Selva Central. Por otro lado Varrica et al. (2022) en su estudio en la especie *Xanthoria calcicola* encuentra a los elementos con mayor enriquecimiento a As, Cr, Cu, Ni, Pb, Sb, V y Zn; así como también, Saib et al (2023) encontró a los elementos altamente enriquecidos a Ga, Sb, Se, y Pb en las zonas urbanas e industriales del este de Argelia. Los FE, las relaciones entre la clasificación jerárquica y los elementos indicaron que la atmósfera se vio afectada principalmente por la combustión de carbón (As, Pb o Cd) a principios del siglo XX. Actualmente existe otra mezcla de contaminantes (Sb, Sn, Pb y Cu) lo cuales son procedentes de fábricas locales industriales y del tráfico automovilístico (Agnan et al., 2013).

Figura 12

*Factor de enriquecimiento (FE) \pm desviación estándar para los elementos As, Ba, Cd, Co, Cu, Fe, K y Mg en 5 áreas de muestreo en los que se tomaron muestras de la especie *Physcia undulata* durante la investigación.*

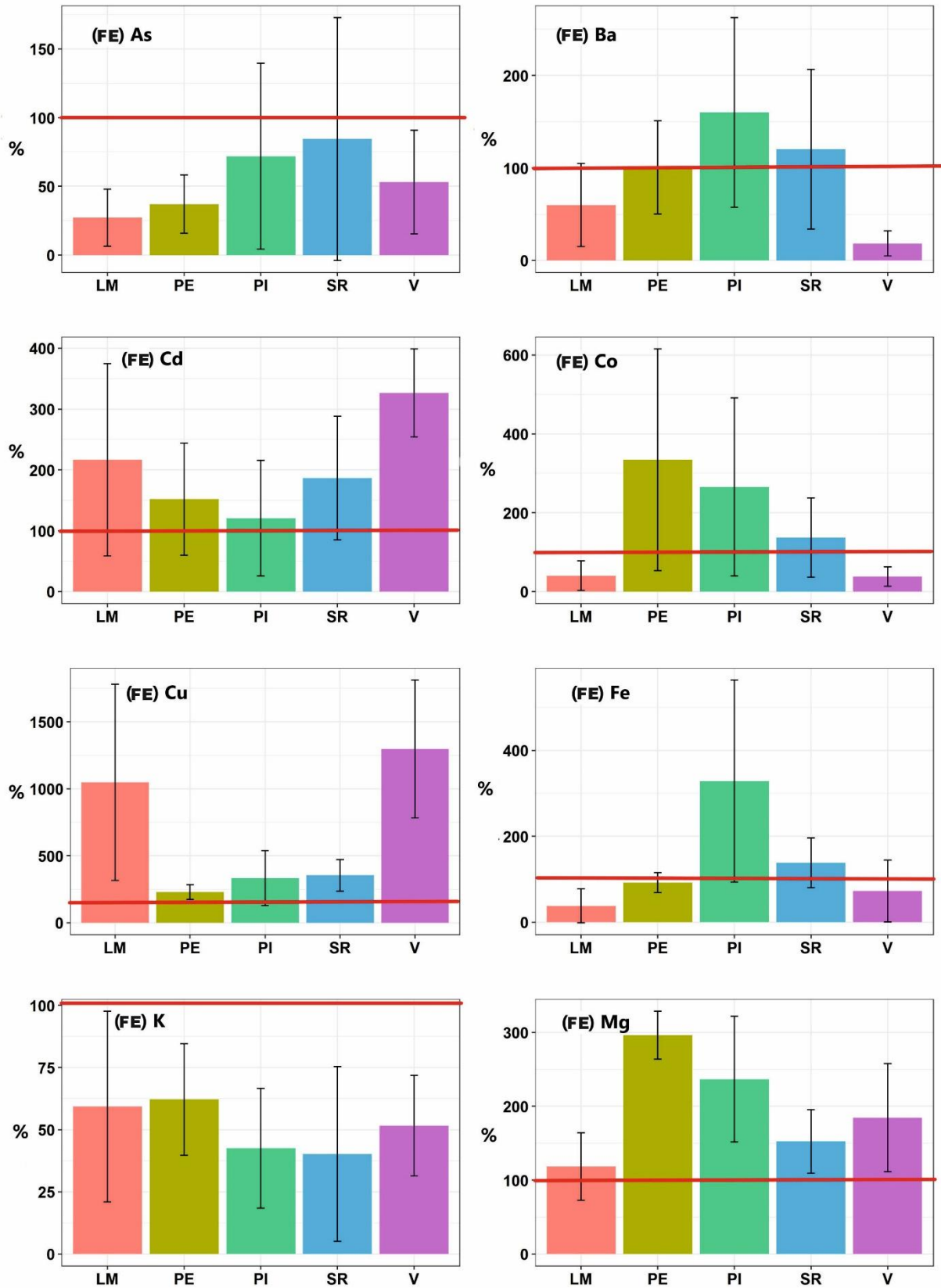
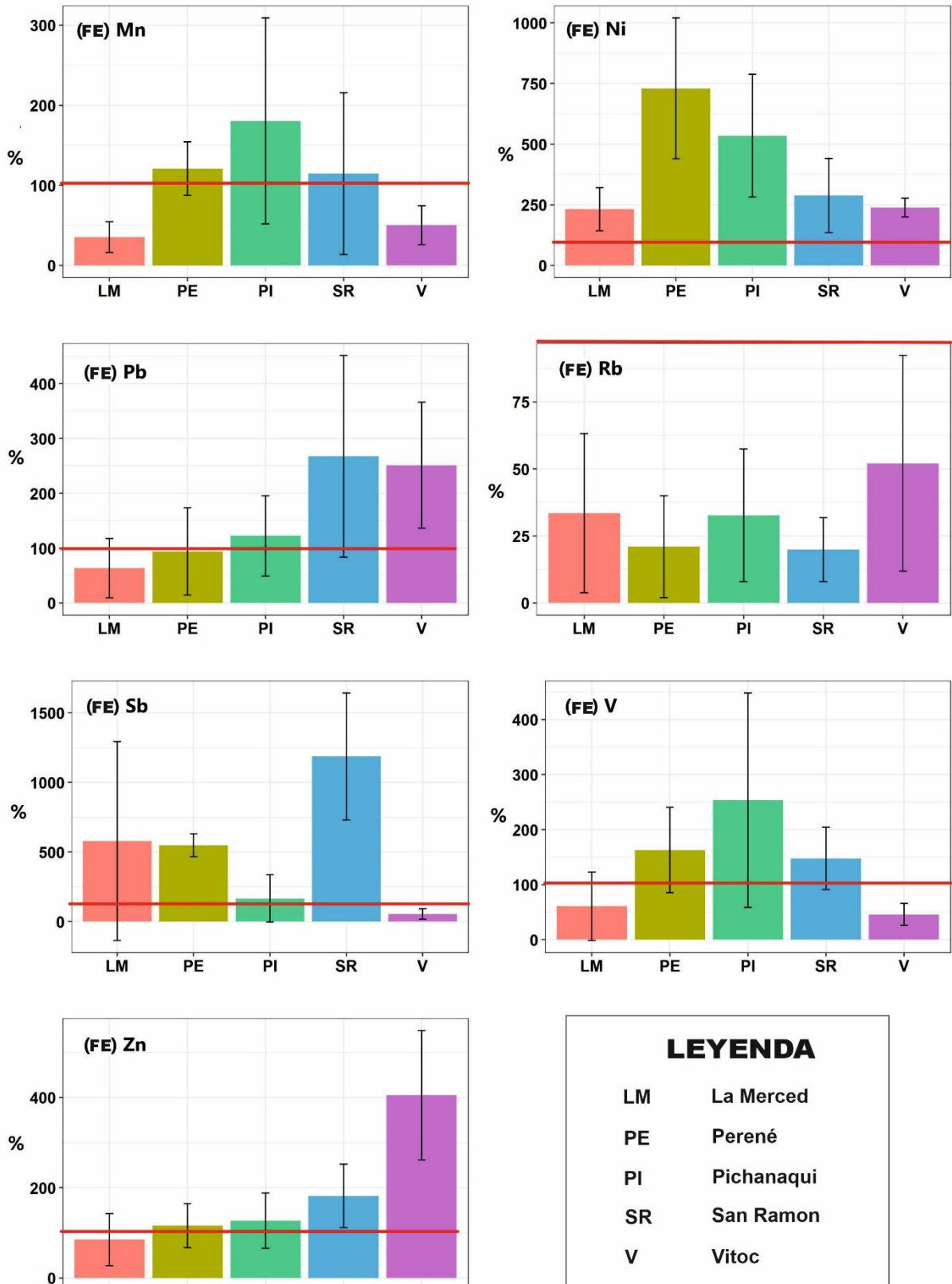


Figura 13

Factor de enriquecimiento (FE) \pm desviación estándar para los elementos Mn, Ni, Pb, Rb, Sb, V y Zn en 5 áreas de muestreo en los que se tomaron muestras de la especie *Physcia undulata* durante la investigación.



4.1.3. Resultado 3

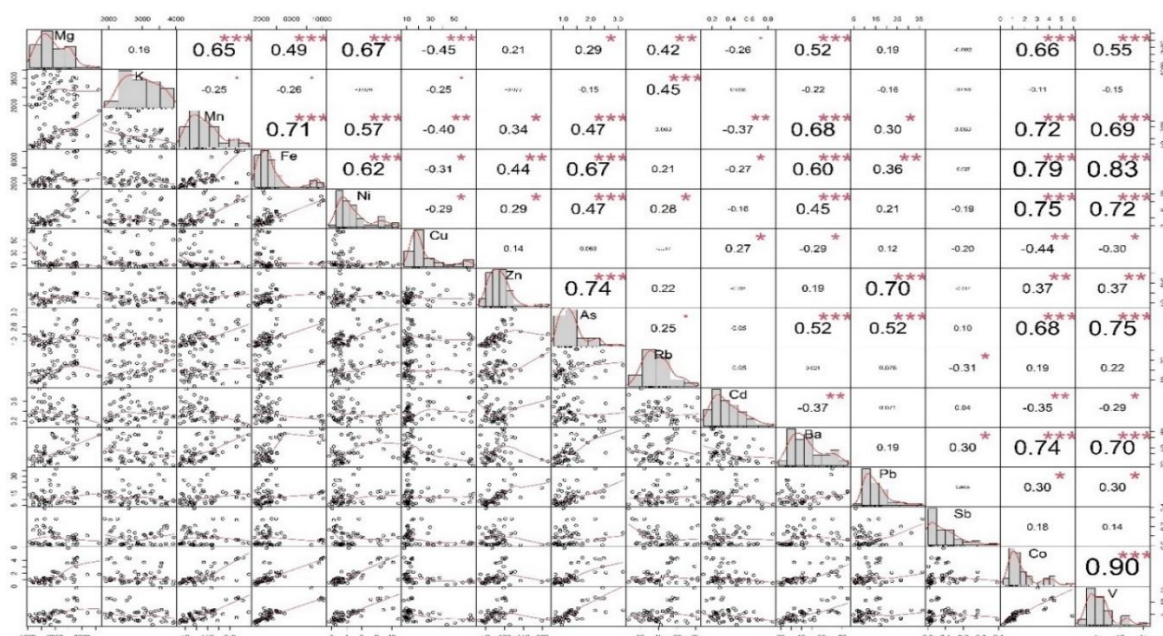
Para la evaluación de la diferencia significativa de los elementos traza se usó la prueba de Spearman (no paramétrico), ya que todos los elementos no tienen una distribución normal. La Figura 14, grafica la matriz de correlación de Spearman, indicando el coeficiente de correlación (r) que puede variar entre -1 y 1, y el nivel de significancia ($p < 0.05$) para cada elemento. En la matriz de correlación se ve, que el elemento Hierro (Fe) tiene más correlaciones positivas fuertes con los elementos Cobalto ($r=0,79$) y Vanadio ($r=0,83$); al igual que el Manganeseo (Mn), tiene 2 correlaciones positivas fuertes con Hierro ($r=0,71$) y Cobalto ($r=0,72$); y el Níquel (Ni) tiene una correlación positiva con Cobalto ($r=0,75$).

Los elementos que tiene una correlación positiva moderada con Magnesio (Mg) son Manganeseo (Mn), Níquel (Ni), Bario (Ba), Cobalto (Co) y Vanadio (V); también esta Manganeseo (Mn) correlacionado con Níquel (Ni), Bario (Ba) y Vanadio (V).

El elemento Zinc (Zn) esta correlacionado positivamente fuerte con Arsénico (As) y Plomo (Pb), esto quiere decir que donde hay presencia de Zinc existe los otros dos elementos mencionados, corroborando esto con el estudio de Ugolini et al. (2013) realizado en muestras de corteza de roble (*Quercus ilex L.*) donde encontró una fuerte correlación positiva a los elementos de Zn, Pb, Cd, Cu, Fe, Mn, Cr y Ba en la Florencia, Italia. Asimismo en el estudio de Cercasov et al. (2002) realizado en los países de Alemania, Italia y Rumania, encontraron correlaciones significativas entre As, Cu, Ni, Pb, Sb y V.

Figura 14

Coefficiente de correlación de Spearman para los elementos traza



Nota. Diferencia significativa: ***p-valor<0.001, **p-valor<0.01, *p-valor<0.05

Análisis de Componentes Principales (ACP)

En la Tabla 13 se presentan los resultados del ACP tras la rotación Varimax, el cual nos muestran 3 factores con valores propios superiores a 1, que explican el 66.30% de la variación total del conjunto de datos de líquenes. El factor 1 representa el 38.10% de la varianza total y muestra una alta carga positiva en Mg, Mn, Fe, Ni, As, Ba, Co y Zn. El Zn y Pb muestran una carga elevada en el factor 2, que explica el 16.00% de la varianza total. El factor 3 explica el 12.20% de la varianza total y se observaron altas cargas positivas en K y Rb.

El análisis de componentes principales y el análisis de clúster clasifican los elementos examinados en fuentes antropogénicas y naturales (Boamponsem et al., 2010). El ACP de este estudio mostro tres fuentes principales de contaminación: actividades de extracción minera, parque automotor y origen natural (Figura 15), existen 3 factores que representan el 66.30% de la varianza total registrada en el conjunto de los 15 elementos muestreados. El Factor 1 esta correlacionado con Mg, Mn, Fe, Ni, As, Ba, Co y V; donde su fuente de origen representa al parque automotor de las zonas urbanas de la Provincia de Chanchamayo. El Factor 2 esta correlacionado principalmente por Zn y Pb, elementos que son originados de la extracción de minerales en Vitoc; mientras el que el factor 3 esta ponderado con K y Rb, los cuales son provenientes de origen natural.

En los resultados del ACP del estudio Boamponsem et al. (2010) se obtuvieron tres componentes principales que explican el 87,4% de la varianza total en el conjunto de datos de líquenes. El primer componente principal (CP1) estaba correlacionado con Sb, Cu, V, Al y Co. El segundo componente principal (CP2) estaba correlacionado principalmente con Cd y Th, mientras que el tercer componente principal (CP3) estaba ponderado con Mn, Co, Hg y As. Varrica et al. (2022) en su estudio indica que aproximadamente el 79% de la varianza puede ser explicada por los tres primeros factores. El factor 1, que muestra altas cargas positivas en los elementos Ni, Pb, Sb, V y Zn, explica el 32% de la varianza total de la base de datos. Los elementos dominantes en el factor 2 son As, Cr, Fe y Mn (24% de la varianza total). El perfil del Factor 3, que representa otro 23% de la varianza restante, está determinado por elementos como el Al, y el Ti.

Tabla 13

*Resultado del ACP para las muestras del líquen *Physcia undulata**

Elementos	Fa1	Fa2	Fa3	Comunalidades
As	0.74	0.48	-0.02	0.80
Ba	0.82	0.16	-0.22	0.74

Cd	-0.49	0.28	-0.88	0.33
Co	0.85	0.15	0.03	0.75
Cu	-0.56	0.32	0.16	0.44
Fe	0.85	0.28	0.04	0.80
K	-0.13	-0.19	0.66	0.49
Mg	0.77	-0.04	0.30	0.68
Mn	0.84	0.10	-0.20	0.75
Ni	0.77	0.13	0.20	0.65
Pb	0.09	0.82	-0.15	0.70
Rb	0.22	0.27	0.79	0.74
Sb	-0.02	-0.01	-0.68	0.46
V	0.88	0.26	0.07	0.85
Zn	0.02	0.86	0.16	0.76
Autovalores	5.72	2.40	1.82	
% total de la varianza	38.10	16.00	12.20	
% de varianza acumulada	38.10	54.10	66.30	

Nota. Fa1= Factor 1, Factor=2 y Fa3=Factor 3. Análisis de componentes principales (ACP) con rotación Varimax, se consideró Kaiser-Meyer Olkin (KMO) con un valor propio >1.

Permanova

Los resultados del PERMANOVA muestran un valor de R^2 de aproximadamente 0.2107, lo que indica que el factor “Lugar” explica cerca del 21% de la variación total en las concentraciones de los elementos químicos (As, Ba, Cd, Co, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Ni, Pb, Rb, Sb, V, Zn). El estadístico F obtenido es 3.2714, con un valor p igual a 0.001, lo que confirma la existencia de diferencias significativas entre los lugares evaluados. Estos resultados sugieren que la distribución de los elementos químicos varía de manera no aleatoria en función de la ubicación geográfica.

Tabla 14

Modelo - PERMANOVA de Compuestos químicos regiones Selva Central

Fuente	gl	Suma de cuadrados	R^2	F	Sig.
Modelo	4	167.56	0.2108	3.2714	0.001***
Residual	49	627.44	0.7892		
Total	53	795.00	1.0000		

Nota. Los niveles de significancia están indicados como: ***p < 0.001; **p < 0.01; *p < 0.05.

En conjunto, los hallazgos estadísticos respaldan la idea de que la ubicación geográfica tiene un papel relevante en la variación de los elementos químicos analizados.

Análisis jerárquico de conglomerados (AJC)

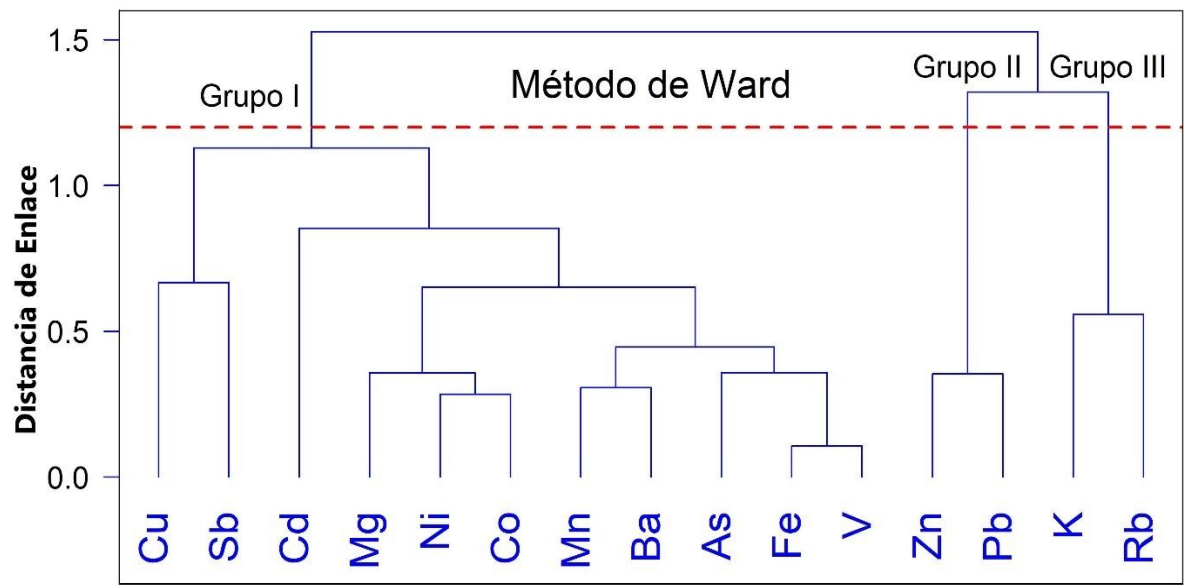
El análisis jerárquico de conglomerados (AJC) permitió agrupar los puntos de muestreo en función de la composición elemental de los líquenes *Physcia undulata*. Se identificaron tres grupos principales: I) un grupo asociado a fuentes vehiculares (Cu, Sb, Cd, Mg, Ni, Co, Mn, Ba, As, Fe y V), con mayor abundancia en zonas urbanas; II) un grupo relacionado con actividades industriales (Zn y Pb), especialmente en el distrito de Vitoc; y III) un grupo de origen natural (K y Rb), atribuido a la resuspensión de suelo. Estos resultados corroboran estudios previos (Puy et al., 2017) que vinculan elementos como Pb, Cu, Zn y V con actividades antropogénicas (actividades industriales, parque automotor y mineras) en áreas urbanas y suburbanas.

Puy et al. (2017) indica que el Zn, el Pb y el Cu proceden del tráfico de vehículos, mientras que el Co y el V tienen una fuente común principal en las emisiones de la industria metalúrgica. Según los autores Saib et al. (2023) la variabilidad observada en los grupo II (Cu, Talio (Ti), Ba, Neodimio (Nd), Antimonio (Sb), Cd, V, Bromo (Br), Lantano (La), Galio (Ga) y Cerio (Ce))y III (compuesto por Cobalto (Co), Arsénico (As), Torio (Th), Hafnio (Hf), Cesio (Cs), Cromo (Cr), Rubidio (Rb), Selenio (Se), Escandio (Sc), Uranio (U), Samario (Sm), Europio (Eu), Iterbio (Yb), Lutecio (Lu), Terbio (Tb), Mercurio (Hg) e Indio (In)) refleja principalmente actividades antropogénicas industriales y agrícolas notables.

De la Figura 15 se puede observar que existen 3 grupos de elementos con características similares. El primer grupo está conformado por elementos (Cu, Sb, Cd, Mg, Ni, Co, Mn, Ba, As, Fe y V) emitidos por fuentes vehiculares. El segundo grupo (Zn y Pb) esta provocado por la extracción de minerales, así como también el desgaste de los neumáticos y motores de vehículos, el tercer grupo (K y Rb) provendría de fuentes naturales. Concuerta de cierta manera con los autores (Huamán et al., 2018) en las fuentes de emisión de sus elementos muestreados, menciona que el grupo I conformado por Manganeso (Mn), As y Cd es del uso de productos agroquímicos usado por los agricultores; los elementos del grupo II, K y Rb estarían proviniendo de fuentes naturales y los elementos del grupo III, Cr, Fe, V, Ba, Zn, Ca, Cu, Sb, Pb, Al y Ni de fuentes vehiculares.

Figura 15

Dendrograma de los elementos analizados (Cu, Sb, Cd, Mg, Ni, Co, Mn, Ba, As, Fe, V, Zn, Pb, K y Rb)



CONCLUSIONES

- Se evaluó 15 elementos traza (As, Ba, Cd, Co, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Ni, Pb, Rb, Sb, V y Zn) presentes en el aire de las áreas urbana e industrial de Chanchamayo-Perú, usando líquenes (*Physcia undulata* y *Heterodermia galactophylla*) como biomonitores de la calidad del aire, estos elementos estarían proviniendo de fuentes vehiculares, industriales y naturales según el análisis de componentes principales (ACP) y el análisis jerárquico de conglomerados (AJC).
- Se cuantificó las concentraciones de As, Ba, Cd, Co, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Ni, Pb, Rb, Sb, V y Zn en áreas urbana e industriales de la Provincia de Chanchamayo observando diferencia significativa para todos los elementos comparados de cada área.
- Se comparó la concentración de elementos traza (As, Ba, Cd, Co, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Ni, Pb, Rb, Sb, V y Zn) en las 5 áreas de monitoreo incluyendo el área control de la Provincia de Chanchamayo, concluyendo que si existe diferencia significativa ($p < 0.05$) en las áreas de muestreo, excepto para los elementos de As ($p\text{-valor}=0.122$) y K ($p\text{-valor}=0.0892$) los cuales son iguales en todas las áreas de monitoreo.
- Se identificó las posibles fuentes de emisión, mediante el análisis de componentes principales (ACP) y el análisis jerárquico de conglomerados (AJC). De esta manera, se identificaron tres grupos de elementos traza, cada uno estaría asociado a una fuente específica: el grupo I relacionado con el parque automotor, el grupo II con actividades industriales y el grupo III de origen natural (Resuspensión del suelo).

RECOMENDACIONES

- Para futuros trabajos de investigación se plantea utilizar otras especies con la capacidad de bioacumulación de metales en la atmosfera y realizar una comparación de especies por área.
- Se propone que futuros investigadores, continúen con el estudio de la evaluación de la calidad del aire empleando el IPA en estos lugares de monitoreo.
- Se recomienda monitorear otras áreas urbanas e industriales de la provincia de Chanchamayo.
- Para futuros trabajos se recomienda realizar la caracterización de las fuentes de emisión de los contaminantes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abas, A. (2021). A systematic review on biomonitoring using lichen as the biological indicator: A decade of practices, progress and challenges. *Ecological Indicators*, 121, 1–11. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLIND.2020.107197>
- Agnan, Y., Séjalo, N., & Probst, A. (2013). Comparing early twentieth century and present-day atmospheric pollution in SW France: A story of lichens. *Slideshare.Net*, 172(1), 139–148. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envpol.2012.09.008>.
- Anaya, A., Gonzales, A., & Castellano, L. (2020). *Contaminación de elementos traza en suelos cultivados con hortalizas*. 18(2), 67–89.
- 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. *Revista Virtual REDESMA*, 1, 53–74.
- Aránguez, E., Ordóñez, J. M., Serrano, J., Aragonés, N., Fernández, R., Gandarillas, A., & Galán, I. (1999). Contaminantes atmosféricos y su vigilancia. *Revista Española de Salud Pública*, 73(2), 123–132. <https://doi.org/10.1590/s1135-57271999000200003>
- Arias, B. (2016). *Determinación de As(III) y As(V) en aguas de consumo humano mediante las técnicas de cromatografía de intercambio aniónico y espectrometría de masas con plasma de acoplamiento inductivo*. Universidad de Costa Rica.
- Arias, J. L., & Covinos, M. (2021). *Diseño y metodología de la investigación* (E. C. EIRL (ed.); Primera ed, Issue June).
- Arroyo, J. A. (2022). *Los líquenes como bioindicadores de presencia de metales pesados en ecosistemas de montaña: experiencia en la cordillera blanca, Ancash-Perú*". <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/5249>
- Arteaga, P. (2018). *Determinación de las fuentes de emisión del material particulado en el Valle del Mantaro mediante el análisis de componentes principales (ACP)*. 10–11. <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/5992>
- Ballester, F. (2005). Contaminación atmosférica, cambio climático y salud. *Revista Española de Salud Pública Salud Pública*, 79(2), 159–175. [https://doi.org/10.1016/S1470-2045\(15\)70238-X](https://doi.org/10.1016/S1470-2045(15)70238-X)
- Barreno, E., & Pérez, S. (2003a). *Biología de los líquenes*. 66–82.

http://www.uv.es/barreno/Biologia_de_los_liques.pdf

- Barreno, E., & Pérez, S. (2003b). Los líquenes y el medio. *Consejería de Medio Ambiente, Ordenación Del Territorio e Infraestructura Del Principado de Asturias*, 1(1), 84–90. https://www.uv.es/barreno/Medio_y_bioindicadores.pdf
- Boamponsem, L. K., Adam, J. I., Dampare, S. B., Nyarko, B. J. B., & Essumang, D. K. (2010). Assessment of atmospheric heavy metal deposition in the Tarkwa gold mining area of Ghana using epiphytic lichens. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, 268(9), 1492–1501. <https://doi.org/10.1016/j.nimb.2010.01.007>
- Bozkurt, Z. (2017). Determination of airborne trace elements in an urban area using lichens as biomonitor. *Environmental Monitoring and Assessment*, 189(11). <https://doi.org/10.1007/s10661-017-6275-x>
- Cabello, M. (1996). Los hongos: el quinto reino de la vida. *División Científica Del Museo de La Plata "Instituto Spegazzini,"* 3(20), 69–74.
- Calatayud Lorente, V., Sanz, M. J., Sánchez Peña, G., & Spain. Dirección General de Conservación de la Naturaleza. (2000). *Guía de líquenes epífitos: en las parcelas del Sistema Pan-Europeo para el Seguimiento Intensivo y Continuo de los Sistemas Forestales (Red CE de Nivel II) en España*. 185.
- Castelar, G. A. (2019). *Comparación entre tres muestreadores de material particulado (PM 2.5), en el Campus de la UNALM*. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/4186>
- Castell, E. D. (2012). Líquenes como bioindicadores de contaminación atmosférica en Montevideo-Uruguay/. *Rev. Int. Contam. Ambie.*, 28(4), 311–322. <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=FCT.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mnfn=002520>
- Castillo, G. (2004). *Ensayos toxicológicos y métodos de evaluación de calidad de agua Estandarización, intercalibración y aplicaciones* (Primera ed). <https://books.google.es/books?id=GD7-N3154OIC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>
- Cedron, E., & Velasquez, K. L. (2022). *Biomonitoreo de elementos traza Cd, Ni, Pb, Sb y As en el área metropolitana de Huancayo-Perú, utilizando Tillandsia Capillaris*

transplantada como biomonitor [Universidad Nacional del Centro del Perú].
https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/8546/T010_41290752_T_removed.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Cercasov, V., Pantelică, A., Sălăgean, M., Caniglia, G., & Scarlat, A. (2002). Comparative study of the suitability of three lichen species to trace-element air monitoring. *Environmental Pollution*, 119(1), 129–139. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(01\)00170-1](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(01)00170-1)
- Chavez, G. (2017). Capacidad del Liquen Fruticuloso (Ramalina Farinacea) para la Bioacumulación de Plomo en el aire en zonas metalúrgicas en Jicamarca, 2017. *Universidad César Vallejo*, 1–105. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/10872>
- Cifuentes, P., Rodríguez, A., Luengo, C., & Tapia, L. (2017). Relación entre contaminación atmosférica y consultas por enfermedades respiratorias en atención primaria de urgencia. *Revista Chilena de Enfermedades Respiratorias*, 36, 260–267.
- Contardo, T., Vannini, A., Sharma, K., Giordani, P., & Loppi, S. (2020). Disentangling sources of trace element air pollution in complex urban areas by lichen biomonitoring. A case study in Milan (Italy). *Chemosphere*, 256, 127155. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127155>
- Corley, J. (2003). Best practices in establishing detection and quantification limits for pesticide residues in foods. *Handbook of Residue Analytical Methods for Agrochemicals*, 409(c), 1–18.
- Cutipa, M. (2019). *Evaluación de la calidad de aire en la zona de uso turístico y recreativo – Sector Huampal del Parque Nacional Yanachaga Chemillen usando Xanthoria parietina, como bioindicadores*. Universidad Privada de Tacna.
- Díaz, E. T. (2006). Uso de líquenes como bioindicadores de presencia de metales pesados en áreas cercanas a empresas mineras de altura en Perú. In *Repositorio de la UNI*. <http://hdl.handle.net/20.500.14076/643>
- Díaz, J. R. (2018). *Políticas públicas en propiedad intelectual escrita. Una escala de medición para educación superior del Perú*. <https://www.redalyc.org/journal/290/29055767006/html/>
- DIGESA. (2005). *Protocolo de monitoreo de la calidad del aire y gestión de los datos*.

http://www.digesa.minsa.gob.pe/norma_consulta/Protocolo-de-Calidad-del-Aire.pdf

- Fazli, M. M., Soleimani, N., Mehrasbi, M., Darabian, S., Mohammadi, J., & Ramazani, A. (2015). Highly cadmium tolerant fungi: Their tolerance and removal potential. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 13(1), 1–9. <https://doi.org/10.1186/s40201-015-0176-0>
- Figueiredo, A. M. G., Nogueira, C. A., Saiki, M., Milian, F. M., & Domingos, M. (2007). Assessment of atmospheric metallic pollution in the metropolitan region of São Paulo, Brazil, employing *Tillandsia usneoides* L. as biomonitor. *Environmental Pollution*, 145(1), 279–292. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2006.03.010>
- Figueredo, C. (2020). Uso de líquenes foliosos como bioindicadores de la calidad del aire de Bogotá, D. C. In *Universidad de La Salle, Ciencia Unisalle*. <https://ciencia.lasalle.edu.co/biologia%0Ahttps://ciencia.lasalle.edu.co/biologia%0Ahttps://ciencia.lasalle.edu.co/biologia/86>
- García, J. M., Sarmiento, L. F., Rodríguez, M. S., & Porras, L. S. (2017). Uso de bioindicadores para la evaluación de la calidad del agua en ríos aplicación en ríos tropicales de alta montaña. Revisión corta. *UG Ciencia*, 23, 47–62. <https://revistas.ugca.edu.co/index.php/ugciencia/article/view/659/1174>
- Gentleman, R., & Ihaka, R. (1993). *R: What is R?* <https://www.r-project.org/about.html>
- Ghirardi, R., Fosco, M. E., Gervasio, S. G., Imbert, D., Enrique, C., & Pacheco, C. G. (2010). Líquenes y Claveles del Aire como Bioindicadores de Contaminación Atmosférica por Metales Pesados en el Microcentro Santafesino. *Fabicib*, 14, 165–173. <https://doi.org/10.14409/fabicib.v14i1.861>
- Godoy, N. (2018). Evolución de la contaminación atmosférica Antártica Por Material Particulado: Biomonitorio de líquenes. *Universidad de Chile*, 1(2), 1–77. https://www.uam.es/gruposinv/meva/publicaciones_jesus/capitulos_espanyol_jesus/2005_motivacion_para_el_aprendizaje_Perspectiva_alumnos.pdf%0Ahttps://www.researchgate.net/profile/Juan_Aparicio7/publication/253571379_Los_estudios_sobre_el_cambio_conceptual_
- Griño, P. (2006). *Movilidad de elementos traza en material particulado PM10 de la atmósfera de Santiago*. Universidad de Chile.
- Hawksworth, D. L., Iturriaga, T., & Crespo, A. (2005). Lichens as rapid bioindicators of

- pollution and habit disturbance in the tropics. *Revista Iberoamericana de Micología*, 22(2), 71–82. [https://doi.org/10.1016/s1130-1406\(05\)70013-9](https://doi.org/10.1016/s1130-1406(05)70013-9)
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. (2016). Metodología de la investigación. In J. Mares (Ed.), *Revista de enfermería (Barcelona, Spain)* (Quinta edi, Vol. 39, Issue 2).
- Herrera, M., Lücking, R., Pérez, R. E., Miranda, R., Sánchez, N., Barcenas, A., Carrizosa, A., Zambrano, A., Ryan, B. D., & Nash, T. H. (2014). Biodiversity of lichens in Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85(SUPPL.), 82–99. <https://doi.org/10.7550/rmb.37003>
- Huamán, A., Huamán, J. K., Álvarez, D. M., & Gioda, A. (2018). Trace element biomonitoring in the Peruvian andes metropolitan region using *Flavoparmelia caperata* lichen. *Chemosphere*, 210, 849–858. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.07.013>
- Huamán, A., Yauri, H., Vilca, X., Beringui, K., Camargo, A., Suazo, J., Curasi, N., Gioda, A., & Unchupaico, I. (2021). *Biomonitoreo de Elementos Potencialmente Tóxicos en Dos Áreas Tillandsia latifolia y T. purpurea como Biomonitor*. 0123456789.
- Huereca, A., Salcedo, S., Alvarado, M., & Moreno, S. (2018). Los líquenes: definición, características, importancia y usos potenciales. *Biología y Sociedad*, 17–27. <https://biologiaysociedad.uanl.mx/index.php/b/article/view/58>
- Hyde, K. F. (2000). Recognising deductive processes in qualitative research. *Qualitative Market Research: An International Journal*, 3(2), 82–90. <https://doi.org/10.1108/13522750010322089>
- INEI. (2018). *Resultados Definitivos - Tomo II - Características de la población / Cobertura de seguro de salud*. <http://censo2017.inei.gob.pe/resultados-definitivos-de-los-censos-nacionales-2017/>
- Izquierdo, A. (2015). El mundo de los líquenes : Naturaleza y utilización de unos organismos únicos. *Biología on Line*, 4(1), 3–25.
- Jiménez, R. (1990). *Contenidos de elementos mayoritarios y minoritarios y su relación con propiedades físico químico en perfiles de suelo de la provincia de Huelva* [Universidad de Sevilla]. <https://hdl.handle.net/11441/79121>
- Jolliffe, I. T., & Cadima, J. (2016). Principal component analysis: A review and recent developments. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 374(2065), 1–16. <https://doi.org/10.1098/rsta.2015.0202>

- Krömer, T., García-Franco, J. G., & Toledo-Aceves, T. (2014). Epífitas vasculares como bioindicadoras de la calidad forestal: impacto antrópico sobre su diversidad y composición. *Bioindicadores: Guardianes de Nuestro Futuro Ambiental*, 606–623.
- Lijteroff, R., Lima, L., & Prieri, B. (2009). Uso de líquenes como bioindicadores de contaminación atmosférica en la ciudad de san luis, argentina. *Rev. Int. Contam. Ambient*, 25(2), 111–120.
- Lozares, C., & López, P. (1991). El análisis de componentes principales: aplicación al análisis de datos secundarios. *Papers. Revista de Sociologia*, 37, 31–63. <https://doi.org/10.5565/rev/papers/v37n0.1595>
- Lucadamo, L., Gallo, L., & Corapi, A. (2022). Detection of air quality improvement within a suburban district (southern Italy) by means of lichen biomonitoring. *Atmospheric Pollution Research*, 13(3), 101346. <https://doi.org/10.1016/J.APR.2022.101346>
- Luján, M., & Gonzáles, D. (2016). Determinación del impacto de varios contaminantes criterio sobre la salud de la población en ciudades capitales de Bolivia Determining the impact of several criteria pollutants on the health of the population in major cities in Bolivia. *Acta Nova*, 7(3), 303–333. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1683-07892016000100007#f5
- Martínez, J. M. P. (2016). El papel del análisis por componentes principales en la evaluación de redes de control de la calidad del aire. *Comunicaciones En Estadística*, 9(2), 271–294.
- Méndez, V. H., & Monge, J. (2011). El Uso De Líquenes Como Biomonitores Para Evaluar El Estado De La Contaminación Atmosférica a Nivel Mundial. *Biocenosis*, 25(1), 51–67.
- Mora, A., Alfonso, J., Baquero, J., Handt, H., & Vásquez, Y. (2013). *ELEMENTOS MAYORITARIOS, MINORITARIOS Y TRAZA EN MUESTRAS DE SEDIMENTOS DEL MEDIO Y BAJO RÍO ORINOCO, VENEZUELA*. 29(3), 165–178.
- Mora, J., Sibaja, J. P., & Borbón, H. (2021). Fuentes antropogénicas y naturales de contaminación atmosférica: estado del arte de su impacto en la calidad fisicoquímica en el agua de lluvia y de niebla. *Revista Tecnología En Marcha*, 34(1), 92–103. <https://doi.org/10.18845/tm.v34i1.4806>
- MPCH. (2007). *Plan de Desarrollo Concertado de la Provincia De Chanchamayo 2007-2016*.
- MPCH. (2013). *Plan de Desarrollo Concertado 2013-2021*.

<http://www.munichanchamayo.gob.pe/documentos/pdc-2014.pdf>

- Nylander, M. W. (1866). Les Lichens Du Jardin Du Luxembourg. *Bulletin de La Societe Botanique de France*, 13(7), 364–371.
- Ocampo, A. I., Jasan, R. C., Aybar, C. B. M., Rodolfo, G., Córdoba, S. K., Plá, R. R., & Cañas, M. S. (2010). *Relación entre el nivel de tránsito vehicular y el contenido de elementos traza en líquenes transplantados al área central de la ciudad de San Fernando del Valle de Catamarca*.
- OEFA. (2024, January 14). *Monitoreo Ambiental*. <https://www.gob.pe/16650-monitoreo-ambiental>
- Oksanen, I. (2006). Ecological and biotechnological aspects of lichens. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 73(4), 723–734. <https://doi.org/10.1007/s00253-006-0611-3>
- Olaya, L., & Martha, C. (2006). Delimitación de áreas de isocontaminación atmosférica en el campus de la Universidad Nacional de Colombia mediante el análisis de bioindicadores (Líquenes epífitos). *Acta Biológica Colombiana*, 11(2), 87–102.
- OMS. (2022, August 31). *Intoxicación por plomo y salud*. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/lead-poisoning-and-health>
- Onursal, B., & Gautam, S. P. (1984). Contaminantes del aire y sus efectos. *Paper*, 2(1), 43. <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/001083/Course2/Lecturas/Vehiculos/chapter2.pdf>
- OPS. (2024). *Calidad del aire - OPS/OMS | Organización Panamericana de la Salud*. <https://www.paho.org/es/temas/calidad-aire>
- Padilla, C. (2021). Intoxicación por arsénico. *Revista Medicina Legal de Costa Rica*, 38(2), 4–16.
- Palacios, Í., & Moreno, D. (2022). Contaminación ambiental. *RECIMUNDO*, 6(2), 93–103. [https://doi.org/10.26820/recimundo/6.\(2\).abr.2022.93-103](https://doi.org/10.26820/recimundo/6.(2).abr.2022.93-103)
- Palella, S., & Martins, F. (2012). *Metodología de la Investigación Cuantitativa* (Fondo Editorial de la Universidad Pedagógica Experimental Libertador (ed.); La editor). <https://metodologiaecs.files.wordpress.com/2015/09/metodologic3ada-de-la-investigacic3b3n-cuantitativa-3ra-ed-2012-santa-palella-stracuzzi-feliberto-martins-pestana.pdf>

- Parmar, T. K., Rawtani, D., & Agrawal, Y. K. (2016). Bioindicators: the natural indicator of environmental pollution. *Frontiers in Life Science*, 9(2), 110–118. <https://doi.org/10.1080/21553769.2016.1162753>
- Peirson, D. H., & Cawse, P. A. (1976). Trace Elements in the Atmosphere. *Biological Sciences*, 288(1023), 41–49. <https://www.jstor.org/stable/2398724>
- Pokřývková, J., Lackóová, L., Fuska, J., Tátošová, L., & Policht-Latawiec, A. (2016). The impact of air pollution on rainwater quality. *Rocznik Ochrona Srodowiska*, 18(1), 303–321.
- Puy, M. J., Miranda, R., Zanon, G., Salazar, M. M., & Ordaz, V. Y. (2017). Study of the distribution of heavy metals in the atmosphere of the Guanajuato city: use of saxicolous lichen species as bioindicators. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 18(1), 111–126. <https://doi.org/10.22201/ii.25940732e.2017.18n1.010>
- Rabha, S., & Saikia, B. K. (2019). Advanced micro and nanoscale characterization techniques for carbonaceous aerosols. In *Handbook of Nanomaterials in Analytical Chemistry* (Issue 1). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816699-4.00018-9>
- Ramírez, A. (2002). Toxicología del cadmio. Conceptos actuales para evaluar exposición ambiental u ocupacional con indicadores biológicos. *Medicines*, 63(2002), 51–64.
- Reyes, Y., Vergara, I., Torres, O., Díaz, M., & Gonzáles, E. (2016). CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS: IMPLICACIONES EN SALUD, AMBIENTE Y SEGURIDAD ALIMENTARIA. *Revista de Ingeniería, Investigación y Desarrollo*, 16(2), 66–77. <https://doi.org/10.1007/BF02796157>
- Rola, K. (2020). Insight into the pattern of heavy-metal accumulation in lichen thalli. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 61(March), 126512. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2020.126512>
- Romero, K. (2014). Heavy Metal Contamination. *Heavy Metal Contamination of Water and Soil*, 51–51. <https://doi.org/10.1201/b16566-4>
- Romero, M., Diego, F., & Álvarez, M. (2006). La contaminación del aire: Su repercusión como problema de salud. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, 44(2).
- Saib, H., Yekkour, A., Toumi, M., Guedioura, B., Benamar, M. A., Zeghdaoui, A., Austruy, A., Bergé-Lefranc, D., Culcasi, M., & Pietri, S. (2023). Lichen biomonitoring of airborne trace elements in the industrial-urbanized area of eastern algiers (Algeria). *Atmospheric*

Pollution Research, 14(1), 101643. <https://doi.org/10.1016/J.APR.2022.101643>

- Salo, H. (2014). Preliminary enviromagnetic comparison of the moss, lichen, and filter fabric bags to air pollution monitoring. *Fennia*, 192(2), 154–163. <https://doi.org/10.11143/41354>
- Sanmi, A. M. (2018). Effect of Air Pollution on Rain Water: A Case Study of Ado-Ekiti, Nigeria. *International Journal of Advanced Engineering Research and Science*, 5(8), 19–24. <https://doi.org/10.22161/ijaers.5.8.3>
- Santoni, S., & Lijteroff, R. (2006). Evaluación de la calidad del aire mediante el uso de bioindicadores en la Provincia de San Luis, Argentina. *Rev. Int. Contam. Ambient*, 22(1), 49–58.
- Scutari, N. (1995). Los macrolíquenes de Buenos Aires, I: Dirinaria, heterodermia e Hyperphyscia (Physciaceae, Ascomycotina). *Darwiniana*, 33(1/4), 149–176. <http://www.jstor.org/stable/23223000>
- Shukla, V., Upreti, D. K., & Bajpai, R. (2014). Lichens to biomonitor the environment. In *Lichens to Biomonitor the Environment*. <https://doi.org/10.1007/978-81-322-1503-5>
- Sperlea, T., Heider, D., & Hattab, G. (2022). A theoretical basis for bioindication in complex ecosystems. *Ecological Indicators*, 140(June), 109050. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109050>
- Tarawneh, A. H., Salamon, I., Altarawneh, R. M., Mitra, J., & Gadetskaya, A. (2021). Assessment of lichens as biomonitors of heavy metal pollution in selected mining area, slovakia. *Pakistan Journal of Analytical and Environmental Chemistry*, 22(1), 53–59. <https://doi.org/10.21743/pjaec/2021.06.07>
- Torres, M. E. (2019). *Líquenes: Los bioindicadores de la calidad del aire* (Issue 14) [Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas]. http://repositorio.untrm.edu.pe/bitstream/handle/UNTRM/2067/Torres_Sanchez_Maria_Estelita.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Torri, S. I., Urricariet, S., & Lavado, R. S. (2016). Micronutrientes y Elementos Traza. *Journal of Propulsion and Power*, January 2006, 401–426.
- Ugolini, F., Tognetti, R., Raschi, A., & Bacci, L. (2013). Quercus ilex L. as bioaccumulator for heavy metals in urban areas: Effectiveness of leaf washing with distilled water and considerations on the trees distance from traffic. *Urban Forestry and Urban Greening*, 12(4), 576–584. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2013.05.007>

- Uitzil, M. (2014). *Líquenes. Dualidad o trinidad*. 85, 2014.
- Untea, A. E., Panaite, T. D., Dragomir, C., Ropota, M., Olteanu, M., & Varzaru, I. (2019). Effect of dietary chromium supplementation on meat nutritional quality and antioxidant status from broilers fed with Camelina-meal-supplemented diets. *Animal*, 13(12), 2939–2947. <https://doi.org/10.1017/S1751731119001162>
- Valdivia, D., & Ramírez, Á. (2018). Uso De Líquenes Como Bioindicadores De Contaminación Atmosférica En El Pasivo Ambiental Minero Santo Toribio, Áncash, Perú. *The Biologist*, 16(1), 77–95. <https://doi.org/10.24039/rtb2018161223>
- Valls, M. (2017). Efectos de la calidad del aire sobre la salud. *FMC Formacion Medica Continuada En Atencion Primaria*, 24(9), 511–514. <https://doi.org/10.1016/j.fmc.2017.03.004>
- Vargas, F. (2005). LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL COMO FACTOR DETERMINANTE DE LA SALUD. *Rev Esp Salud Pública*, 79(2), 117–127. <https://doi.org/10.1177/02630672221081898>
- Varrica, D., Lo Medico, F., & Alaimo, M. G. (2022). Air Quality Assessment by the Determination of Trace Elements in Lichens (*Xanthoria calcicola*) in an Industrial Area (Sicily, Italy). *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(15). <https://doi.org/10.3390/ijerph19159746>
- Wolterbeek, B. (2002). Biomonitoring of trace element air pollution: Principles, possibilities and perspectives. *Environmental Pollution*, 120(1), 11–21. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(02\)00124-0](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(02)00124-0)
- Xiao, X., & Gao, M. (2021). Overview of climate change, air pollution, and human health. In *Air Pollution, Climate, and Health*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820123-7.00003-6>
- Yassi, A., Kjellström, T., De Kok, T., & Guidotti, T. (2002). Salud Ambiental Basica. In *Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente* (Vol. 23, Issue 6). http://www.pnuma.org/educamb/documentos/salud_ambiental_basica.pdf
- Yauri, H., & Vilca, X. (2015). Biomonioteo de elementos traza en área urbana e industrial de Lurigancho-Chosica, utilizando las especie *Tillandsia latifolia* y *T. purpurea* como bioindicadores. *Universidad Peruana Union.*, Pag:1-228.

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES, DIMENSIONES E INDICADORES	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN
<p>Problema general: ¿Cuáles son los elementos traza presentes en el aire de las áreas urbanas e industrial de Chanchamayo – Perú usando líquenes como biomonitores?</p>	<p>Objetivo general: Evaluar los elementos traza presentes en el aire de las áreas urbanas e industrial de Chanchamayo – Perú, usando líquenes como biomonitores de la calidad del aire.</p>	<p>Hipótesis general: H_i: Los líquenes usados como biomonitores en las áreas urbanas e industrial de Chanchamayo-Perú contienen elementos traza característicos de fuentes vehiculares, industriales y naturales</p>	<p>a) Variable independiente</p> <ul style="list-style-type: none"> Área de estudio <p>Dimensiones</p> <ul style="list-style-type: none"> Áreas urbanas <p>Indicador Áreas residenciales y comerciales</p> <ul style="list-style-type: none"> Área industrial <p>Indicador Industria liviana</p>	<p>a) Nivel, tipo y diseño de investigación</p> <p>Nivel de Investigación Descriptiva, correlacional y explicativa</p> <p>Tipo de Investigación Básica</p> <p>Diseño de investigación Transeccional o transversal</p>
<p>Problemas específicos: ¿Cuáles son las concentraciones de los elementos traza en las muestras de líquenes de áreas urbanas e industrial en la Provincia de Chanchamayo?</p>	<p>Objetivos específicos: Cuantificar los elementos traza en las muestras líquenes colectadas de áreas urbanas e industrial en la Provincia de Chanchamayo.</p>	<p>Hipótesis específicas: H_i: La concentración de los diferentes elementos traza de la Provincia de Chanchamayo serán diferentes entre sí.</p>	<p>b) Variable dependiente</p> <ul style="list-style-type: none"> Concentración de elementos traza <p>Dimensiones</p> <ul style="list-style-type: none"> Elementos naturales <p>Indicador Concentraciones de Ca, Al, K, Si, Fe, Mg, Na</p> <ul style="list-style-type: none"> Elementos industriales <p>Indicador</p>	<p>b) Población y muestra</p> <p>Población Líquenes de los distritos de Chanchamayo, Vitoc, Pichanaqui, Perené y San Ramon.</p> <p>Muestra <i>Biomonitoreo pasivo</i> 54 muestras de 5 g del liquen <i>Physcia undulata</i> colectado en los distritos de Chanchamayo, Vitoc, Pichanaqui, Perené y San Ramon.</p>
<p>¿Las concentraciones de los elementos traza presentes en líquenes serán diferentes en las áreas de monitoreo (Vitoc, San Ramón, La Merced, Perené y Pichanaqui) de la Provincia de Chanchamayo?</p>	<p>Comparar la concentración de los elementos traza presentes en los líquenes de las áreas de monitoreo (Vitoc, San Ramón, La Merced, Perené y Pichanaqui) de la Provincia de Chanchamayo.</p>	<p>H_i: Existiría diferencias significativas entre las diferentes áreas de monitoreo (Vitoc, San Ramón, La Merced, Perené y Pichanaqui) con respecto a la concentración de los elementos traza.</p>	<p>Indicador Concentraciones de Ca, Al, K, Si, Fe, Mg, Na</p>	

<p>¿Cuáles son las fuentes de emisión más significativas de los elementos traza de la Provincia de Chanchamayo?</p>	<p>Identificar las fuentes de emisión más significativas de los elementos traza de la Provincia de Chanchamayo</p>	<p>H_i: Las fuentes de emisión de elementos traza más significativas serían la industrial y vehicular en la Provincia de Chanchamayo.</p>	<p>Concentraciones de Cd, Cu, Pb, As, S y Zn</p> <ul style="list-style-type: none"> • Elementos vehiculares <p>Indicador Concentraciones de Pb, Cr, V, Ba</p> <ul style="list-style-type: none"> • Elementos tóxicos <p>Indicador Concentraciones de Cd, As y Pb</p>	<p><i>Biomonitoreo activo</i> 5 muestras de 5 g de líquenes (<i>Heterodermia galactophylla</i>) instalados en el distrito de Vitoc</p> <p>e) Técnicas e instrumentos de recolección de datos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fichas de campo • GPS • Cámara de celular <p>d) Análisis de datos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Se utilizó la prueba de Kruskal-Wallis para comparar las medias de las 5 áreas de monitoreo de la provincia de Chanchamayo para el biomonitoreo pasivo. • Se uso t student de dos muestras independientes para las muestras del biomonitoreo activo • Se calculó el Factor de enriquecimiento (FE) de 15 elementos. • Se aplicó ACP para reducir el número de variables (elementos traza). • Se realizó el análisis jerárquico de conglomerados (AJC) para agrupar comportamientos parecidos de los elementos traza y sitios de monitoreo.
---	--	---	--	---

Anexo 3. *Etiquetas de las muestras de líquenes del biomonitoreo pasivo*

DATOS DE RECOLECTA LUGAR			
Código:	Datum: WGS-1984	Norte:	Zona:
Código sp:		Este:	
Tipo:	Descripción:		
Fecha:	Referencia:		
Hora:	Colector:		

Anexo 4. *Etiqueta de las muestras líquenes del biomonitoreo activo*

ÁREA DE MUESTREO - VITOC B.A.			
Código:	Datum: WGS-1984	Norte:	Zona: 18L
Código sp: Liquen "K"		Este:	

Anexo 5. Constancias de determinación de las especies de líquen

Angel Manuel Ramírez Ordaya
DNI 10530886

Lima 03 de abril del 2023

CONSTANCIA N° 13 DE DETERMINACIÓN DE LÍQUEN

Por la presente, dejo constancia que la muestra examinada de la señorita Kathya Pamela Magan Vargas, identificada con DNI N° 73853106, fue analizada y le corresponde la siguiente clasificación taxonómica.

Clasificación taxonómica	
Reino	Fungi
Phyllum	Ascomycota
Clase	Lecanoromycetes
Orden	Caliciales
Familia	Physciaceae
Género	Physcia
Especie	<i>Physcia undulata</i> Moberg



Descripción: biotipo foliáceo, gris y corticícola. Talo irregular a orbicular, generalmente poco adherido al sustrato, lóbulos delgados, sueltos planos adunados a elevados, puntas redondeadas, eciliado. Superficie superior gris, de aspecto escarchado y sorediado. Soredia en soralia marginal que les dan a los márgenes una apariencia undulada, usualmente no alcanzando la parte más externa de la punta de los lóbulos; médula blanca; y superficie inferior gris blanquecino a café, con rizinas concolores o más oscuros. Apotecios poco comunes y de hasta 2 mm de ancho.

Ángel Manuel Ramírez Ordaya
Biólogo

N° de celular 992 248 851

Correo electrónico: líquenes_peru@yahoo.com

CONSTANCIA DE DETERMINACIÓN DE LÍQUENES N°20

Por la presente deajo constancia que la muestra proporcionada por la señorita Kathy Pamela Magan Vargas con DNI: 73853106 fue determinado y le corresponde la siguiente clasificación taxonómica:

Reino: Fungi
Phyllum: Ascomycota
Clase: Lecanoromycetes
Orden: Caliciales
Familia: Physciaceae
Género: Heterodermia
Especie: *Heterodermmia galactophylla* (Tuck.) Culb.



Lima, 22 de enero del 2025



Blgo. Ángel Manuel Ramírez Ordaya

Correo electrónico: liquenes_peru@yahoo.com

<https://www.facebook.com/ProyectoLiquenesPeru>

Anexo 6. *Certificación de Laboratorio de Química Atmosférica de la PUC-RIO*

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA
DO RIO DE JANEIRO



Rio de Janeiro, 10 de agosto de 2023

Aos cuidados:

Dr. Alex Rubén Huamán De La Cruz

Universidad Nacional Intercultural de la Selva Central Juan Santos Atahualpa
Chanchamayo, Perú

Prezado Sr.

Venho por meio desta encaminhar o Laudo Técnico No. 3/agosto 2023 como os resultados referentes as análises químicas das 63 amostras de plantas recibidas no Laboratório de Química Atmosférica (LQA).

Coloco-me a disposição para maiores esclarecimentos

Atenciosamente,

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'adriana gioda', written in a cursive style.

Prof. Dra. Adriana Gioda
Coordenadora LQA

Prof. Dra. Adriana Gioda
Departamento de Química
Rua Marquês de São Vicente, 225 – Edifício Cardeal Leme – Sala 471 – Dávea
Rio de Janeiro – Rj – Tel. (021)3527-1328 Fax (021) 3114-1637
agioda@puc-rio.br; www-agioda.com

LAUDO TÉCNICO No. 3/agosto 2023

Amostragem

Acoletas das amostras de líquenes foi realizada pela Universidad Peruana Unión e entregues no Laboratório de Química Atmosférica (LQA) da PUC-Rio, em mãos pelo Dr. Alex Ruben Huamán De La Cruz

Análises químicas
Extracao Ácida

Para a extração ácida das plantas, foram pesados, em duplicata, 250 ± 1 mg (Adventure, Ohaus, AR 2140 \pm 0,0001 g) de líquenes secos e moídos em copos de Teflon (Savillex, EUA). Depois as amostras de líquenes foram adicionadas água ultrapura para completar o volumen de 10 mL. Posteriormente elas foram centrifugadas (Kindly, KC5, China) a 4000 RPM por 2 min e diluídas 5x e 20x.

Análises por ICP-MS

Os extratos ácidos foram analisados por ICP-MS (Perkin Elmer, Nexlon 300, EUA) para a determinação dos elementos: Li, Be, B, Na, Mg, Al, Si, P, S, K, Ca, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Se, Br, Rb, Sr, Y, Mo, Zr, Nb, Ag, Cd, Sn, Cs, Ba, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Ta, W, Re, Au, Hg, Tl, Pb, Bi, Th, U, In, Sb. A análise de As também foi realizada utilizando uma célula de reação dinâmica (DRC, do inglês Dynamic reaction cell) visando aumentar a eficiência de transmissão dos íons para o analisador de massas e diminuir interferencia de transmissão dos íons para o amasador de massas e diminuir interferencias espectrais, O gás de reação utilizado nesse método foi o CH₄. As condições do equipamento estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Condições operacionais do ICP-MS Perkin Elmer, Nexlon 300X Parâmetro	Valor
Potência da Rádio Frequência	1100 W
Fluxo de argônio do plasma	15.0 L min ⁻¹
Fluxo auxiliar	1.0 L min ⁻¹
Fluxo de argônio de nebulização	1.06 L min ⁻¹
Fluxo de metano na célula de reação	0.3 L min ⁻¹
Fluxo de amostra	0.6 mL min ⁻¹
Modo de leitura	Peak Hopping
Verreduras/leituras	1
Leituras/replicas	1
Número de replicatas	5

Calibração de controle de qualidade

As curvas analíticas foram preparadas a partir de padres multielementares Perkin Elmer 29, Perkin Elmer 17 e Perkin Elmer 12 na concentração de 1000 µg L⁻¹ e do Perkin Elmer 5 na concentração de 10 µg L⁻¹. Além disso, foram utilizados padres monoelementares de Sn, Hg, Ti, Sb (1000 µg L⁻¹) e Br (1000 µg L⁻¹). Para evitar a precipitação dos elementos adicionados nas soluções da curva analítica foi adicionado HNO₃ para obter soluções 5 % de ácido. O padrão interno utilizado nas análises foi uma solução de Rh 40 µg L⁻¹. Foram obtidos coeficientes de determinação (R²) das curvas analíticas maiores que 0.999 para todos os elementos analisados. Os limites de detecção e quantificação foram calculados considerando o desvio padrão obtido em 10 leituras do branco de ácido (ácido + água ultrapura).

Para garantir a qualidade dos dados obtidos e verificar possíveis causas de contaminação, a água e o ácido utilizados na extração foram analisados. A eficiência de extração dos líquenes foi verificada por meio da extração de 250 mg dos materiais de referência certificado NIST (SRM 1515 e SEM 1573). Para a verificação da eficiência de extração do arroz foi o utilizado 500 mg do SRM (IMEP 192). Todos os materiais certificados foram extraídos em duplicata. As porcentagens de recuperação dos elementos certificados pelos materiais de referência indicam a eficiência do método de extração utilizado.

Os resultados estão reportados em mg kg⁻¹. Na tabela a seguir do laudo técnico estão apresentadas as concentrações, os desvios padrão, os limites de detecção e quantificação (LD e LQ) e o percentual de recuperação dos materiais de referência obtidos pelo método utilizado.

Profa. Dra. Adriana Gioda
Departamento de Química
Rua Marquês de São Vicente, 225 – Edifício Cardeal Leme – Sala 471 – Dávea
Rio de Janeiro – Rj – Tel. (021)3527-1328 Fax (021) 3114-1637
agioda@puc-rio.br; www-agioda.com

Amostra	Mg	K	Pb	V	Sb	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Rb	Cd	Ba
V1	761	2351	81.05	2.073	0.050	195.584	4645	1.247	6.056	5.481	57.34	1.387	35.57	0.173	80.84
V2	840	2066	46.45	3.276	0.171	272.582	9078	0.992	1.347	3.337	65.20	1.648	59.78	0.134	58.60
V3	1006	2135	36.18	3.299	0.034	273.068	9873	1.125	0.870	2.891	78.51	1.809	75.05	0.179	69.46
V4	1064	2196	56.11	3.560	0.019	289.723	11257	1.261	0.970	2.785	54.04	1.981	81.51	0.146	64.26
V5	871	2407	26.97	2.539	0.034	226.815	7925	0.901	0.772	2.885	69.77	1.457	57.943	0.139	58.10
V01	1516	2674	11.73	5.90	0.00	111.6	3514.7	2.10	3.30	28.13	198.30	1.20	22.29	0.51	41.40
V02	2686	2905	19.95	3.74	0.01	85.7	1722.5	0.89	3.14	43.87	113.99	0.95	15.59	0.46	52.57
V03	1842	3303	17.09	5.18	0.00	91.5	1365.5	1.30	2.51	62.46	215.51	1.51	25.58	0.68	42.52
V04	1796	2415	26.52	6.59	0.01	120.7	2839.1	2.19	3.07	11.08	127.30	3.19	17.59	0.45	70.38
SR01	1973	3491	31.39	3.56	0.13	149.4	3278.7	1.00	4.92	10.91	116.64	2.56	14.66	0.56	26.90
SR02	2112	3249	22.40	3.59	0.12	115.2	4082.6	0.78	5.49	14.68	86.73	1.14	8.82	0.26	26.65
SR03	1331	2055	11.92	5.76	0.27	280.8	2151.6	2.25	2.28	22.32	101.86	1.37	7.94	0.25	74.72
SR04	1622	1880	16.51	5.38	0.28	219.4	3392.0	1.07	2.97	15.78	119.06	2.17	11.12	0.31	27.09
SR05	2038	2265	36.58	5.33	0.28	175.9	3937.3	1.01	5.64	10.54	99.33	1.05	14.75	0.46	43.15
SR06	1319	3653	26.67	5.27	0.20	44.3	2712.1	1.31	2.54	12.03	60.44	0.89	13.62	0.46	44.81
SR07	1838	2611	22.59	2.01	0.15	64.6	2238.8	0.54	2.33	13.12	86.18	1.47	12.02	0.24	20.71
SR08	1912	2784	12.31	2.73	0.13	102.6	4650.1	0.59	3.31	13.65	64.66	1.17	11.00	0.54	22.48
SR09	1823	2054	7.50	2.44	0.14	71.8	3027.3	0.51	2.56	11.59	72.07	1.07	9.83	0.23	30.51
SR10	1424	2081	9.06	1.54	0.16	183.3	3166.2	0.36	2.44	37.84	86.92	1.30	9.11	0.37	18.92
LM01	1299	2049	12.25	3.64	0.03	67.2	2353.0	0.77	4.74	17.82	82.87	0.68	19.81	0.16	29.24
LM02	2092	3700	6.38	2.72	0.02	26.6	1256.3	0.68	3.35	63.29	47.65	0.82	17.79	0.69	17.80
LM03	1192	2481	7.54	4.77	0.02	29.3	1592.2	1.03	3.52	27.94	40.00	0.70	14.28	0.60	30.46
LM04	1399	2860	9.70	2.68	0.02	31.4	1358.0	0.58	2.88	50.62	48.29	0.66	22.76	0.28	40.77
LM05	1609	3916	9.26	6.07	0.02	23.4	1126.6	1.27	2.24	64.27	71.42	1.11	8.91	0.19	39.11

LM06	1153	1927	11.05	4.80	0.02	43.3	2080.8	1.13	2.88	66.12	84.46	1.21	9.83	0.41	32.47
LM07	1187	3232	14.87	2.07	0.02	33.5	1710.7	0.49	2.80	63.62	95.74	1.41	13.02	0.32	23.40
LM08	1068	2043	13.96	2.65	0.03	40.0	3026.1	1.07	3.55	57.49	41.98	0.85	14.32	0.23	52.80
LM09	1651	2862	6.40	5.06	0.04	91.2	1410.4	1.18	2.55	11.04	71.04	1.47	25.64	0.22	40.77
LM10	1570	3720	7.75	3.00	0.21	93.7	2580.1	0.62	2.67	10.93	51.81	1.07	24.04	0.49	48.70
LM11	1828	3718	4.77	1.95	0.18	71.8	3011.5	0.74	3.19	15.67	42.63	0.74	10.32	0.85	43.44
LM12	1424	2402	5.69	2.06	0.12	54.1	1511.3	0.56	4.07	29.90	32.12	0.73	12.38	0.59	34.94
LM13	1607	2172	8.59	4.30	0.19	53.0	1556.6	1.26	2.29	28.12	67.14	1.38	11.56	0.32	34.36
LM14	1574	3261	9.77	4.35	0.13	76.1	1882.0	5.88	3.54	11.61	50.48	1.01	6.89	0.74	42.15
LM15	1620	2593	5.88	3.14	0.39	90.0	1850.9	1.03	2.06	10.72	51.35	0.98	15.00	0.31	31.41
LM16	2140	3937	8.42	6.59	0.08	51.6	1052.7	1.74	2.08	15.42	76.83	0.89	14.44	0.32	56.44
LM17	1204	3578	5.55	7.54	0.16	35.8	1370.3	3.69	1.68	8.64	61.96	0.72	18.63	0.19	33.13
PE01	2597	3374	8.37	5.64	0.09	135.8	2847.5	1.81	5.92	8.03	66.60	1.04	11.06	0.18	56.84
PE02	2489	2616	7.49	6.90	0.09	171.1	2674.1	3.59	4.28	11.80	54.96	0.66	12.30	0.50	48.05
PE03	2719	2355	6.55	3.75	0.08	140.8	2179.9	1.16	10.89	8.45	55.99	1.23	13.32	0.38	23.47
PE04	2682	3104	6.63	6.05	0.08	168.7	2424.0	1.69	6.20	9.78	89.06	1.55	18.27	0.43	66.53
PE05	2775	3049	16.89	4.12	0.11	132.9	2362.3	1.10	10.16	9.76	96.15	1.13	12.52	0.27	26.49
PE06	3194	3077	15.37	6.36	0.11	122.6	2861.5	1.55	5.27	12.38	76.54	1.30	17.55	0.37	40.51
PE07	2662	3570	11.47	5.79	0.10	181.1	3078.2	1.24	8.90	9.14	54.02	0.83	15.79	0.39	41.18
PI01	1773	3034	7.51	3.02	0.01	78.8	3321.7	0.81	3.38	20.98	80.63	1.39	17.13	0.65	35.20
PI02	2287	2364	12.23	2.79	0.01	144.3	4436.6	0.60	4.72	9.21	66.32	0.98	12.63	0.26	30.00
PI03	1750	3018	7.71	15.79	0.01	75.8	3138.4	3.06	4.23	11.69	70.95	1.27	16.09	0.38	78.96
PI04	2217	3373	7.32	11.55	0.01	172.0	4071.5	4.34	4.98	32.14	58.09	1.20	18.58	0.24	85.00
PI05	2359	2844	8.60	11.43	0.01	165.3	3367.3	4.11	4.43	9.24	50.38	0.75	12.68	0.21	85.22
PI06	1415	2382	5.36	11.93	0.01	82.2	2000.3	4.27	2.92	10.66	56.96	0.82	10.95	0.41	71.41
PI07	1512	2438	18.15	5.37	0.01	130.0	2845.1	1.54	3.60	13.60	97.90	2.44	24.73	0.28	76.39

PI08	2794	3544	11.93	10.68	0.00	167.6	8646.1	4.40	8.51	14.75	94.09	2.49	19.99	0.21	65.52
PI09	2798	2070	17.03	5.96	0.06	287.3	10160.5	1.85	8.47	14.40	98.00	2.35	19.34	0.19	74.13
PI10	2733	1955	16.54	2.56	0.06	278.7	9953.6	1.17	8.10	14.18	100.30	2.18	18.78	0.31	36.39
PI11	2711	2623	15.77	11.04	0.05	288.1	9953.4	3.58	9.34	10.85	79.88	1.30	19.66	0.24	60.10
PI12	1895	2430	10.38	3.13	0.10	111.0	5097.6	0.85	4.54	7.88	103.04	1.71	18.42	0.14	26.23
PI13	2822	2540	10.49	2.43	0.02	310.3	10258.8	0.66	8.28	8.40	36.51	0.72	11.97	0.11	28.69
PI14	3623	2881	13.51	0.83	0.02	336.1	4376.3	0.21	4.24	8.03	76.03	0.84	12.98	0.27	21.56
PI15	2001	2810	12.82	3.26	0.08	195.6	2653.4	0.91	3.29	11.80	81.28	1.90	17.38	0.30	25.54
PI16	2453	2178	15.29	6.73	0.05	233.6	9682.3	2.23	7.22	32.44	141.94	1.69	14.96	0.59	69.03
AC1	698	1800	5.77	3.43	0.02	174.6	7736.3	0.76	0.72	2.82	33.56	1.26	44.97	0.15	54.22
AC2	681	1926	4.95	2.75	0.03	177.7	7004.0	0.69	0.85	3.15	32.78	1.29	40.81	0.11	56.88
AC3	845	1987	7.46	2.68	0.02	75.6	1097.2	0.49	1.09	3.59	39.50	1.02	15.01	0.18	23.59
AC4	532	1738	3.26	1.50	0.00	60.5	1642.8	0.75	0.68	2.36	26.90	0.71	10.79	0.08	19.60

Anexo 7. Mapas de ubicación de las áreas de monitoreo

Figura 16

Mapa de ubicación de Vitoc (A1) {del biomonitoreo pasivo}

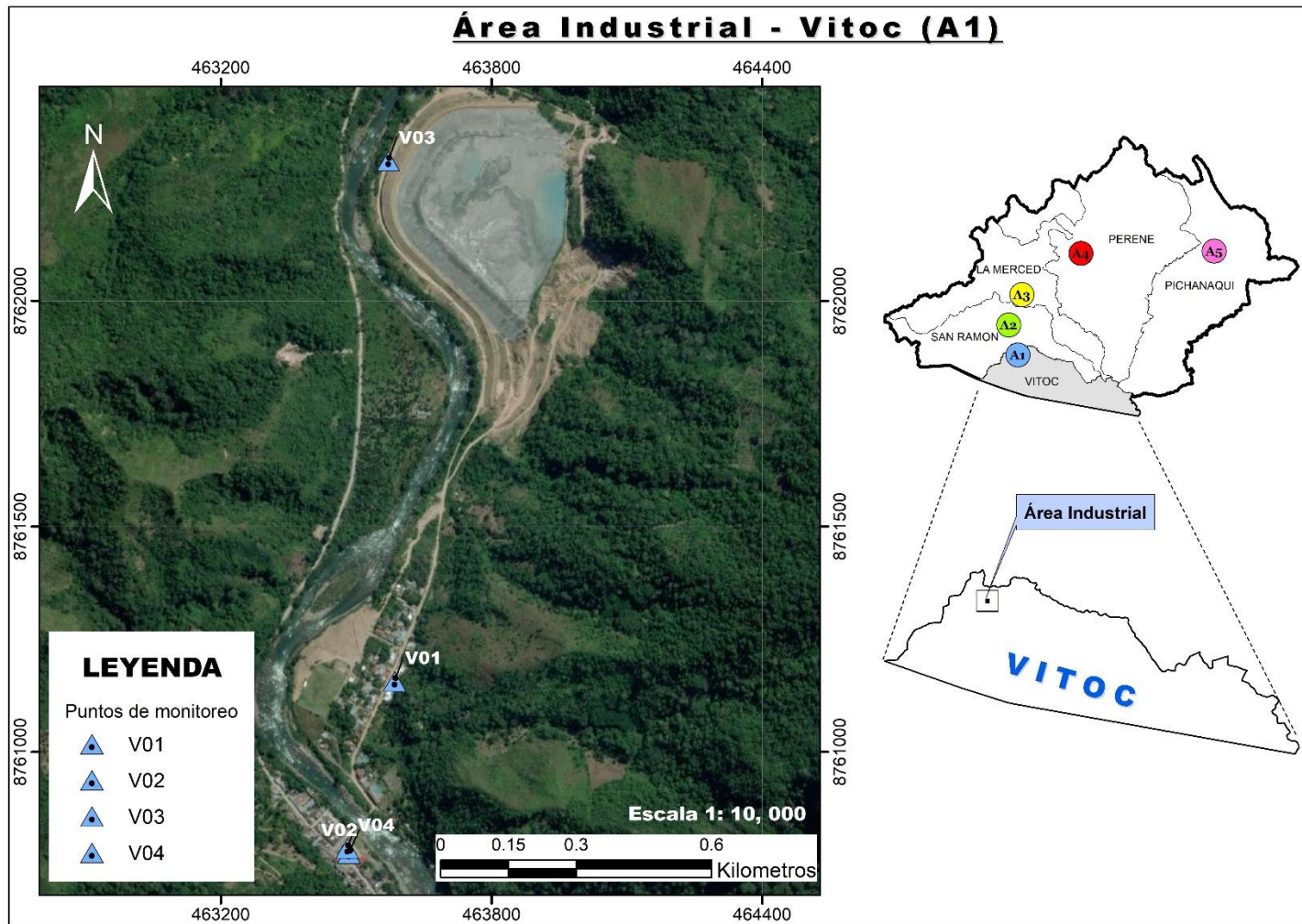


Figura 17

Mapa de ubicación de San Ramón (A2) del biomonitoreo pasivo

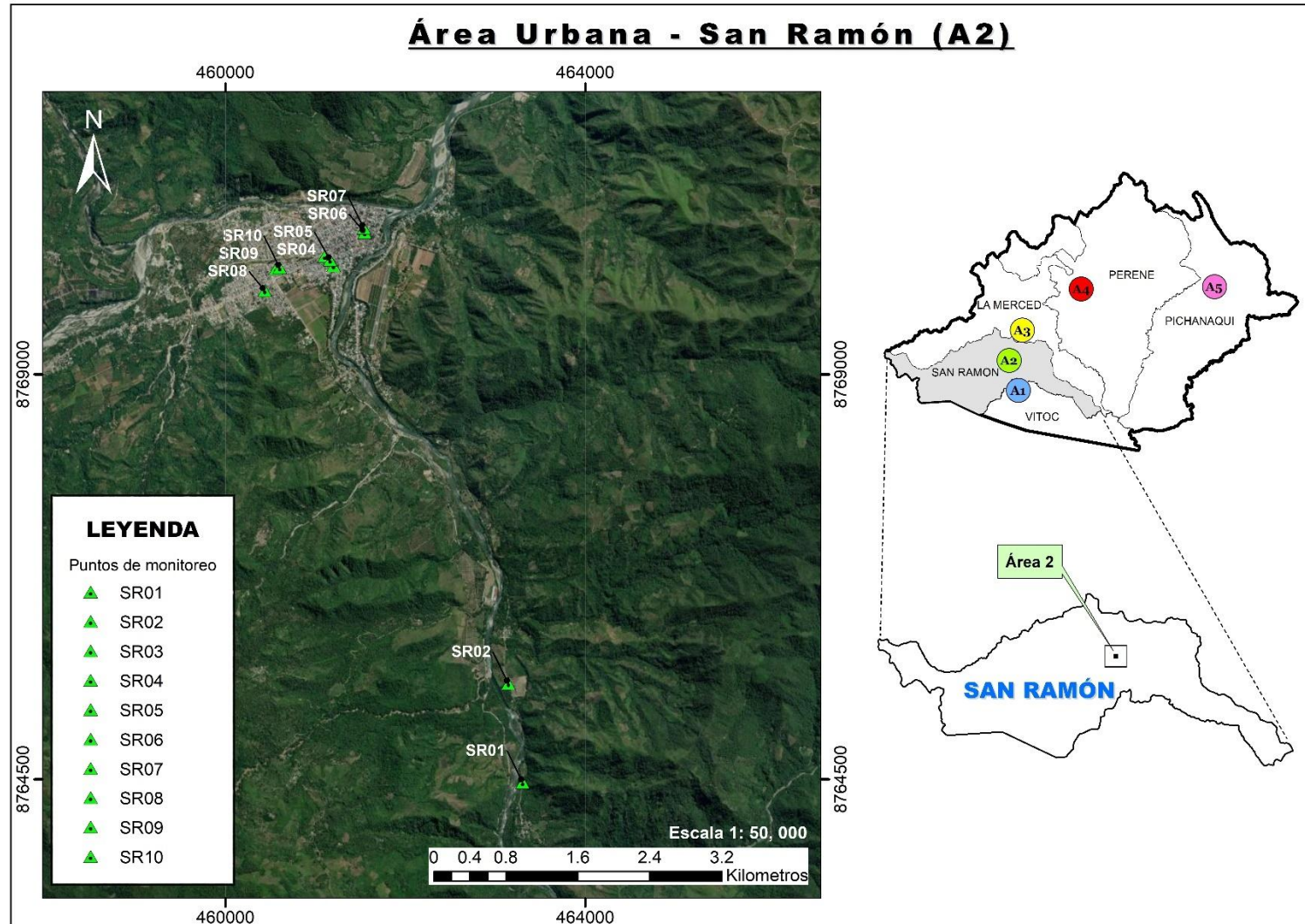


Figura 18

Mapa de ubicación de La Merced (A3) del biomonitoreo pasivo

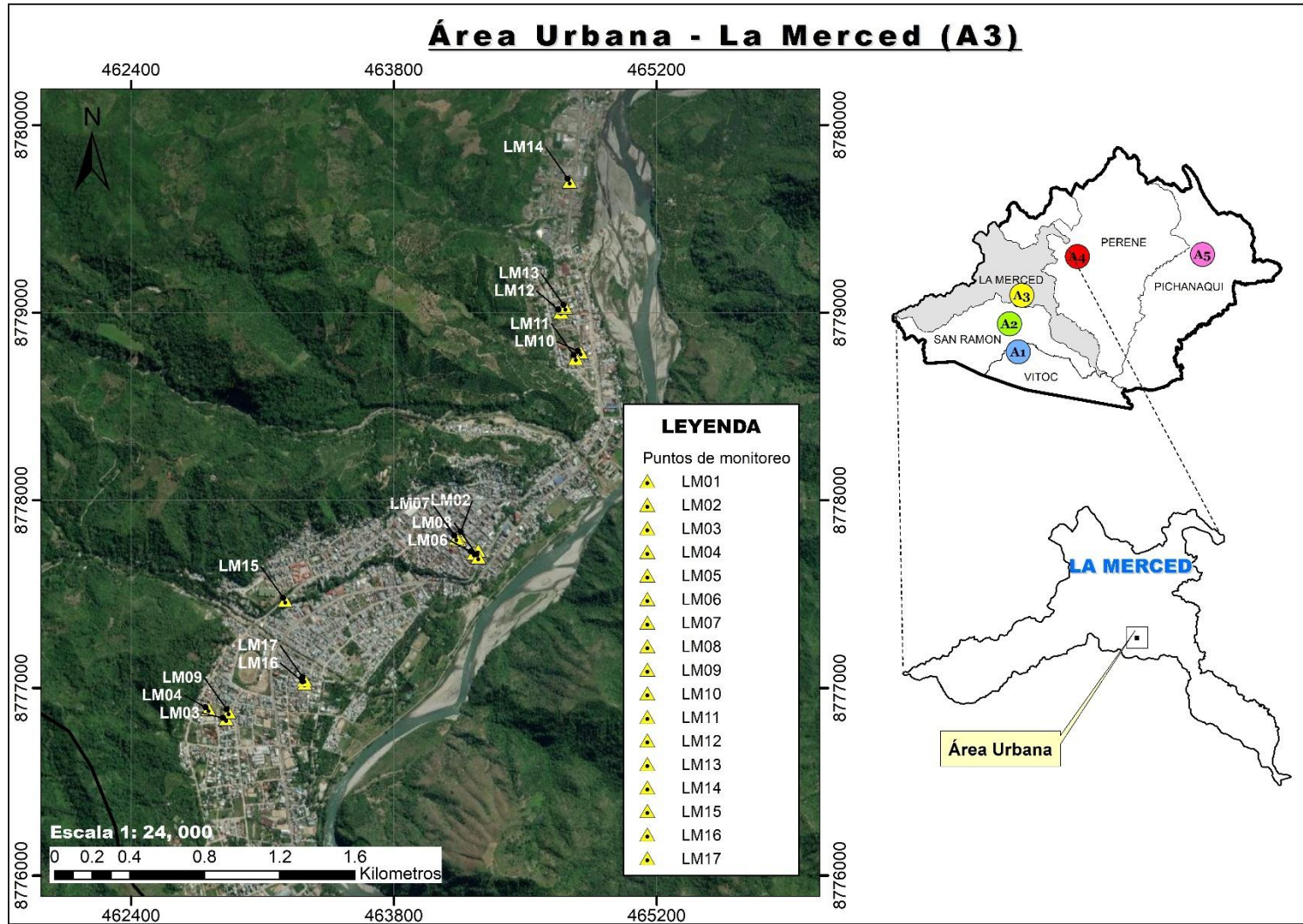


Figura 19

Mapa de ubicación de Perené (A4) del biomonitoreo pasivo.

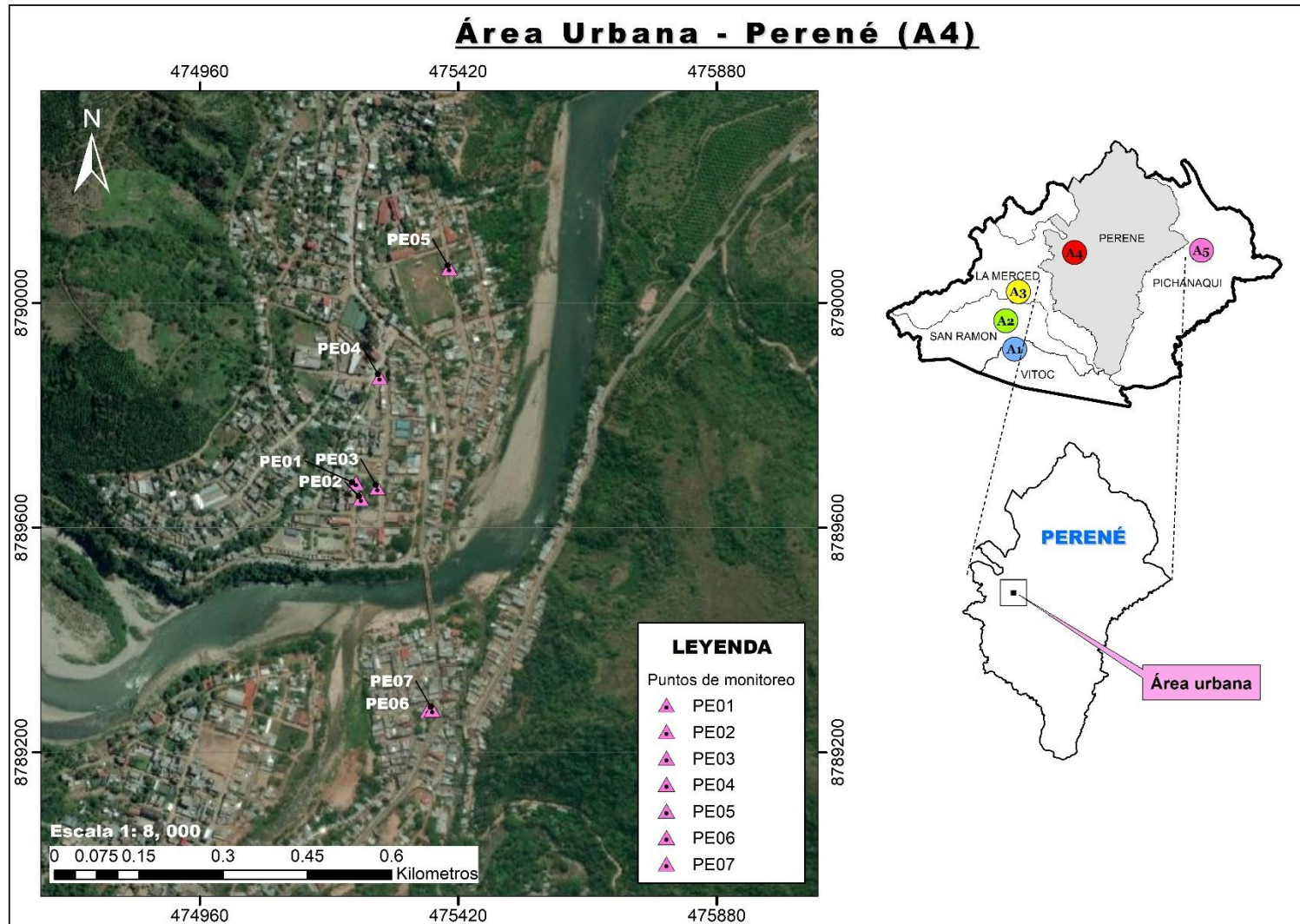


Figura 20

Mapa de ubicación de Pichanaqui (PI) del biomonitoreo pasivo.

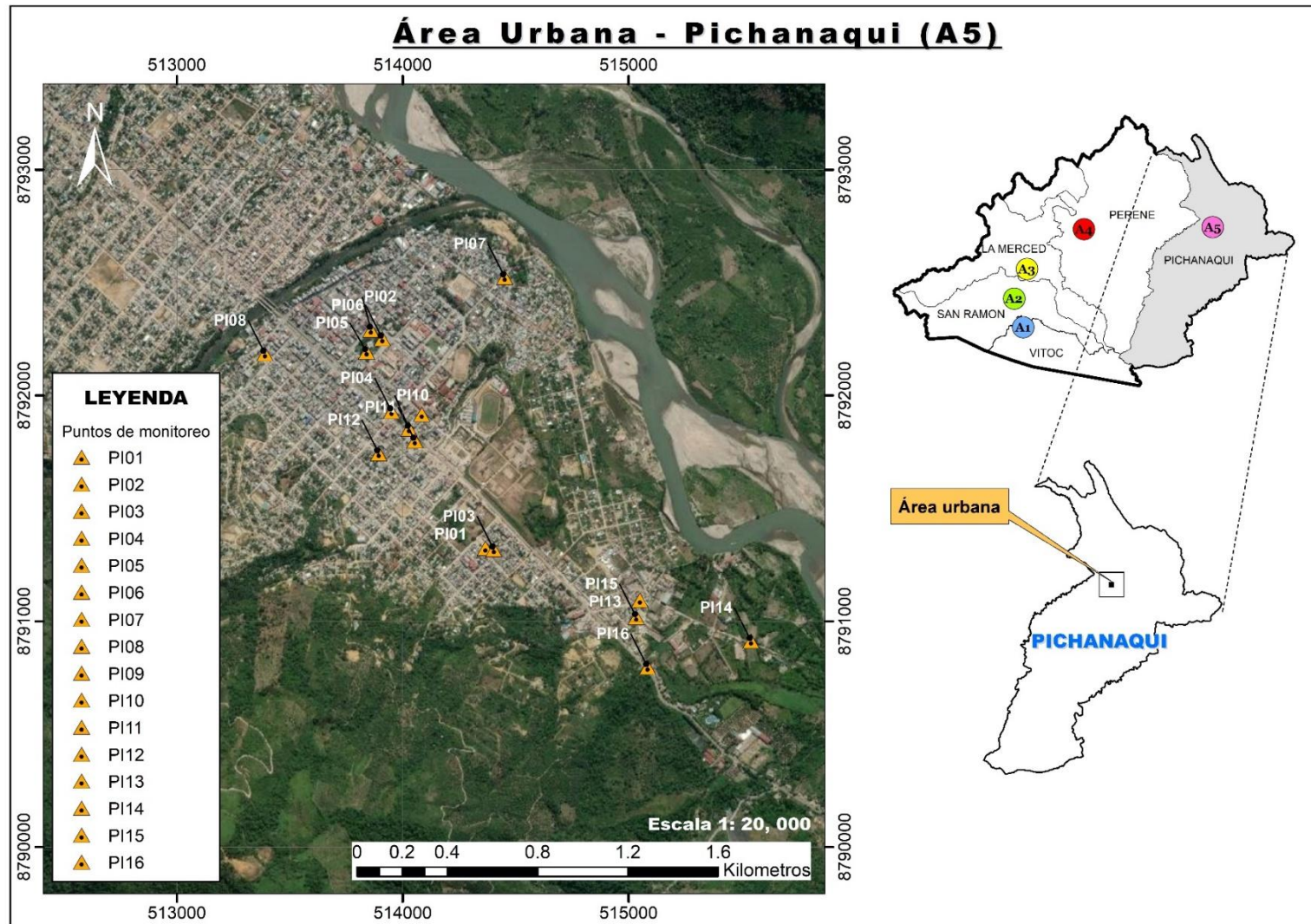
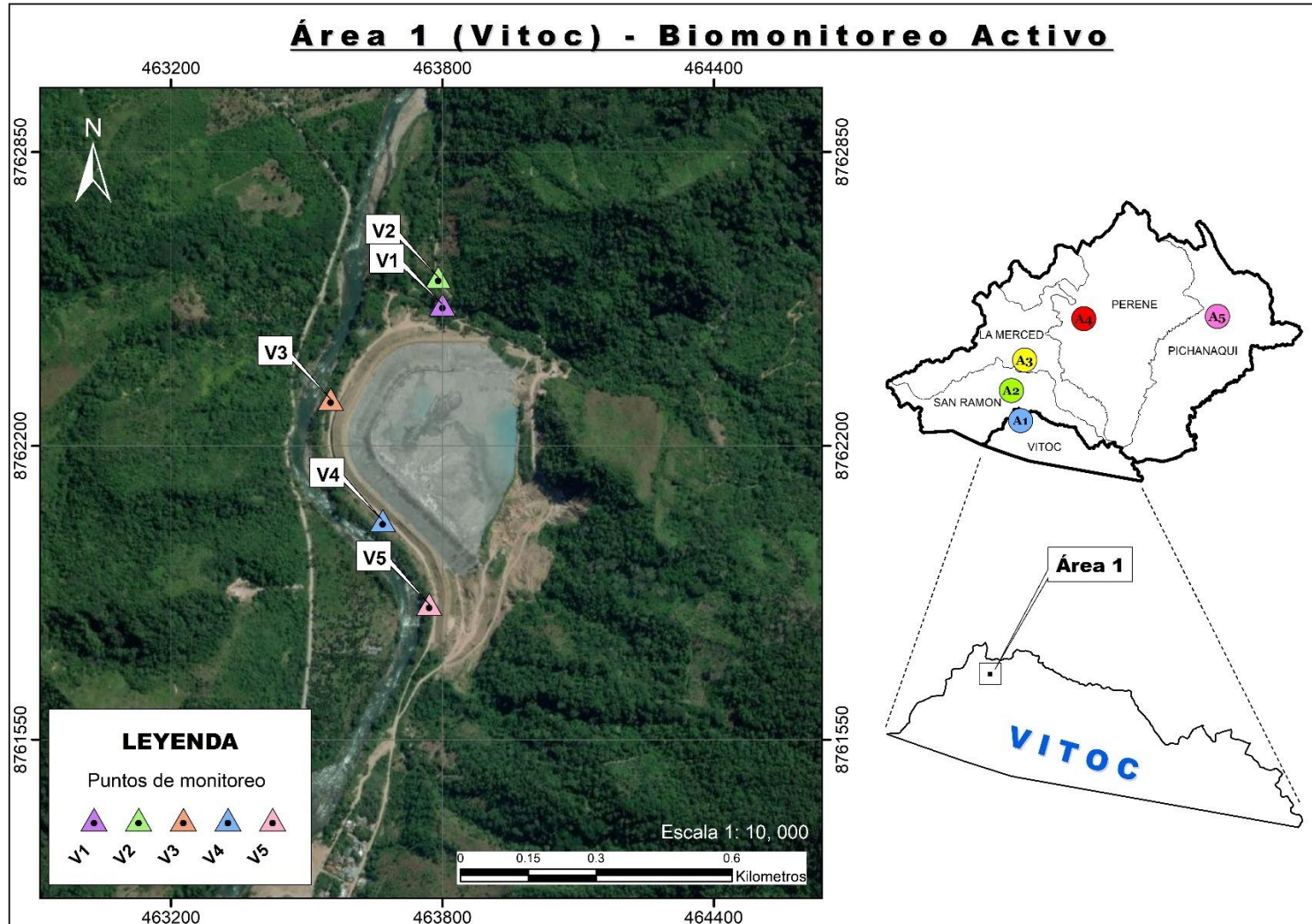


Figura 21

Mapa de ubicación de Vitoc (A1) del Biomonitorio activo



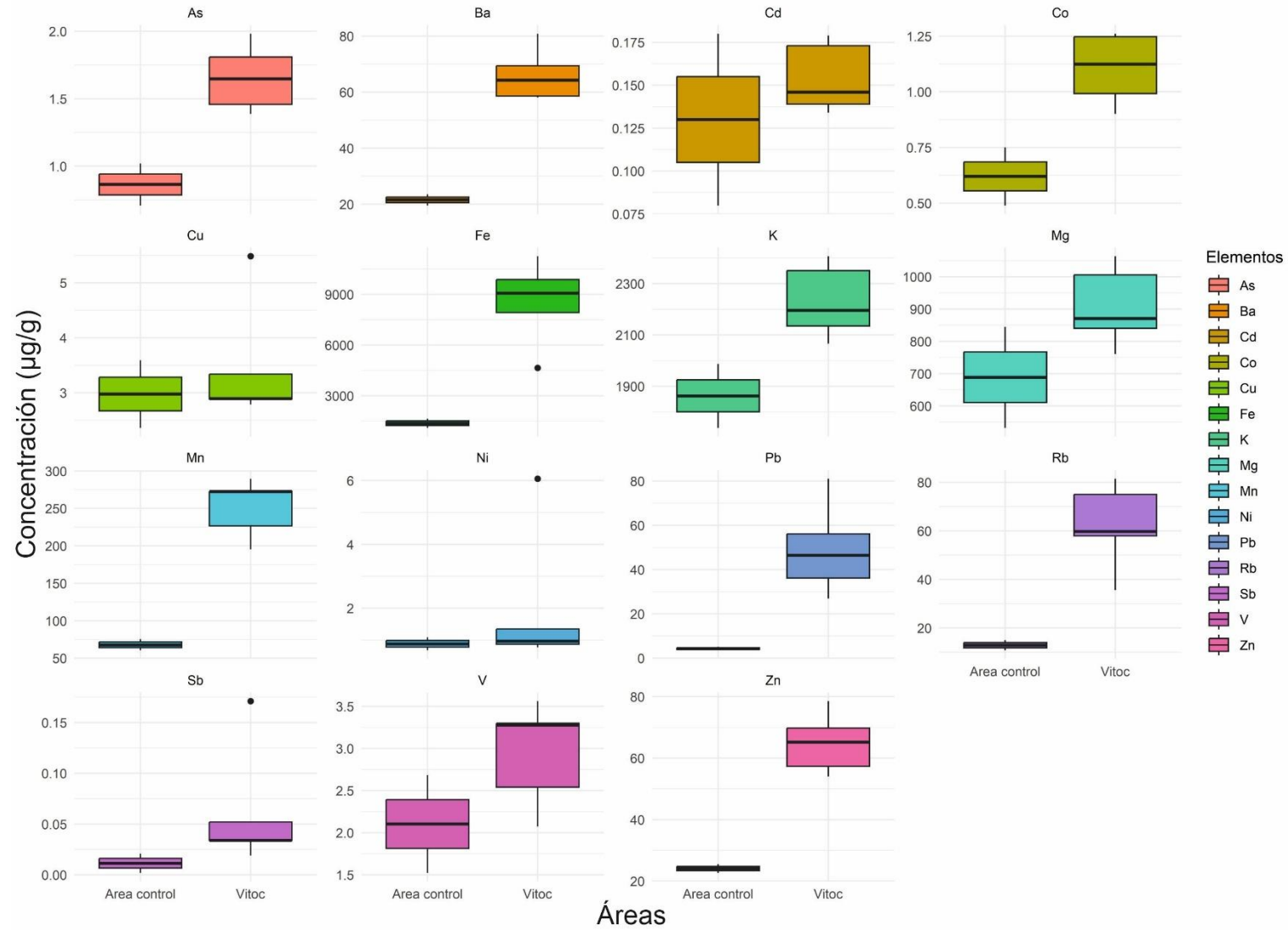
Anexo 8. Concentraciones de elementos traza por puntos de monitoreo de cada área evaluada

Área	Puntos	Mg	K	Pb	V	Sb	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Rb	Cd	Ba
Vitoc BA	V1	761	2351	81.05	2.073	0.050	195.584	4645	1.247	6.056	5.481	57.34	1.387	35.57	0.173	80.84
	V2	840	2066	46.45	3.276	0.171	272.582	9078	0.992	1.347	3.337	65.20	1.648	59.78	0.134	58.60
	V3	1006	2135	36.18	3.299	0.034	273.068	9873	1.125	0.870	2.891	78.51	1.809	75.05	0.179	69.46
	V4	1064	2196	56.11	3.560	0.019	289.723	11257	1.261	0.970	2.785	54.04	1.981	81.51	0.146	64.26
	V5	871	2407	26.97	2.539	0.034	226.815	7925	0.901	0.772	2.885	69.77	1.457	57.943	0.139	58.10
Vitoc BP	V01	1516	2674	11.73	5.90	0.00	111.6	3514.7	2.10	3.30	28.13	198.30	1.20	22.29	0.51	41.40
	V02	2686	2905	19.95	3.74	0.01	85.7	1722.5	0.89	3.14	43.87	113.99	0.95	15.59	0.46	52.57
	V03	1842	3303	17.09	5.18	0.00	91.5	1365.5	1.30	2.51	62.46	215.51	1.51	25.58	0.68	42.52
	V04	1796	2415	26.52	6.59	0.01	120.7	2839.1	2.19	3.07	11.08	127.30	3.19	17.59	0.45	70.38
San Ramón BP	SR01	1973	3491	31.39	3.56	0.13	149.4	3278.7	1.00	4.92	10.91	116.64	2.56	14.66	0.56	26.90
	SR02	2112	3249	22.40	3.59	0.12	115.2	4082.6	0.78	5.49	14.68	86.73	1.14	8.82	0.26	26.65
	SR03	1331	2055	11.92	5.76	0.27	280.8	2151.6	2.25	2.28	22.32	101.86	1.37	7.94	0.25	74.72
	SR04	1622	1880	16.51	5.38	0.28	219.4	3392.0	1.07	2.97	15.78	119.06	2.17	11.12	0.31	27.09
	SR05	2038	2265	36.58	5.33	0.28	175.9	3937.3	1.01	5.64	10.54	99.33	1.05	14.75	0.46	43.15
	SR06	1319	3653	26.67	5.27	0.20	44.3	2712.1	1.31	2.54	12.03	60.44	0.89	13.62	0.46	44.81
	SR07	1838	2611	22.59	2.01	0.15	64.6	2238.8	0.54	2.33	13.12	86.18	1.47	12.02	0.24	20.71
	SR08	1912	2784	12.31	2.73	0.13	102.6	4650.1	0.59	3.31	13.65	64.66	1.17	11.00	0.54	22.48
	SR09	1823	2054	7.50	2.44	0.14	71.8	3027.3	0.51	2.56	11.59	72.07	1.07	9.83	0.23	30.51
	SR10	1424	2081	9.06	1.54	0.16	183.3	3166.2	0.36	2.44	37.84	86.92	1.30	9.11	0.37	18.92
La Merced BP	LM01	1299	2049	12.25	3.64	0.03	67.2	2353.0	0.77	4.74	17.82	82.87	0.68	19.81	0.16	29.24
	LM02	2092	3700	6.38	2.72	0.02	26.6	1256.3	0.68	3.35	63.29	47.65	0.82	17.79	0.69	17.80
	LM03	1192	2481	7.54	4.77	0.02	29.3	1592.2	1.03	3.52	27.94	40.00	0.70	14.28	0.60	30.46
	LM04	1399	2860	9.70	2.68	0.02	31.4	1358.0	0.58	2.88	50.62	48.29	0.66	22.76	0.28	40.77
	LM05	1609	3916	9.26	6.07	0.02	23.4	1126.6	1.27	2.24	64.27	71.42	1.11	8.91	0.19	39.11
	LM06	1153	1927	11.05	4.80	0.02	43.3	2080.8	1.13	2.88	66.12	84.46	1.21	9.83	0.41	32.47
	LM07	1187	3232	14.87	2.07	0.02	33.5	1710.7	0.49	2.80	63.62	95.74	1.41	13.02	0.32	23.40
	LM08	1068	2043	13.96	2.65	0.03	40.0	3026.1	1.07	3.55	57.49	41.98	0.85	14.32	0.23	52.80
	LM09	1651	2862	6.40	5.06	0.04	91.2	1410.4	1.18	2.55	11.04	71.04	1.47	25.64	0.22	40.77
	LM10	1570	3720	7.75	3.00	0.21	93.7	2580.1	0.62	2.67	10.93	51.81	1.07	24.04	0.49	48.70
	LM11	1828	3718	4.77	1.95	0.18	71.8	3011.5	0.74	3.19	15.67	42.63	0.74	10.32	0.85	43.44

	LM12	1424	2402	5.69	2.06	0.12	54.1	1511.3	0.56	4.07	29.90	32.12	0.73	12.38	0.59	34.94
	LM13	1607	2172	8.59	4.30	0.19	53.0	1556.6	1.26	2.29	28.12	67.14	1.38	11.56	0.32	34.36
	LM14	1574	3261	9.77	4.35	0.13	76.1	1882.0	5.88	3.54	11.61	50.48	1.01	6.89	0.74	42.15
	LM15	1620	2593	5.88	3.14	0.39	90.0	1850.9	1.03	2.06	10.72	51.35	0.98	15.00	0.31	31.41
	LM16	2140	3937	8.42	6.59	0.08	51.6	1052.7	1.74	2.08	15.42	76.83	0.89	14.44	0.32	56.44
	LM17	1204	3578	5.55	7.54	0.16	35.8	1370.3	3.69	1.68	8.64	61.96	0.72	18.63	0.19	33.13
Perené BP	PE01	2597	3374	8.37	5.64	0.09	135.8	2847.5	1.81	5.92	8.03	66.60	1.04	11.06	0.18	56.84
	PE02	2489	2616	7.49	6.90	0.09	171.1	2674.1	3.59	4.28	11.80	54.96	0.66	12.30	0.50	48.05
	PE03	2719	2355	6.55	3.75	0.08	140.8	2179.9	1.16	10.89	8.45	55.99	1.23	13.32	0.38	23.47
	PE04	2682	3104	6.63	6.05	0.08	168.7	2424.0	1.69	6.20	9.78	89.06	1.55	18.27	0.43	66.53
	PE05	2775	3049	16.89	4.12	0.11	132.9	2362.3	1.10	10.16	9.76	96.15	1.13	12.52	0.27	26.49
	PE06	3194	3077	15.37	6.36	0.11	122.6	2861.5	1.55	5.27	12.38	76.54	1.30	17.55	0.37	40.51
	PE07	2662	3570	11.47	5.79	0.10	181.1	3078.2	1.24	8.90	9.14	54.02	0.83	15.79	0.39	41.18
Pichanaqui BP	PI01	1773	3034	7.51	3.02	0.01	78.8	3321.7	0.81	3.38	20.98	80.63	1.39	17.13	0.65	35.20
	PI02	2287	2364	12.23	2.79	0.01	144.3	4436.6	0.60	4.72	9.21	66.32	0.98	12.63	0.26	30.00
	PI03	1750	3018	7.71	15.79	0.01	75.8	3138.4	3.06	4.23	11.69	70.95	1.27	16.09	0.38	78.96
	PI04	2217	3373	7.32	11.55	0.01	172.0	4071.5	4.34	4.98	32.14	58.09	1.20	18.58	0.24	85.00
	PI05	2359	2844	8.60	11.43	0.01	165.3	3367.3	4.11	4.43	9.24	50.38	0.75	12.68	0.21	85.22
	PI06	1415	2382	5.36	11.93	0.01	82.2	2000.3	4.27	2.92	10.66	56.96	0.82	10.95	0.41	71.41
	PI07	1512	2438	18.15	5.37	0.01	130.0	2845.1	1.54	3.60	13.60	97.90	2.44	24.73	0.28	76.39
	PI08	2794	3544	11.93	10.68	0.00	167.6	8646.1	4.40	8.51	14.75	94.09	2.49	19.99	0.21	65.52
	PI09	2798	2070	17.03	5.96	0.06	287.3	10160.5	1.85	8.47	14.40	98.00	2.35	19.34	0.19	74.13
	PI10	2733	1955	16.54	2.56	0.06	278.7	9953.6	1.17	8.10	14.18	100.30	2.18	18.78	0.31	36.39
	PI11	2711	2623	15.77	11.04	0.05	288.1	9953.4	3.58	9.34	10.85	79.88	1.30	19.66	0.24	60.10
	PI12	1895	2430	10.38	3.13	0.10	111.0	5097.6	0.85	4.54	7.88	103.04	1.71	18.42	0.14	26.23
	PI13	2822	2540	10.49	2.43	0.02	310.3	10258.8	0.66	8.28	8.40	36.51	0.72	11.97	0.11	28.69
	PI14	3623	2881	13.51	0.83	0.02	336.1	4376.3	0.21	4.24	8.03	76.03	0.84	12.98	0.27	21.56
	PI15	2001	2810	12.82	3.26	0.08	195.6	2653.4	0.91	3.29	11.80	81.28	1.90	17.38	0.30	25.54
	PI16	2453	2178	15.29	6.73	0.05	233.6	9682.3	2.23	7.22	32.44	141.94	1.69	14.96	0.59	69.03
Área Control-BP	AC1	698	1800	5.77	3.43	0.02	174.6	7736.3	0.76	0.72	2.82	33.56	1.26	44.97	0.15	54.22
	AC2	681	1926	4.95	2.75	0.03	177.7	7004.0	0.69	0.85	3.15	32.78	1.29	40.81	0.11	56.88
Área Control-BA	AC3	845	1987	7.46	2.68	0.02	75.6	1097.2	0.49	1.09	3.59	39.50	1.02	15.01	0.18	23.59
	AC4	532	1738	3.26	1.50	0.00	60.5	1642.8	0.75	0.68	2.36	26.90	0.71	10.79	0.08	19.60

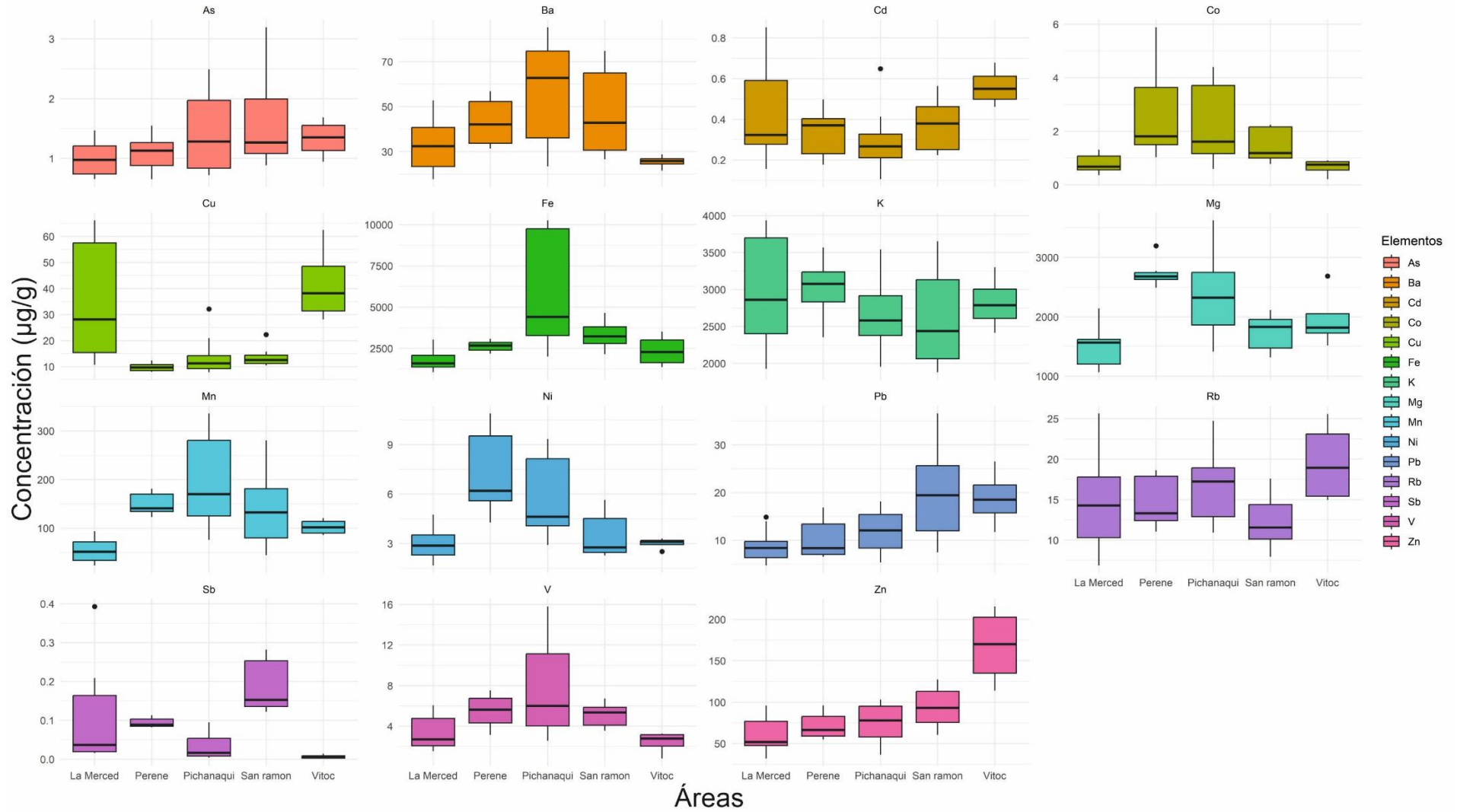
Anexo 9. Diagrama de cajas y bigotes por áreas de monitoreo del biomonitoreo activo

Diagrama de cajas y bigotes - Biomonitoreo activo

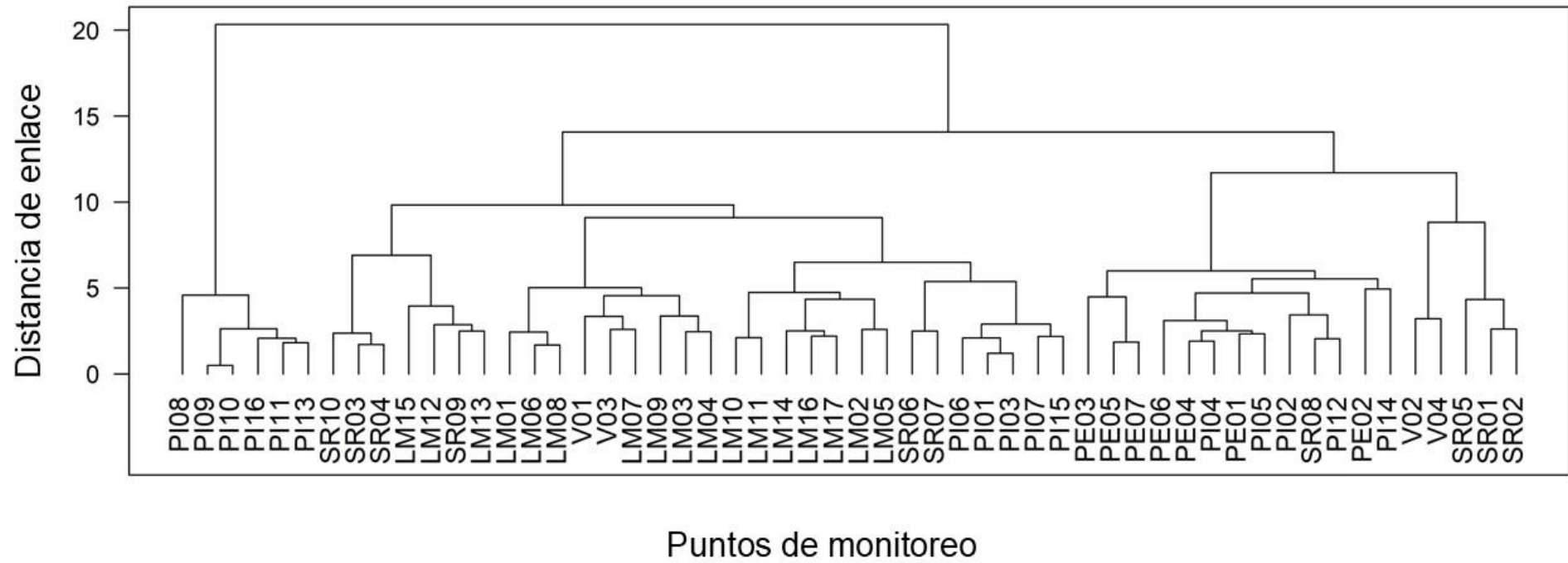


Anexo 10. Diagrama de cajas y bigotes por áreas de monitoreo del biomonitoreo pasivo

Diagrama de cajas y bigotes - Biomonitoreo pasivo



Anexo 11. Dendrograma por puntos de monitoreo de las 5 áreas de monitoreo



Anexo 12. Panel fotográfico de las actividades realizadas en este estudio

Figura 22 *Heterodermia galactophylla* en la zona control



Figura 23 *Physcia undulata* en el sitio de muestreo



Figura 24 *Medición de la altura (1.5-2.0 m) del forofito donde se recolectará la muestra*



Figura 25 *Extracción de las muestras de líquenes*



Figura 26 *Muestras entregadas para el análisis*



Figura 27 *Extracción de líquenes para el biomonitoreo activo*



Figura 28 *Pre-tratamiento físico de las muestras de líquenes para el biomonitoreo activo*



Figura 29 *Homogenización de las muestras de líquenes*



Figura 30 *Pesaje de la muestra control (20 g) de liquen*

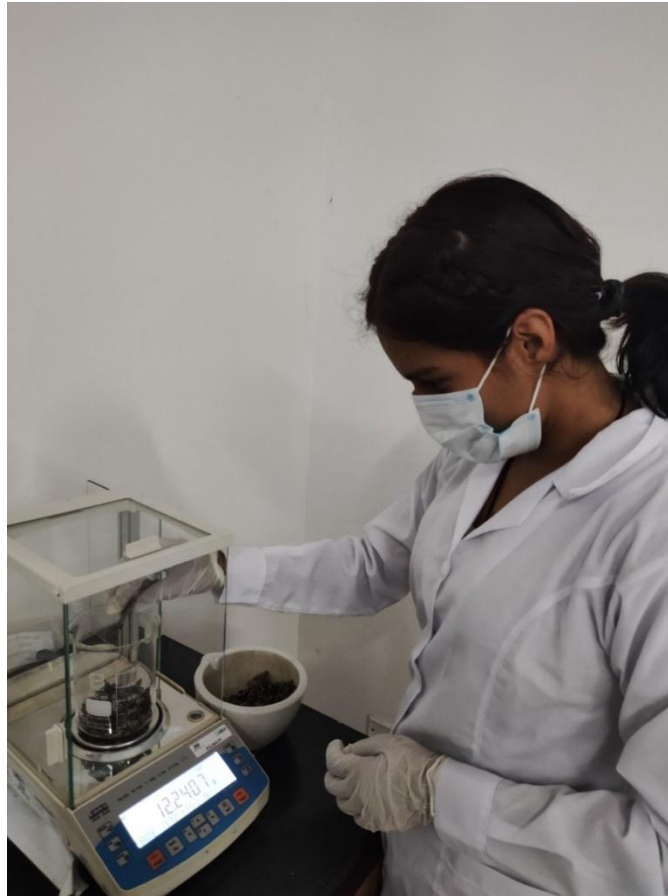


Figura 31 *Pesaje de las muestras (5 g) que serán instalas en los sitios de muestreo*



Figura 32 Llenado de las bolsas que se utilizarán para el biomonitoreo activo



Figura 33 Colocación de las bolsas en los puntos de monitoreo aledaños a la zona minera



Figura 34 *Extracción de las bolsas de líquenes*



Figura 35 *Proceso de secado de las muestras*



Figura 36 *Las muestras son colocadas en la estufa para ser deshidratadas*



Figura 37 *Manejo del molino de bolas para la pulverización de las muestras*



Figura 38 *Digestión de las muestras*

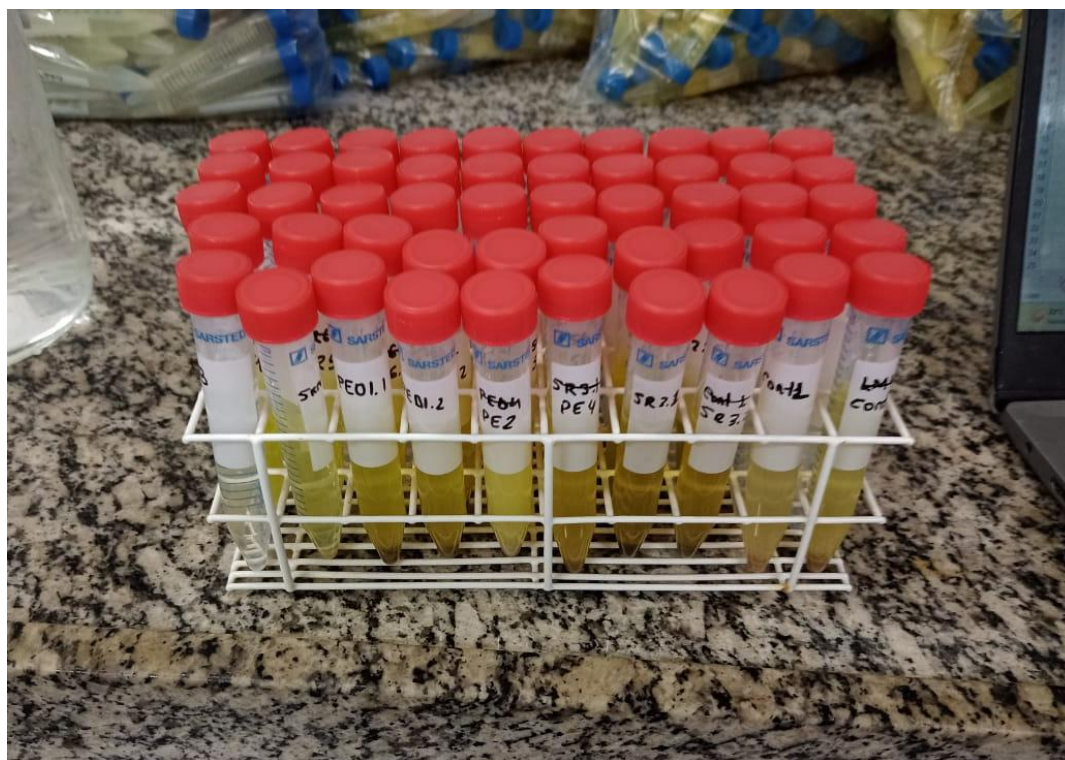


Figura 39 *Lectura de las muestras en el ICP-MS*

