



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

La Universidad Católica de Loja

AREA BIOLÓGICA

TÍTULO DE INGENIERO EN GESTIÓN AMBIENTAL

Detección de la contaminación atmosférica por metales pesados mediante el uso de epífitos (bromelias, briófitos y líquenes), en diferentes zonas de la ciudad de Loja.

TRABAJO DE TITULACIÓN

AUTORAS:

Loaiza Torres Talía Mishel

Luzuriaga Alvarado Yesenia Priscilla

DIRECTOR:

Benítez Chávez Ángel Raimundo, M.Sc.

LOJA-ECUADOR

2016



Esta versión digital, ha sido acreditada bajo la licencia Creative Commons 4.0, CC BY-NY-SA: Reconocimiento-No comercial-Compartir igual; la cual permite copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra, mientras se reconozca la autoría original, no se utilice con fines comerciales y se permiten obras derivadas, siempre que mantenga la misma licencia al ser divulgada. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>

Septiembre, 2016

APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

M.Sc.

Ángel Raimundo Benítez Chávez

DOCENTE DE LA TITULACIÓN

De mi consideración:

El presente trabajo de titulación “Detección de la contaminación atmosférica por metales pesados mediante el uso de epífitos (bromelias, briófitos y líquenes), en diferentes zonas de la ciudad de Loja” realizado por Talía Mishel Loaiza Torres & Yesenia Priscilla Luzuriaga Alvarado, ha sido orientado y revisado durante su ejecución, por cuanto se aprueba la presentación del mismo.

Loja, Octubre 2016

F) Ángel Raimundo Benítez Chávez

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

"Yo Talía Mishel Loaiza Torres & Yesenia Priscilla Luzuriaga Alvarado declaramos ser autoras del presente trabajo de titulación: **Detección de la contaminación atmosférica por metales pesados mediante el uso de epífitos (bromelias, briófitos y líquenes), en diferentes zonas de la ciudad de Loja**, siendo Ángel Raimundo Benítez Chávez director del presente trabajo; y eximimos expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posible reclamos o acciones legales. Además certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo son de mi exclusiva responsabilidad

Adicionalmente declaramos conocer y aceptar la disposición del Art. 88 del Estatuto Orgánico vigente de la Universidad Técnica Particular de Loja que en su parte pertinente textualmente establece: "Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis o trabajos de titulación que se realicen con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad"

f.

Autora: Talía Mishel Loaiza Torres

Cédula: 1103997043

f.

Autora: Yesenia Priscilla Luzuriaga Alvarado

Cédula: 1104937865

DEDICATORIA

Con todo mi cariño y amor dedico este trabajo a quienes hicieron todo esto posible para que yo pueda lograr mis sueños: mis padres Alba Torres y Marlon Loaiza, gracias por su motivación constante para ser una persona de bien, por darme la mano siempre que los necesitaba, pero sobre todo gracias por brindarme su amor.

A mis hermanas Gabriela y Génesis por estar siempre presentes, acompañándome para poder lograr lo que me propongo, por su cariño, comprensión y su apoyo diario.

A mis abuelitos Wilma, Florencio, tíos y primos, gracias por preocuparse por mí y por ser una parte importante en cada paso que doy.

A Juan Pablo Ruíz, por ser mi compañero y amigo, por ser quien me alentó a continuar y quien sacrificó su tiempo para apoyarme, ahora puedo decir que esta tesis lleva mucho de ti.

A mi primo Ney David y a mi bis abuelita Rosa Vaca, que hoy ya no están aquí conmigo pero siempre los tendré en mi corazón y sin importar en donde estén quiero darles las gracias por todo lo que hicieron por mí.

Dedico esta tesis a todos quienes me apoyaron para culminar con éxito una etapa importante en mi vida, no me alcanzan las palabras para expresar el orgullo y lo bien que me siento por tener a personas tan asombrosas en mi vida. Todo este trabajo ha sido posible gracias a ustedes.

Talía

El siguiente trabajo, va dedicado a mis Ángeles de la guardia, que son mis papás, Paúl Luzuriaga & Ma. Priscillia Alvarado; por su amor y sus consejos como por su entrega por mi bienestar.

A mi hermano José Paúl, por brindarme su apoyo incondicional en todo momento, a pesar de nuestras diferencias.

Yesenia

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a la Universidad Técnica Particular de Loja, es especial a la sección de Ecología y Sistemática, como también al Instituto de Química Aplicada, por permitirnos llevar a cabo nuestro trabajo de fin de titulación.

De igual manera al Ing. Ángel Benítez, por su aporte científico y técnico, así como también por brindarnos su apoyo como docente y amigo.

Al Ing. James Calva, por ser nuestro amigo y guía, en todo el proceso del presente trabajo. A Kevin Matute, David Jumbo, Pamela Ortiz y Katherine Sarango, por brindarnos todo su apoyo y amistad en momentos difíciles.

Talía & Yesenia

El presente trabajo le agradezco primeramente a Dios por bendecirme y permitirme llegar hasta donde he llegado, por hacer realidad este sueño y por darme la fortaleza para seguir adelante.

A mis padres Alba y Marlon, por ser un pilar fundamental y por apoyarme en todo momento, por los valores que me han inculcado y por darme la oportunidad de tener una educación de calidad. Gracias por motivarme con constancia para alcanzar mis anhelos, este logro se los debo a ustedes.

A mis hermanas Gabriela y Génesis por ser una parte importante de mi vida y por ser un ejemplo de alegría y amor. Las adoro.

Le agradezco a Juan Pablo Ruiz, por ser la persona que me ha apoyado en las buenas y en las malas, sobre todo por brindarme su amor, paciencia y apoyo incondicional. La ayuda que me ha dado ha sido sumamente importante, siempre me estuviste motivando y me decías que lo lograría, por eso muchas gracias.

A mi querido amigo Andrés Ramírez, por ser como un padre para mí, le agradezco por los consejos dados, el apoyo brindado todo el tiempo y sobre todo por apoyar a mi familia.

A mí prima Andreina Pintado que es como mi hermana y a mi primo Mateo Daniel, por ser quienes estuvieron en todo momento a mi lado, y por enseñarme a ser cada día mejor persona. Los quiero.

A mi compañera de tesis Yesenia, por haber sido una compañera y amiga excelente, por tenerme la paciencia necesaria durante la realización de nuestro trabajo de titulación y por siempre darme su apoyo, ahora podemos decir que ¡Ya somos ingenieras!

Y a todas las personas que han formado parte de mi vida, me encantaría agradecerles por su amistad, consejos, apoyo y ánimo en los momentos más difíciles.

Talía

Agradezco a Dios por permitirme culminar esta etapa de mi vida, también agradezco a Carlos Villavicencio por su amor, paciencia e incondicionalidad, de igual manera a Lisbeth Ríos por tener siempre palabras de aliento.

Yesenia

INDICE DE CONTENIDOS

UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS.....	III
DEDICATORIA.....	IV
AGRADECIMIENTO.....	V
INDICE DE CONTENIDOS	VII
RESUMEN.....	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCIÓN.....	3
OBJETIVOS	5
CAPITULO I	6
MARCO TEÓRICO	6
1.1 Contaminación Atmosférica	7
1.1.1 Definición.....	7
1.1.2 Causas de la contaminación atmosférica.....	7
1.1.3 Efectos de la contaminación atmosférica.....	8
1.2 Contaminación atmosférica en la ciudad de Loja	9
1.2.1 Causas y efectos de la contaminación atmosférica en la ciudad de Loja.....	9
1.3 Bioindicadores de la contaminación atmosférica	9
1.3.1 Definición.....	9
1.3.2 Tipos de Bioindicadores.	9
1.3.3 Importancia del uso de Bioindicadores.	11
1.4 Briófitos.....	11
1.4.1 Características de los briófitos.....	11
1.4.2 Clasificación de los briófitos.....	12
1.4.3 Diversidad de briófitos en el Ecuador.	13
1.4.4 Briófitos como organismos Bioindicadores.	13

1.5 Líquenes.....	13
1.5.1 Clasificación de los líquenes.....	14
1.5.2 Características de los líquenes.....	14
1.5.3 Diversidad de líquenes en el Ecuador.	15
1.5.4 Líquenes como organismos Bioindicadores.....	16
1.6 Bromelias	17
1.6.1 Características de las bromelias.....	17
1.6.2 Diversidad de bromelias en el Ecuador.	17
1.6.3 Bromelias como organismos Bioindicadores.	18
1.7 Briófitos, líquenes y bromelias como organismos acumuladores de metales pesados.....	18
1.8 Tipos de metales pesados absorbidos por briófitos, líquenes y bromelias.....	19
1.9 Tipos de muestreos para la detección de contaminación atmosférica usando briófitos, líquenes y bromelias	19
1.10 Estudios realizados en el Ecuador relacionados con la contaminación del aire	21
CAPITULO II	22
MATERIALES Y MÉTODOS	22
2.1 Área de estudio	23
2.2 IPA y mapa de isocontaminación.....	24
2.3 Protocolo de laboratorio para el análisis de metales pesados.....	24
2.4 Análisis de datos.....	25
CAPITULO III	27
RESULTADOS.....	27
3.1 Mapa de isocontaminación	28
3.2 Análisis de concentración de metales pesados.....	30
3.2.1 <i>Parmotrema arnoldii</i>	30
3.2.2 <i>Tillandsia usneoides</i>	32

CAPITULO IV	35
DISCUSIÓN.....	35
CONCLUSIONES.....	39
RECOMENDACIONES.....	40
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	41
ANEXOS	55

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Efectos de la contaminación atmosférica.....	8
Tabla 2. Intervalos de índice de pureza atmosférica.....	27
Tabla 3. Concentración de metales pesados en <i>Parmotrema arnoldii</i> en cada una de las zonas muestreadas, y Anova (p-valor).....	30
Tabla 4. Concentración de metales pesados en <i>Tillandsia usneoides</i> cada una de las zonas muestreadas, y Anova (p-valor).....	32

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa del área de estudio.....	23
Figura 2. Índice de pureza atmosférica (IPA).....	28
Figura 3. Mapa de isocontaminación.....	29
Figura 4. Concentración de Cd en <i>Parmotrema arnoldii</i>	30
Figura 5. Concentración de Cu en <i>Parmotrema arnoldii</i>	30
Figura 6. Concentración de Mn en <i>Parmotrema arnoldii</i>	31

Figura 7. Concentración de Pb en <i>Parmotrema arnoldii</i>	31
Figura 8. Concentración de Zn en <i>Parmotrema arnoldii</i>	31
Figura 9. Concentración de Cd en <i>Tillandsia usneoides</i>	32
Figura 10. Concentración de Cu en <i>Tillandsia usneoides</i>	32
Figura 11. Concentración de Mn en <i>Tillandsia usneoides</i>	33
Figura 12. Concentración de Pb en <i>Tillandsia usneoides</i>	33
Figura 13. Concentración de Zn en <i>Tillandsia usneoides</i>	33

RESUMEN

La contaminación atmosférica es un fenómeno global, debido a la dispersión de gases emitidos por diversas fuentes como industrias o tráfico vehicular, produciendo riesgos en la salud de las personas. Los organismos epífitos (bromelias, líquenes y briófitos) debido a sus características fisiológicas son capaces de acumular metales pesados presentes en la atmósfera y son muy sensibles a cambios ambientales. Se determinó los niveles de contaminación del aire por metales pesados en 17 localidades distribuidos en la zona norte, centro y sur de la ciudad de Loja. Asimismo, se elaboró el mapa de isocontaminación en base al índice de pureza atmosférica que permitió determinar focos de contaminación en la ciudad. El mapa de isocontaminación indicó que las zonas cercanas a la urbe (Parque Bolívar, calle 10 de agosto y el sector el León) presentaron los menores valores del IPA relacionados con un mayor grado de contaminación. De manera similar, se determinó una mayor concentración de metales pesados (plomo, cadmio, zinc) en las zonas céntricas de la ciudad al compararlas con las zonas fuera de la urbe. Los resultados permitieron detectar focos de contaminación por metales pesados en las zonas céntricas de la ciudad relacionados con la incidencia antrópica y vehicular.

Palabras claves: bromelias, isocontaminación, contaminación atmosférica, IPA, líquenes, metales pesados.

ABSTRACT

Air pollution is a global phenomenon, due to the dispersion of gases emitted by various sources such as industries or vehicular traffic, causing health risks of people. The epiphytic organisms (bromeliads, lichens and bryophytes) due to their physiological characteristics are able to accumulate heavy metals present in the atmosphere and are very sensitive to environmental changes. The levels of air pollution by heavy metals were determined in 17 locations distributed in the north, center and south of the city of Loja. Also, the map of isocontamination was drawn based on the index of atmospheric purity which identified sources of pollution in the city. The map of isocontamination indicated that areas close to the city (Parque Bolívar, 10 de agosto street and León locality) had the lowest values of IPA related to a higher degree of contamination. Similarly, a higher concentration of heavy metals (lead, cadmium, zinc) in the central areas of the city when compared to areas outside of the city was determined. The results allowed to detect outbreaks of heavy metal pollution in downtown areas of the city related to the anthropic and vehicular impact.

Keywords: bromeliads, isocontamination, airpollution, IPA, lichens, heavy metals.

INTRODUCCIÓN

La contaminación del aire es considerada uno de los principales problemas ambientales de las zonas urbanas, debido al incremento del parque automotor y el crecimiento urbanístico relacionado con la sobrepoblación humana (Plan Nacional de la Calidad del Aire., 2010; Franco., 2012). Desde hace varios años el principal recurso para la obtención de energía eléctrica ha sido los combustibles fósiles, tales como el carbón o el petróleo y sus derivados, mismos que han causado efectos sobre la calidad del aire (Morales et al., 2012). Adicionalmente, esta problemática se ha relacionado con la presencia de sustancias perjudiciales como dióxido de azufre (SO₂), óxidos de nitrógeno (NO_x), plomo (Pb), compuestos orgánicos y partículas en suspensión, que producen riesgos en la salud de las personas relacionados a la actividad respiratoria y una mala visibilidad en la ciudades (Alvarado & Hernández, 2008), influyendo negativamente en la calidad de vida de las personas (PNUMA et al., 2007).

De manera similar, la contaminación del aire en la ciudad de Loja se ha catalogado como uno de los principales problemas ambientales, muy relacionados con el crecimiento desmedido de la población y el parque automotor en la ciudad dando como resultados el aumento de las emisiones de gases contaminantes (Alvarado et al., 2007; PNUMA et al., 2007). En este contexto previos estudios han determinado que los puntos más críticos relacionados con la contaminación atmosférica son los de mayor congestión vehicular en las zonas céntricas de la ciudad (Cango, 2014; Nagua & Montalvo, 2004; Ochoa-Jimenez et al., 2015).

Los organismos epífitos (Bromelias, Líquenes y Briófitos) han sido utilizados como organismos modelo para evaluar la contaminación del aire en diferentes ciudades a nivel global (Bermudez et al., 2009; Garcia, 2004; Käffer et al., 2011; Pignata et al., 2002; Rincon, 2012), debido a sus características fisiológicas y su dependencia a fuentes aéreas de nutrientes que los expone a los contaminantes en el entorno donde se encuentran (Hawksworth et al., 2006). Bajo esta premisa varios estudios han documentado el uso eficaz de la diversidad de las comunidades de bromelias, líquenes y briófitos epífitos como indicadores de la contaminación del aire (Santoni & Lijteroff., 2006; Käffer et al., 2011; Simijaca-Salcedo et al., 2014; Pescott et al., 2015; Ochoa-Jiménez et al., 2015). De manera complementaria algunos estudios han utilizado mapas de isocontaminación en función del IPA con la finalidad de conocer zonas más vulnerables a la contaminación y de esta manera determinar focos de contaminación atmosférica (Calvelo &

Liberatore, 2004; Rubiano & Chaparro, 2006; Simijaca- Salcedo et al., 2014). A pesar de la importancia de los epífitos como indicadores de la calidad del aire, en la ciudad únicamente se han realizado dos estudios enfocados al IPA y cambios en las comunidades de líquenes y briófitos (Cango, 2014; Ochoa-Jiménez et al., 2015), sin embargo no han cuantificado la concentración de los contaminantes. Es de conocimiento general, la capacidad de los epífitos para acumular contaminantes en ambientes urbanos, por ello en esta línea de investigación a nivel global se han desarrollado varios estudios relacionados con la concentración de metales pesados (Conti & Cecchetti, 2001; Carreras & Pignata, 2002; Gombert et al., 2002; Nimis et al., 2002; Calvelo & Liberatore, 2004; Martínez & Díaz, 2004; Hawksworth et al., 2006; Gómez, 2010; Bermudez et al., 2009; Govindaparyi et al., 2010; Meyer et al., 2010), con resultados claves para realizar programas de monitoreo de la contaminación del aire en diferentes ciudades. Sin embargo en el país los estudios son limitados, el presente trabajo representa el primer estudio enfocado a detectar la concentración de los contaminantes del aire utilizando estos organismos.

Por lo anteriormente mencionado, la presente investigación está orientada a elaborar un mapa de isocontaminación que muestre que zonas de la ciudad cuenta con una mejor calidad del aire, y conjuntamente determinar la concentración de metales pesados en la atmósfera, tomando en cuenta elementos como plomo (Pb), cadmio (Cd), zinc (Zn), cobre (Cu) y manganeso (Mn) en diferentes zonas de la ciudad de Loja, mediante el uso de epífitos (bromelias, líquenes y briófitos).

OBJETIVOS

Objetivo general

Determinar la contaminación del aire por metales pesados mediante el uso de epífitos (bromelias, briófitos y líquenes) en diferentes puntos de la ciudad de Loja.

Objetivos específicos

- Desarrollar un mapa de isocontaminación de la ciudad de Loja en base al índice de pureza atmosférica.
- Analizar la concentración de metales pesados en epífitos (bromelias, briófitos y líquenes) en diferentes puntos de la ciudad de Loja.
- Determinar focos de contaminación por metales pesados en la ciudad de Loja mediante el uso de epífitos (bromelias, briófitos y líquenes).

CAPITULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 Contaminación atmosférica

1.1.1 Definición.

La contaminación atmosférica consiste en la presencia de sustancias perjudiciales o cualquier agente físico, químico o biológico, que son emitidos directamente de una fuente, como por ejemplo: dióxido de azufre (SO₂), óxidos de nitrógeno (NO_x), óxido de carbono (CO), plomo (Pb), compuestos orgánicos y partículas en suspensión (Alvarado & Hernández, 2008).

1.1.2 Causas de la contaminación atmosférica.

Según el Programa de las Naciones Unidas (2007) una de las causas de la contaminación atmosférica es la sobrepoblación, debido a un excesivo consumo de recursos naturales, lo cual ha provocado la pérdida de hábitats de especies animales como vegetales. La sobrepoblación humana ha sido influida por diversos factores, como la ausencia de enemigos naturales, la mejora en la calidad de vida, y la mejor adquisición monetaria, influyen en el incremento de la contaminación atmosférica. Asimismo, el crecimiento desmedido del sector económico, industrial y urbano provocan la migración de la mayor parte de la población mundial influyendo en el aumento de contaminación del aire (Franco, 2012).

La generación de la contaminación atmosférica, está relacionada con perseguir el máximo beneficio para satisfacer necesidades, la cual ha implicado mayor esfuerzo y costos en avances tecnológicos, en actividades petroleras, mineras, agroindustrial, entre otras, las mismas que originan el incremento en la utilización de combustibles fósiles provocando daños en la salud de las personas, el medio ambiente y en los recursos materiales (Romero et al., 2006).

Finalmente, otra causa de la contaminación del aire, es la alta demanda de energía eléctrica la cual ha ido aumentando con el pasar de los años, con el fin de mejorar la calidad de vida de las personas y aumentar el desarrollo económico. Desde hace varios años la principal fuente de energía primaria para la obtención de energía eléctrica han sido los combustibles fósiles tales como el carbón o el petróleo y sus derivados, el consumo de los mismos genera contaminantes que han sido responsables de importantes fenómenos como el calentamiento global y la afección a la salud de los seres vivos (Morales et al., 2012).

1.1.3 Efectos de la contaminación atmosférica.

La contaminación del aire, es actualmente uno de los problemas más grandes a nivel mundial (Franco, 2012). Los efectos que produce dicha contaminación, afectan seriamente a los fenómenos meteorológicos y estos también son nocivos para los seres humanos, constituyendo un fenómeno que afecta principalmente a la salud, puesto que están constantemente expuestos a varios contaminantes presentes en el aire (Placeres et al., 2006; Segura, 2013). Los efectos que producen los gases provenientes de una excesiva contaminación vehicular, ocasionan en las personas daños en las vías respiratorias, disminución de la función pulmonar, asma y enfermedades cardíacas (Cárdenas, 2004).

A continuación se presenta (tabla 1) los efectos en la salud humana, causada por los principales contaminantes atmosféricos.

Tabla 1. Efectos de la contaminación atmosférica

Contaminante	Efectos sobre la salud
Ozono	Daño en células de las vías respiratorias provocando inflamación de laringe, tráquea, pulmones, bronquios y garganta. Además provoca enfermedades circulatorias
Dióxido de azufre (SO ₂)	Provoca irritación en las membranas de la mucosa del tracto respiratorio, ocasionando asma, bronquitis y enfisema pulmonar
Dióxido de nitrógeno (NO ₂)	Ocasiona la disminución de la función pulmonar provocando bronquitis aguda, tos y flema
Óxido de carbono (CO)	Este gas encontrado en sitios cerrados puede causar sofocación e insuficiencia cardíaca

Fuente: Cárdenas, (2004) Contaminación atmosférica y medios de transporte en la ciudad de Toluca.

Igualmente, la presencia de contaminantes como los clorofluorocarbonos (CFCs), el metano, los óxidos nitrosos y el ozono en el aire, provocan efectos severos en el clima, generalmente son los causantes del efecto invernadero, lo que impiden que una parte del calor recibido desde el sol deje la atmósfera y vuelva al espacio, provocando así el calentamiento de la superficie de la tierra. Además, la presencia de dichos gases provoca la destrucción de la capa de ozono, permitiendo el paso excesivo de rayos ultravioletas (UV) a la atmósfera, poniendo en peligro a plantas como a animales (Nash III, 2001).

1.2 Contaminación atmosférica en la ciudad de Loja

1.2.1 Causas y efectos de la contaminación atmosférica en la ciudad de Loja.

Una de las principales causas de la contaminación atmosférica en la ciudad es el acelerado proceso de urbanización, debido a estas circunstancias, se produjo varias consecuencias como la pérdida de cobertura vegetal, contaminación a los ríos y una de las más relevantes la contaminación atmosférica, debido al incremento del parque automotor en la ciudad, dando como resultado un aumento en las emisiones de gases contaminantes (PNUMA et al., 2007).

Un estudio realizado en la ciudad de Loja en el año 2008, muestra que la tasa de motorización del parque automotor tuvo un incremento notable y como consecuencia aumentó el grado de contaminación atmosférica en la ciudad (Alvarado & Hernández, 2008).

1.3 Bioindicadores de la contaminación atmosférica

1.3.1 Definición.

Un bioindicador es todo organismo vivo, que permite determinar y evaluar las condiciones del medio en el cual se desarrolla, permitiendo conocer el índice de contaminación de un lugar, ya sea, atmósfera, agua o suelo (Capó, 2007; Nimis, 2002; Rasmussen, 1977).

1.3.2 Tipos de Bioindicadores.

Existen diversos tipos de bioindicadores que se clasifican dependiendo de varios criterios, según Capó (2007):

Según el grado de sensibilidad: permiten obtener información de acuerdo al grado de afectación, como de los cambios ocurridos o el nivel de intensidad del cambio ambiental. Se pueden clasificar en especies muy sensibles, sensibles, poco sensibles y resistentes.

b. Según la capacidad de respuesta a estímulos, se clasifican en:

- Detectores: son organismos que viven en un área determinada y muestran respuestas tales como cambios en la vitalidad, mortalidad, capacidad reproductora, abundancia, etc.
- Explotadores: son entidades que permiten identificar con una mayor probabilidad la presencia de una perturbación, los mismos se localizan en zonas perturbadas por la no existencia de competidores.
- Centinelas: son bioindicadores muy sensibles, los cuales se los coloca en un área determinada y son generalmente utilizados como alarmas debido a que detectan rápidamente un cambio.
- Acumuladores: son organismos resistentes a diversos contaminantes, pudiendo absorberlos y acumularlos en cantidades apropiadas.
- Organismos test o bioensayo: usualmente son bioindicadores que permiten detectar la contaminación en laboratorios, al igual, estos pueden ser usados para establecer listas de contaminantes según su toxicidad.

c. Según el poder de cuantificar las respuestas, existen:

- Bioindicadores en el sentido estricto: son aquellos que con su presencia o ausencia indican los efectos de un factor ambiental de forma cualitativa, como por ejemplo, aquellas plantas que viven en lugares donde hay cierto metales pesados y que con las presencia de las mismas indican la existencia de contaminación en el entorno donde se encuentren.

- **Biomonitores:** son especies que indican la presencia de contaminantes de forma cualitativa y cuantitativa, porque sus reacciones son de alguna manera proporcionales al grado de perturbación. Es decir, permiten la acumulación de contaminantes en los mismos y a la vez permiten obtener cantidades medibles de metales absorbidos.

1.3.3 Importancia del uso de Bioindicadores.

Los efectos de la contaminación atmosférica sobre los briófitos y líquenes provoca alteraciones tanto en su crecimiento como en su morfología, además de ocasionar afecciones en su potencial de reproducción, respiración y fotosíntesis (Nash III, 2001).

El biomonitoreo de la calidad del aire, es importante porque se la puede realizar directa o indirectamente o a través de modelos, de la misma manera se requiere de métodos complementarios, es decir, la utilización de bioindicadores los cuales ayudan a conocer el grado de contaminación y permiten obtener un análisis apropiado así como también conseguir información sobre alteraciones ambientales debido a que tiene la capacidad de absorber agua y nutrientes, y también porque presentan un alto grado de sensibilidad hacia la contaminación (Gómez, 2010; Segura, 2013). Debido a esto, los bioindicadores se han venido utilizando cada vez con más frecuencia como un instrumento de diagnóstico, monitoreo y gestión de la contaminación ambiental (Klumpp et al., 2004).

1.4 Briófitos.

1.4.1 Características de los briófitos.

Los briófitos son organismos que carecen de un sistema vascular y son relativamente simples tanto morfológicamente como anatómicamente, el crecimiento de los mismos no es polarizado como lo es en las plantas vasculares. Estos se desarrollan en varios hábitats, con preferencia en suelos húmedos, como también en rocas, troncos y en las ramas de los árboles. Estos consiguen nutrientes de una manera directa de sustancias que se encuentran disueltas en ambientes húmedos (Glime, 2007).

Los briófitos son organismos poiquilohídricos, estos al carecer de mecanismos eficaces para la regulación de sus niveles internos de agua, depende de la disponibilidad hídrica externa. Sus

sistemas de aislamiento e impermeabilización están poco desarrollados, lo que conlleva a que no tiene una estabilidad, es decir, pueden hidratarse y desecarse rápidamente. Lo cual da como resultado una ventaja ya que puede persistir en condiciones de deshidratación menos de lo necesario para sus funciones metabólicas, y al rehidratarse las recuperan sin problema (Crandall-Stotler, 2009).

1.4.2 Clasificación de los briófitos.

Los briófitos se clasifican en tres grupos: musgos, hepáticas y antocerotes. Estos poseen características similares, una de ellas es que son desprovistas de tejidos vasculares que son propios de las plantas terrestres superiores (división *Tracheophyta*) y mantienen unidas las fases de reproducción, la sexual con órganos productores de gametos (gametofitos), y la reproducción asexual, productora de esporas (esporofito) (Hässel de Menéndez & Rubies, 2004).

- **Musgos:** Este grupo se caracteriza por sus gametofitos, son siempre foliosos y los filidios se presenta en espiral, sin embargo, existen excepciones en algunos géneros que muestran una complanación secundaria, el caulidio (tallo) posee una epidermis diferenciada, un córtex y una traza conductora, habitualmente hidroides. (Vanderpoorten & Goffinet, 2009). Los esporofitos son variados, están compuestos por una seta y un esporangio y está cubierta por la caliptra. La abertura de la cápsula se produce mediante el opérculo; en los grupos que no poseen operáculo, las esporas salen a través de la abertura de la pared de la cápsula. Estas al germinar, forman un protonema pluricelular, filamentoso que se desarrolla y se transforma en gametofito (Hässel & Rubies, 2004).
- **Hepáticas:** En este grupo el gametofito tiende a ser laminar (hepáticas talosas) o estar formado por caulidios y filidios (hepáticas foliosas) (Glime, 2007). Las hepáticas talosas pueden ser simples o complejas, las primeras se caracterizan por presentar tanto formas laminares con escasa diferenciación histológica y pocas capas de células, como formas foliosas con filidios en disposición espiral o en un plano. En cambio, las segundas, poseen un cuerpo vegetativo con módulos lobulares, sin estructuras foliosas, complanado con ramificaciones dicótomas, diferenciados a partir de una célula apical tetraédrica (Glime, 2007).

- Antocerotes: Los organismos de este grupo son al igual que los demás laminares, poco diferenciados histológicamente; sus células presentan un solo cloroplasto con un pirenoide, que supone un mecanismo de concentración de carbono común en algas, pero insólito en plantas terrestres (Villarreal et al., 2010). En el conjunto de los briófitos destaca la ausencia de estomas en las fases gametofíticas, a pesar de ser las principales responsables en desarrollar adaptaciones para maximizar la fotosíntesis. Ocasionalmente se desarrollan otras estructuras para favorecer el intercambio gaseoso (como las lamelas de los filidios en el Orden Polytrichales y las cámaras aeríferas de las hepáticas talosas complejas) (Villarreal et al., 2010).

1.4.3 Diversidad de briófitos en el Ecuador.

Ecuador consta con novecientas especies que corresponden a musgos, setecientos a hepáticas y quince especies a antocerotes. Según expertos hay mucha diversidad de briófitos en el país, solo que no se ha realizado una explotación de los bosques de la región costa y sierra del país; contrastando con la región amazónica del Ecuador la cual consta con mayor cantidad de especies, esto es gracias a las condiciones climáticas de la zona, que son óptimas para el crecimiento y el desarrollo de los organismos ya mencionados (León-Yáñez & Gradstein, 2006; Mocanu & Steines, 2002).

1.4.4 Briófitos como organismos Bioindicadores.

Los briófitos son usados como bioindicadores de contaminación atmosférica debido a su gran capacidad para absorber o sorber y retener elementos o sustancias, de la precipitación como la disposición seca, su gran sensibilidad a los contaminantes es causado por la carencia de barreras estructurales que no impiden su absorción, permiten realizar diferentes estudios integrados al tiempo ininterrumpidamente por su baja tasa de crecimiento y su ciclo de vida; la toma de muestras tanto como los análisis químicos son poco complejos de realizar debido a las altas concentraciones que se presentan en estos organismos. La sensibilidad que poseen estos organismos a ciertos metales o estímulos, y su aplicabilidad en estudios ambientales de sistemas tanto acuáticos, como terrestres y atmosféricos, hacen que los briófitos sean una importante herramienta como bioindicadores (Mocanu & Steines, 2002).

1.5 Líquenes

1.5.1 Clasificación de los líquenes.

Según Barreno & Rico (s.f), mencionan que los talos se clasifican con base a su aspecto, su estratificación y las estructuras de fijación al sustrato.

Según las formas de crecimiento:

- Líquenes crustáceos: también conocidos como líquenes crustosos, son aquellos que forman una fina costra, están fijados fuertemente al sustrato y son difícilmente separables del mismo, este tipo de líquenes carecen de corteza inferior (Ryan et al., 2002) y su crecimiento es de unos milímetros por año (Umaña & Sipman, 2002).
- Líquenes foliosos: presentan talos en forma de una lámina o con forma aplanada, y además en muchos de los casos está dividido en lóbulos y en otras ocasiones no. Estos muestran una forma similar a la de una hoja. Poseen una fácil remoción del sustrato en el que se encuentran y tiene la facilidad de absorber agua tanto del sustrato como de la atmósfera (Barreno & Pérez, 2003).
- Líquenes fruticulosos: poseen la forma de un pequeño arbusto, los líquenes que son de este tipo reciben el nombre de lacinias, además, su talo es aplanado y está dividido en lóbulos (Umaña & Sipman, 2002).
- Líquenes gelatinosos: como la palabra mismo lo dice, estos líquenes presenta una forma gelatinosa y viscosa, además absorben agua y al reaccionar a la humedad provoca el hinchamiento característico del liquen, y presentan colores poco llamativos.

1.5.2 Características de los líquenes.

Según Barreno & Pérez (2003) los líquenes son una asociación simbiótica entre un hongo (micobionte) y alga verde o una cianobacteria (fotobionte), la agrupación de los mismo permite que el alga sea capaz de realizar la fotosíntesis y aportar materia orgánica, mientras que el hongo puede vivir en el medio terrestre, reteniendo el agua y las sales minerales, la unión de los dos organismos producen una estructura estable.

Dentro de este grupo “se encuentran alrededor de veinte y cinco mil especies de líquenes en la naturaleza, desde el Ecuador hasta el Ártico y el Antártico, colonizando variados ambientes, desde los desiertos hasta las montañas” (Darré, 2011).

Cabe señalar, que existen hongos que se desarrollan sobre la corteza de los árboles (cortícolas), otros se desarrollan sobre tronco caídos, diferentes a los anteriores se desarrollan sobre rocas (saxícolas o rupícolas), otros se reproducen en los suelos (terrestres) y finalmente algunos crecen sobre los tejidos muertos de los animales (zoobióticos) (Coutiño & Montañez, 2000).

Además, los líquenes se organizan en estructuras complejas llamados talos, en la mayoría de los líquenes, el micobionte es un alga, este constituye la mayor parte de los tejidos estructurales, que por lo general consisten en varias capas (corteza superior, médula y corteza inferior), que a la vez están constituidas por las hifas del hongo. Las células del alga verde que están rodeadas por hifas, forman la capa algal por debajo de la corteza superior. En cambio, el fotobionte es una cianobacteria, la organización de la misma no es tan estructurada y el fotobionte está distribuido de forma más o menos homogénea (Cubas et al., 2010).

La reproducción de los mismos, se da por medio de propagación asexual y sexual, la primera es a través de la fragmentación del talo o mediante la formación de diásporas vegetativas (soredios e isidios). En cambio, la reproducción sexual solo la tiene el hongo, mediante ascosporas si se tratase de un ascomiceto, originándose en unas estructuras especializadas denominadas apotecios. Y si se trata de un hongo de tipo basidiomiceto, entonces las células reproductoras son basidiosporas (González, 2013).

1.5.3 Diversidad de líquenes en el Ecuador.

Ecuador es reconocido como uno de los países más ricos en cuanto a diversidad biológica ya sea de flora o de fauna, pero en todo lo que se refiere a diversidad liquénica ha sido muy poco estudiada, sin embargo a pesar de numerosos artículos de referencia no existe ningún trabajo que recopile datos para Ecuador Continental, pero con lo que respecta a las Islas Galápagos la diversidad liquénica ha sido intensamente estudiada durante los últimos años (Cevallos, 2012). El conocimiento de líquenes tropicales es muy importante, por lo que se aprecia que el número de especies de líquenes a nivel mundial aproximadamente oscila entre diez y siete mil

quinientos, y, veinte y siete mil setecientos cincuenta en Ecuador (Sipman & Aptroot. 2001; Feuerer & Hawksworth, 2007; Lücking et al., 2009).

Según Cevallos (2012) existen un total de 930 especies, de los cuales 898 especies son líquenes y 32 hongos liquenícolas citados para Ecuador continental. Conjuntamente, según la distribución por regiones se encontraron 533 especies citadas para la región Oriente, 525 para la Sierra y 97 para la Costa; pero 159 especies se quedaron por asignarse a una región ya que los datos de su distribución eran insuficientes. Los cinco géneros más representados en Ecuador continental son *Cladonia* con 53 spp, *Hypotrachyna* con 47 spp, *Porina* con 38 spp, *Leptogium* con 31 spp y *Heterodermia* con 27 spp.

1.5.4 Líquenes como organismos Bioindicadores.

A partir del año 1866 han existido varias especies de líquenes que han servido como bioindicadores de la calidad ambiental, especialmente del aire (Kricke & Loppi, 2002). Actualmente, los líquenes siguen siendo utilizados para detectar metales pesados como el dióxido de azufre (SO₂), como también una amplia variedad de compuestos como: amoníaco, fluoruros, polvo alcalino, metales radioactivos e hidrocarburos (Hawksworth et al., 2005).

Según Hawksworth et al. (2005) los líquenes por ser muy diversos en su biología y forma de vida, son organismos que sirven como un buen indicador, esto es debido a que presentan características muy peculiares:

- Son individuos difundidos por todo el mundo, y muchas de las especies se desarrollan en ambientes con características bien definidas;
- Dependen prácticamente de la atmósfera y en menor medida del sustrato;
- Absorben nutrientes y contaminantes a través de una gran parte de su superficie, incluyendo partículas y gases;
- Poseen una naturaleza simbiótica, asociación de un hongo y un alga;

- Presentan un crecimiento lento y son longevos, por lo que están enormes períodos expuestos a efectos nocivos y;
- Son organismos perennes, por lo que se los puede muestrear todo el año, facilitando las investigaciones.

En resumen, la presencia o ausencia de especies de líquenes, es importante porque ofrece información acerca de la calidad del aire y del estado de contaminación atmosférica.

1.6 Bromelias

1.6.1 Características de las bromelias.

La mayoría de bromelias son de hábitos epífitos, su reproducción suele ser por semillas; las hojas son por lo general alargadas, a menudo serradas o enteras (Picado, 1988). Estas tienen cierta preferencia en su ubicación en un árbol (horquetas, orientación, altura, diámetros de rama) pero no tienen una especificidad de la especie del mismo (Picado, 1988).

Según González et al. (2009) señala que estos organismos epífitos son originarias de las regiones tropicales y templadas, estas a la vez son conocidas también como la familia de la piña, se reconoce como la más grande de las plantas en su hábitat natural, que poseen una gran belleza y colorido.

Las bromelias, al igual que los epífitos, son de suma importancia en el funcionamiento de ciertos ecosistemas, ya que contribuyen a la riqueza de especies, ocupando un lugar destacado en el ciclo de nutrientes, estableciendo un gran número de interacciones de otros organismos (Stuntz et al., 2002).

Entre las condiciones que ofrecen las bromelias están diferentes unidades asociadas al ambiente terrestre como: hojarasca, materia orgánica, y detritus; también en ambientes acuáticos. De esta manera presentan diferentes tipos de hábitat, según las necesidades de cada individuo que se está asociado a ellas (Stuntz et al., 2002).

1.6.2 Diversidad de bromelias en el Ecuador.

En el Ecuador las bromelias están representadas por 171 plantas, las cuales son consideradas endémicas, siendo así el 3,8% del total de especies endémicas en el país (Luther, 2006).

La distribución de estas familias se encuentra en una gran variedad de hábitats, la misma que es considerada cosmopolita, debido a que es muy común encontrar ciertas especies colonizando tendidos eléctricos, paredes, postes y techos (González et al., 2009).

1.6.3 Bromelias como organismos Bioindicadores.

Las bromelias pueden absorber y acumular elementos en sus tejidos, debido a sus tallos y hojas que están cubiertos por tricomas (escamas) que absorben agua y nutrientes directamente de la atmósfera (Benzing, 1990).

Debido a sus características fisiológicas particulares, diferentes especies de bromelias, han sido utilizadas para el biomonitoreo de la contaminación del aire en varios países por ejemplo en Brasil, la especie *Tillandsia usneoides* demostró ser un bioindicador eficaz de la contaminación atmosférica principalmente por metales pesados (Segala-Alvez et al., 2008).

1.7 Briófitos, líquenes y bromelias como organismos acumuladores de metales pesados

El uso de briófitos, líquenes y bromelias epífitos como indicadores atmosféricos de metales pesados se desarrolló para ser un complemento de los métodos tradicionales físico-químicos ya existentes; el monitoreo de metales pesados permite realizar mediciones directamente en el ambiente y facilitan la cuantificación debido a las altas concentraciones que presentan en sus tejidos (Carreras & Pignata, 2001; Chakraborty et al., 2006).

Según Gómez et al. (2013) los briófitos, líquenes y bromelias se encuentran situados en las partes altas de los árboles poseen adaptaciones que son indispensables para su supervivencia, y se sabe que cuanto más intensa sea la adaptación, más rápida será la saturación, lo que provoca que los nutrientes de estos sean absorbidos por las hojas, en forma de precipitación o por la humedad atmosférica. Las sustancias contaminantes, al mismo tiempo que las sustancias nutritivas pueden ser absorbidas por los mismos.

Además, estos organismos captan altas concentraciones de zinc y plomo, son eficaces debido a que la corteza de los árboles son pobres en nutrientes, por lo que estos organismos no

dependen del sustrato. Asimismo, pueden ser trasplantadas desde áreas libres de contaminación hacia áreas sospechosas de haber sido dañadas por este factor, de esta forma es posible controlar muchas variables *in situ* y mejorar las evaluaciones (Gómez et al., 2013; LeBlanc & Rao, 1973; Nimis et al., 2002; Pérez, 1984; Rasmussen, 1977).

1.8 Tipos de metales pesados absorbidos por briófitos, líquenes y bromelias

Según Marrugo (2011) los metales pesados presentan características peculiares, los mismos pueden ser beneficios pero a la vez tóxicos en cantidades que exceden los niveles de concentración, a continuación se describe a algunos de ellos:

- Plomo (Pb): es un componente natural conocido desde la antigüedad, el mismo que ha sido estudiado ampliamente debido a sus efectos tóxicos (nocivo para las funciones renal y hepática, sistemas hematopoyéticos, nervioso central y periférico). La gran utilización de ese elemento en diferentes actividades para la industria se ha convertido en uno de los mayores contaminantes del aire.
- Mercurio (Hg): al igual que el plomo, el mercurio es un metal que aparece en forma natural en el ambiente, este es causado por fuentes emisoras o por el transporte y depositado en ecosistemas lejanos y a encontrarse grandes cantidades de Hg en el aire se clasifica como un elemento tóxico para la salud humana.
- Níquel (Ni): es un elemento metálico que se encuentra distribuido en la corteza terrestre, además es un compuesto muy utilizado en la industria como la preparación de aleaciones con cobre (Cu), hierro (Fe) y aluminio (Al), asimismo, sirve para la preparación de aceros especiales como para la fabricación de baterías de níquel (Ni) y cadmio (Cd). Debido al uso excesivo del mismo para la elaboración de dichos productos, ocasiona la contaminación ambiental por níquel provocando serios problemas en la salud humana y el ecosistema.

1.9 Tipos de muestreos para la detección de contaminación atmosférica usando briófitos, líquenes y bromelias

El uso de epífitos como bioindicadores han sido empleados principalmente en zonas urbanas, donde los muestreos se realizan en estaciones que posean distintos niveles de flujo vehicular (calles principales y avenidas), (Augusto et al., 2009; Guidotti et al., 2009; Shukla et al., 2009; Gómez, 2010; Blasco et al., 2011; Satya et al., 2012), además se han realizado estudios en zonas rurales (Blasco et al., 2011), zonas industriales (Satya et al., 2012) y zonas mineras para la determinación de la calidad del aire (Naeth & Wilkinson, 2008).

Existen una gran variedad de investigaciones en los cuales han efectuado diversos muestreos, los cuales son:

- Muestreos pasivos: en este tipo de metodología se colectan y analizan los epífitos en el lugar donde se encuentran (Satya et al., 2012). Además, según Guidotti (2009) menciona que en este tipo de muestreo se trasplanta los organismos de su ecosistema natural a las zonas donde se quiera realizar el estudio, y se los expone durante tres meses para luego ser evaluados y determinar las variaciones de concentración de metales pesados en el tiempo. Realizar este tipo de muestreo depende de la variable altura ya que la misma varía entre 1,0-3,5 metros del suelo a la cual son tomados los líquenes evitando la influencia de otras partículas y si las especies se encuentran situadas a poca altura del suelo se encontrarían desprotegidas y esto a la vez influye en la realización del estudio (Fernández et al., 2011; Blasco et al., 2011; Satya et al., 2012). Dentro de este muestreo, para la toma de las especies de briófitos y líquenes y su posterior remoción se utilizan materiales como nylon, nitrilo y bolsas de papel, para reducir la contaminación de las muestras por otros compuestos (Naeth & Wilkinson, 2008; Gómez, 2010).
- Muestreos activos: o también denominado método de trasplante, es un procedimiento estandarizado por lo que depende de factores que afecten a la respuesta de los bioindicadores, dichos factores pueden ser la radiación solar, la altura debido a que deben ser colocados entre dos y cinco metros con respecto al suelo y el área superficial debe ser lo mayor y más homogénea posible en todas las localidades a estudiar (Pignata et al., 2008). Según Gómez (2010) el número de muestras tomadas por localidad de muestreo deben ser al menos dos árboles para tener en cuenta la disposición intralocal de los metales. Sin embargo, Owczarek et al. (2001); Blasco et al. (2008) mencionan que muestrearon cuatro árboles diferentes, tomando tres muestras distintas lo que permitió tener un mayor conocimiento acerca de las especies que se

encuentran presentes y así poder determinar con mayor facilidad el índice de contaminación atmosférica.

1.10 Estudios realizados en el Ecuador relacionados con la contaminación del aire

El país cuenta con el Plan Nacional de Calidad del Aire (PNCA), el cual surgió para cumplir con la Constitución del Ecuador que establece el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado. El PNCA tiene como principal objetivo “alcanzar una gestión ambiental adecuada de la calidad del recurso aire para proteger la salud humana, los recursos naturales y el patrimonio cultural” (Ministerio del Ambiente 2010). En el país los estudios de contaminación atmosférica son realizados en las ciudades más grandes como: Quito, Guayaquil y Cuenca (Ministerio del Ambiente, 2010).

En la ciudad de Quito en el año 2008, se realizó un estudio de calidad de aire, llamado “Biomonitoreo de contaminantes, mediante el uso de briófitos como muestreadores biológicos para el aire en la ciudad de Quito”. Dicho estudio fue hecho por parte de la municipalidad del Distrito Metropolitano de Quito, con la ayuda de la Corporación (CORPAIRE), dando como resultado niveles de contaminación por metales pesados, con esta información adquirida se tomaron medidas de mitigación con el fin de mejorar la calidad del aire de la ciudad (Noriega, 2008).

Asimismo, en otras ciudades del país se ha realizado estudios de esta índole, dando como resultado que los bioindicadores son la mejor herramienta, para crear información sobre la calidad del aire, con el fin de tomar medidas para la mitigación de la contaminación.

También se llevó a cabo en la ciudad de Quito, teniendo como principal objetivo la caracterización de la contaminación atmosférica en parques recreacionales de la ciudad, mediante el uso de líquenes como bioindicadores (Segura, 2013). Por otro lado, también se han realizado trabajos similares en la ciudad de Loja, en donde los briófitos y líquenes son usados como bioindicadores de calidad de aire (Cango, 2015). De igual manera existe otro estudio sobre los cambios en la composición de líquenes, relacionados con la calidad del aire en la ciudad de Loja (Cango, 2015; Ochoa-Jiménez et al., 2015) donde explica que el uso de estas comunidades, han demostrado ser una opción rápida, eficiente y de bajo costo para la evaluación de la calidad del aire.

CAPITULO II

MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Área de estudio

La ciudad de Loja se encuentra ubicada en la región sur del Ecuador, con una extensión de 10.790 km², se encuentra geográficamente ubicada en 03° 39' 55" y 04° 30' 38" de latitud Sur, y 79° 05' 58" y 79° 05' 58" de longitud Oeste. Se encuentra situada sobre el Valle de Cuxibamba con una altitud que oscila entre 2060 y 2135 m.s.n.m., está provista por un clima sub-andino y tropical sub-andino, proporcionándole un clima templado con una temperatura que fluctúa entre el 16° y 21° C; y una lluvia anual de 900 mm (Secretaría Nacional de Riesgos, 2013).

En total son diecisiete zonas de muestreo ubicadas de la siguiente manera: 5 zonas en el norte, 5 zonas en el centro, 5 zonas en el sur y 2 zonas de control ubicadas en Zamora Huayco alto y el Madrigal respectivamente. Para la medición del índice de pureza atmosférica se tomó únicamente en una zona de control debido a que las cercanías de los puntos presentaban datos similares.

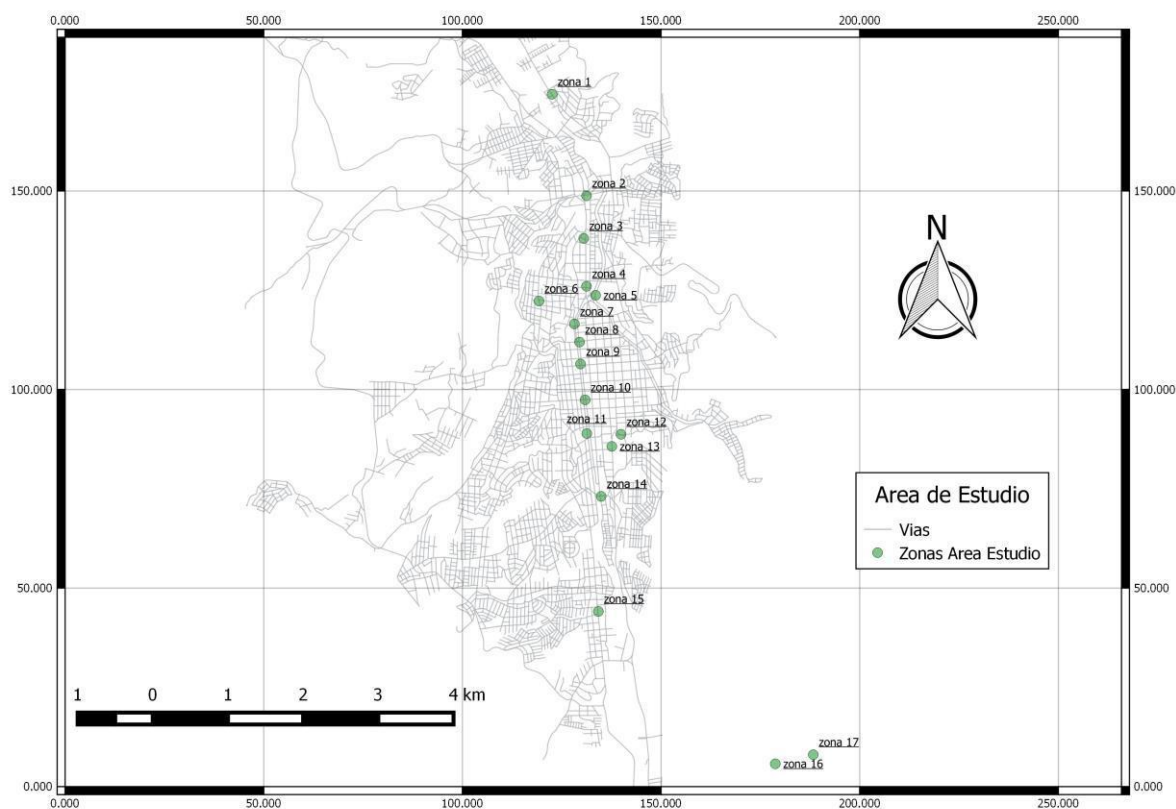


Figura 1. Mapa del área de estudio

2.2 IPA y mapa de isocontaminación

En cada una de las localidades se seleccionó entre 4-10 árboles. En cada árbol se realizaron los inventarios correspondientes a bromelias, líquenes y briófitos epífitos, donde se utilizó un cuadrante de 20x50 cm divididas en 10 cuadrículas de 10 x 10 cm para obtener datos de cobertura y frecuencia (Cango, 2014; Giordani, 2007).

2.3 Protocolo de laboratorio para el análisis de metales pesados

Para el análisis de laboratorio se escogieron 3 zonas (norte, centro y sur), en cada zona se seleccionaron 5 localidades, se recogieron 4 réplicas de cada una de las especies de: *Tillandsia usneoides* (Linnaeus, Carl von) (Bromeliaceae), *Parmotrema arnoldii* (Du Rietz) (Líquén) y *Frullania brasiliensis* (Raddi, Giuseppe) (Briófito).

Etapas del protocolo

1. Lavado y secado

Las muestras se lavaron con agua destilada, a una temperatura de 4°C. Una vez lavadas, las muestras fueron colocadas en una malla para secarse en un horno a 40°C durante 72 horas.

2. Trituración y digestión

Las mismas se molieron en masas de alrededor 0,5 g de materia seca. Estas fueron digeridas con 25 ml de agua regia la cual consiste en una relación de 3:1 de ácido clorhídrico (HCl) y de ácido nítrico (HNO₃) respectivamente, a calor suave y fueron reducidas a cenizas de 200-250°C durante 4 horas, hasta tornarse viscosas.

3. Segunda digestión

A las cenizas resultantes se vuelve a agregar 25 ml de agua regia repitiendo el paso anterior (4h).

4. Aforación

Pasado el tiempo de 4 horas, se dejó enfriar las muestras por 10 minutos, pasado este lapso de tiempo se filtraron con agua destilada y se aforaron en un balón de aforo de 100ml.

5. Medición de metales

Se ejecutó una curva de calibración, la misma consiste en elaborar estándares de cada uno de los metales para estabilizar la medición de los mismos (Gombert et al., 2002; Bermudez et al., 2009).

Se realizó la medición de metales pesados con ayuda del espectrofotómetro de Absorción Atómica, con el fin de determinar la concentración de plomo (Pb), cadmio (Cd), zinc (Zn) cobre (Cu) y manganeso (Mn).

2.4 Análisis de datos

Para realizar los análisis de datos se utilizó el índice de pureza atmosférica (IPA), la misma que se calcula a base de la siguiente fórmula:

$$IPA = \frac{\sum f}{N}$$

Dónde:

f= porcentaje de especies

N= número de árboles muestreados por cada localidad

El mismo que se refiere al número de especies, recubrimiento y frecuencia de líquenes epífitos en cada zona de estudio, llegando a determinar especies tolerantes o sensibles a la contaminación atmosférica (Lijteroff & Santoni, 2002; Cango, 2014).

Posteriormente, para la elaboración del mapa de isocontaminación se utilizó los valores del índice de pureza atmosférica (IPA) de trabajos previos realizados en la ciudad de Loja (Cango, 2014), además de los obtenidos en esta investigación con un total de 27 zonas muestreadas. El mapa se desarrolló con la ayuda de un sistema de información geográfica (QGis versión 2.14). Además, los rangos de IPA se encuentran comprendidos entre valores <50 y >301. Los valores más bajos corresponden a altos niveles de contaminantes, mientras que valores de IPA elevados reflejan una buena calidad del aire.

La concentración de metales en las diferentes zonas de la ciudad de Loja, se analizó mediante la prueba no paramétrica Kruskal Wallis (ANOVA), debido a que los datos no presentaron una distribución normal, en base a la prueba de normalidad Shapiro-Wilk. El nivel de significación elegido fue $p\text{-valor} < 0,05$ (Pérez & Watteijne, 2009; Rosato et al., 2009). Los análisis estadísticos se realizaron en el programa R versión 3.3.1.

CAPITULO III

RESULTADOS

3.1 Mapa de isocontaminación

Los valores de IPA más altos se registraron en Zamora Huayco alto (control), con 303,4 al igual que en el Parque infantil (sur) con 264,5; lo cual muestra que en estas zonas existe una buena calidad del aire o poseen contaminación muy baja y baja respectivamente (Figura 2), a diferencia, de las zonas céntricas de la ciudad tales como: Parque Bolívar, 10 de agosto y sector el León, presentan un rango de IPA menor a 50, lo que corresponde a una contaminación muy alta y por ende una mala calidad del aire. Así mismo, las zonas tales como: Terminal (norte), Zona militar (norte), San José (norte), Unión de los ríos(norte), Juan de Salinas (centro), Occidental (centro), Cabo minacho (sur) y Clínica San Pablo (sur) presentan rangos de IPA entre 51-100 lo que significa que existe una contaminación alta, y las zonas que presentan rangos entre 101-200 son: La paz (norte), coliseo ciudad de Loja (sur) y supermaxi (sur) poseen una contaminación media (Figura 2).

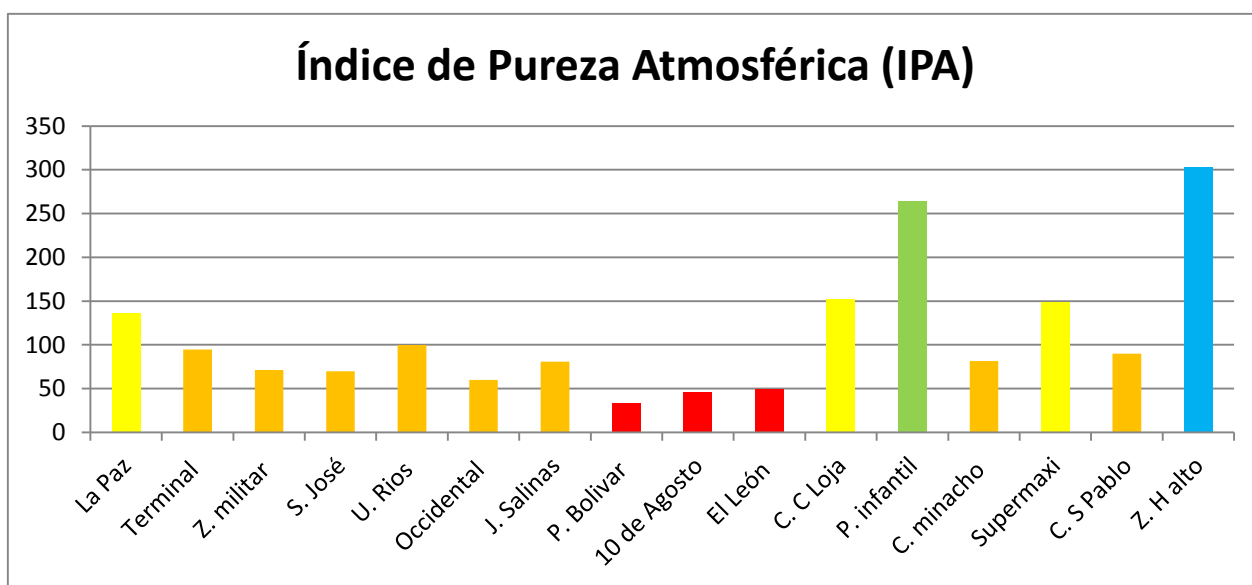


Figura 2. Índice de pureza atmosférica (IPA)

El mapa de isocontaminación indicó que los focos de contaminación de la ciudad de Loja, son las zonas céntricas tales como: avenida occidental (zona 12), calle Juan de salinas (zona 13), Parque Bolívar (zona 15), calle 10 de agosto (zona 16) y el sector el León (zona 18).

Cabe señalar que los valores de Índice de Pureza Atmosférica para el desarrollo del mapa de isocontaminación se agruparon en cinco categorías (Tabla 2).

Tabla 2. Intervalos del índice de pureza atmosférica

INTERVALO IPA	CLASIFICACIÓN
<50	Contaminación muy alta
51-100	Contaminación alta
101-200	Contaminación media
201-300	Contaminación baja
>301	Contaminación muy baja

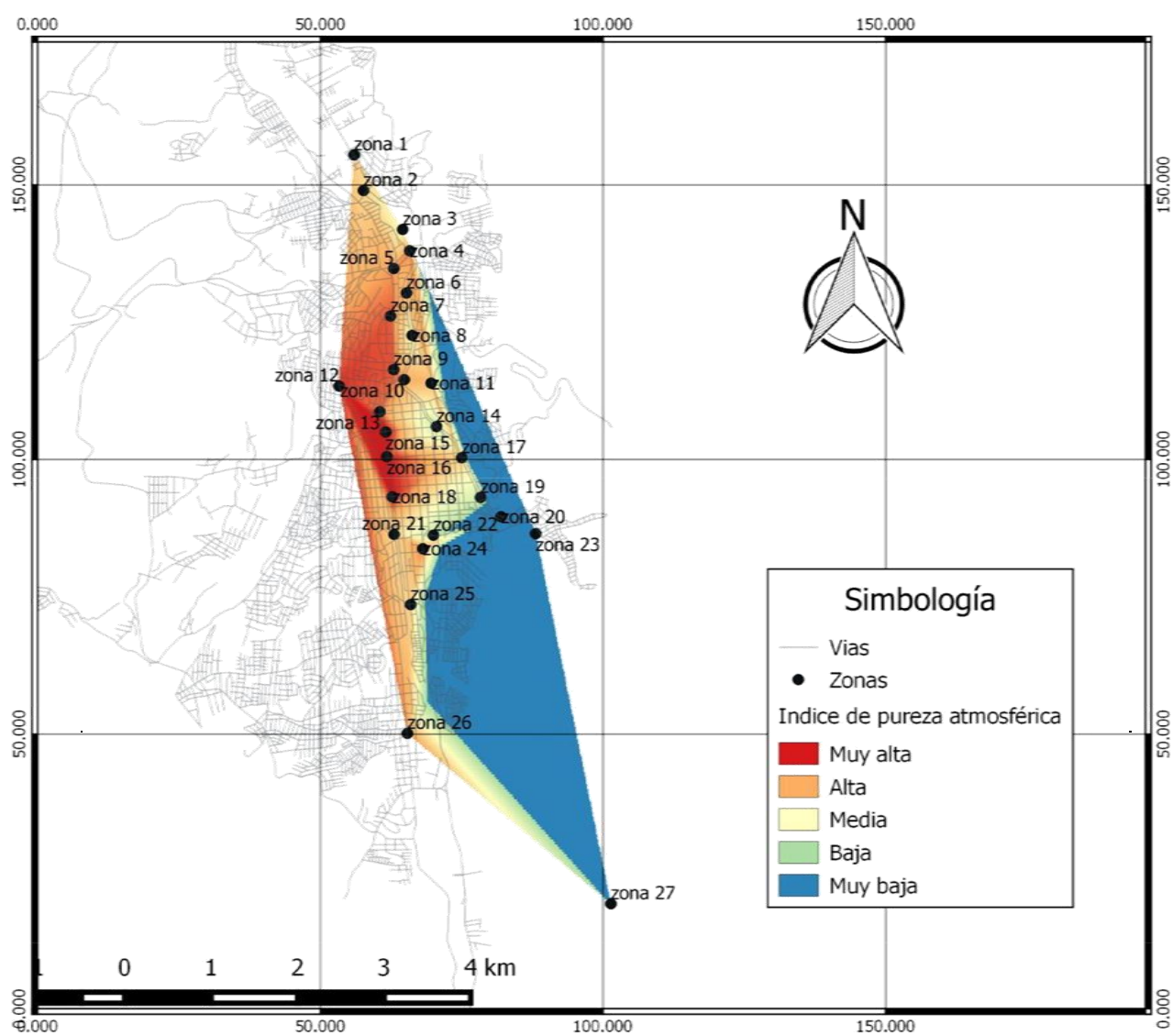


Figura 3. Mapa de isocontaminación

3.2 Análisis de concentración de metales pesados

3.2.1 *Parmotrema arnoldii*.

En los resultados obtenidos para *Parmotrema arnoldii* (Tabla 3), se encontró que las 4 zonas de muestreo presentan diferencias significativas en cada una de las concentraciones de plomo (Pb), cadmio (Cd), zinc (Zn) y cobre (Cu), a excepción del manganeso (Mn).

Tabla 3. Concentración de metales pesados en *Parmotrema arnoldii* en cada una de las zonas muestreadas, y Anova (p-valor)

Elemento	Control	Norte	Centro	Sur	ANOVA	
					(P-valor)	
Cadmio	0 (0)	32, 3889(11,1536)	39,5269 (8,1069)	35,2971 (21,8407)	0,0001	
Cobre	20,6510 (2,4797)	32,6715 (9,0952)	24,8534 (4,6645)	21,1680 (4,0388)	<0,0001	
Manganeso	70,6894(35,7007)	50,3811 (26,4699)	39,2089 (30,0343)	55,6290(17,6341)	0,198	
Plomo	4,9285 (0,8953)	41,4239 (20,0391)	26,6061 (10,6429)	41,0496(20,0391)	0, 0001	
Zinc	99,2126 (28,0906)	46,6683 (35,9275)	116,4371 (14,6621)	97,6286(34,2441)	<0,0001	

Se puede observar que existe una relación significativa con respecto a cobre donde el valor más representativo es de 32,6715 µg/g en la zona norte de la ciudad y la zona con menor acumulación de este metal es la zona de control con 20,6510 µg/g (Figura 5). Con lo que se refiere a zinc, la zona centro con 116,4371 µg/g presentó el valor más alto, mientras que el valor más bajo es de 46,6683 µg/g perteneciente a la zona norte (Figura 8). En el caso del plomo se presentó una relación significativa, en donde la zona norte obtuvo el valor más alto de concentración con 41,4239 µg/g y el más bajo en la zona de control con 4,9285 µg/g (Figura 7). En cadmio, refleja que existe mayor acumulación en la zona centro con 39,5269 µg/g, en comparación con la zona de control que no presenta niveles de contaminación por dicho metal (Figura 4). En cuanto al manganeso no se encontraron diferencias significativas entre zonas (figura 6).

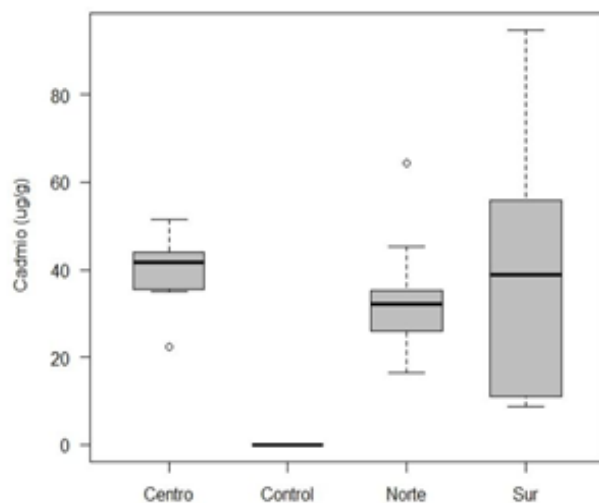


Figura 4. Concentración de Cd en *Parmotrema arnoldii* ($p=0,0001$)

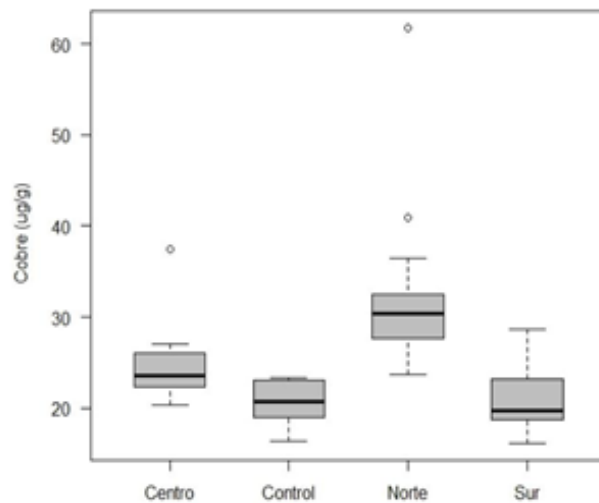


Figura 5. Concentración de Cu en *Parmotrema arnoldii* ($p<0,0001$)

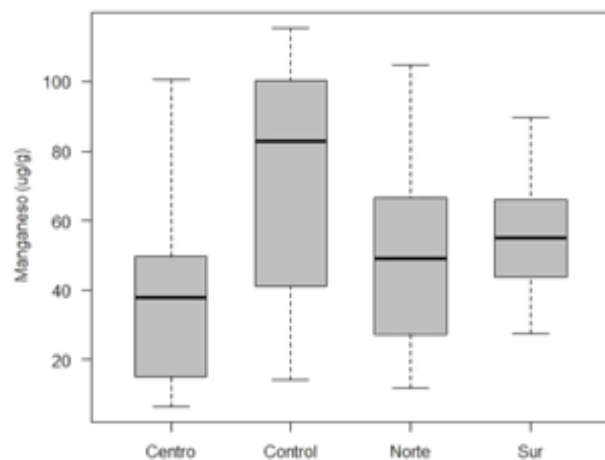


Figura 6. Concentración d Mn en *Parmotrema arnoldii* ($p=0,198$)

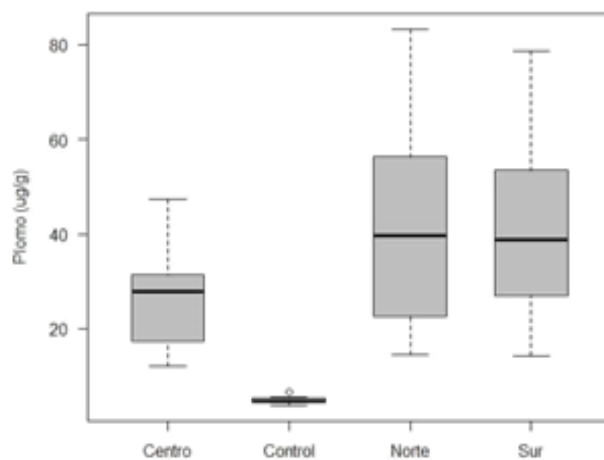


Figura 7. Concentración de Pb en *Parmotrema arnoldii* ($p=0,0001$)

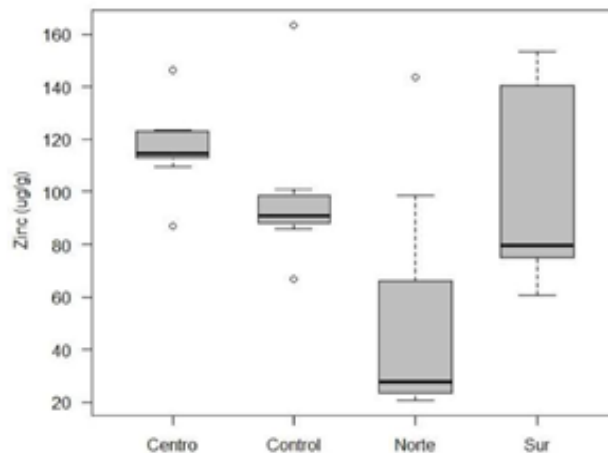


Figura 8. Concentración de Zn en *Pamotrema amoldii* ($p < 0,0001$)

3.2.2 *Tillandsia usneoides*.

De manera similar, para *Tillandsia usneoides* (Tabla 4), se determinó que en las 4 zonas de muestreo hay diferencias significativas en las concentraciones de plomo (Pb), cadmio (Cd), y zinc (Zn) a excepción del manganeso (Mn) y cobre (Cu).

Tabla 4. Concentración de metales pesados en *Tillandsia usneoides* cada una de las zonas muestreadas, y Anova (p-valor)

Elemento	Control	Norte	Centro	Sur	ANOVA (P-valor)
Cadmio	0 (0)	30,6100 (8,3446)	25,2878 (16,395)	50,9534 (5,0775)	0,0001
Cobre	20,7748 (4,5023)	30,1102 (5,9186)	27,1188 (14,266)	30,1756 (21,605)	0,2094
Manganeso	51,8015 (5,6367)	96,1233 (29,603)	53,8028 (34,873)	79,0585 (58,081)	0,3103
Plomo	19,3307 (5,7354)	35,3476 (21,198)	56,9689 (11,171)	33,1289 (12,990)	0,0001
Zinc	58,7485 (13,527)	30,1182 (8,4977)	89,5482 (24,092)	66,9736 (34,066)	<0,0001

El plomo presentó el valor más alto de concentración en la zona centro con 56,9689 µg/g, a diferencia de la zona de control con 19,3307 µg/g (figura 12). Siguiendo el mismo patrón, se determinó que el zinc presentó los valores más altos (89,5482 µg/g), en comparación con la zona norte con 30,1182 µg/g (figura 13). Así mismo el cadmio presento los valores más altos en

la zona sur con 50,9534 $\mu\text{g/g}$, en comparación con la zona de control que no presenta niveles de contaminación por dicho metal (figura 9). El cobre presentó el valor más alto en la zona sur con 30, 1756 $\mu\text{g/g}$ a diferencia de las otras zonas (figura 10). Los resultados reflejaron que en manganeso la zona más representativa es la zona norte con 96,1233 $\mu\text{g/g}$, mientras que en la zona de control existe menor concentración con 51,8015 $\mu\text{g/g}$ (figura 11).

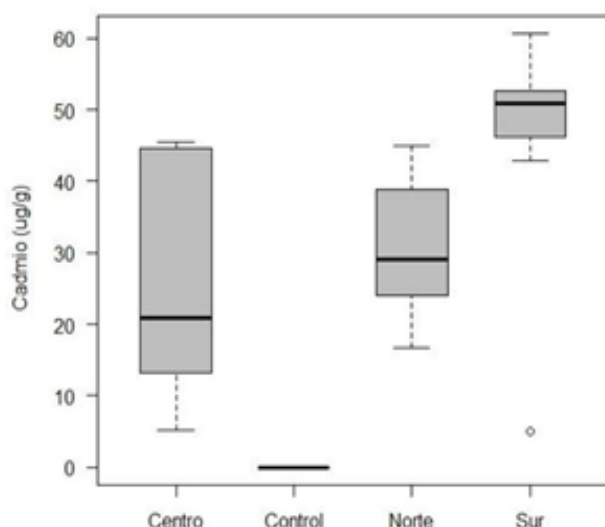


Figura 9. Concentración de Cd en *Tillandsia usneoides* ($p=0,0001$)

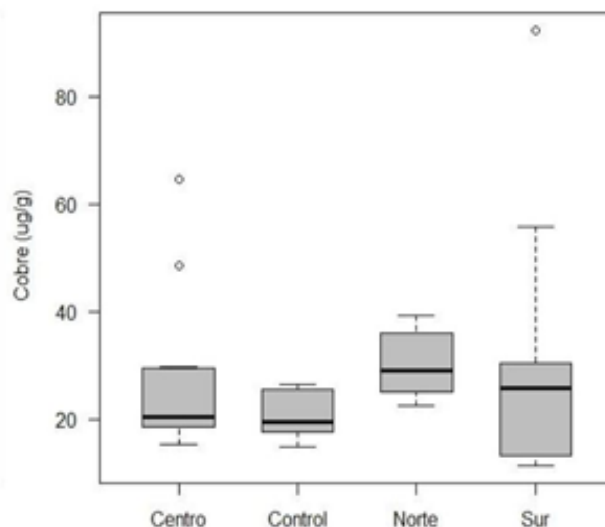


Figura 10. Concentración de Cu en *Tillandsia usneoides* ($p=0,2094$)

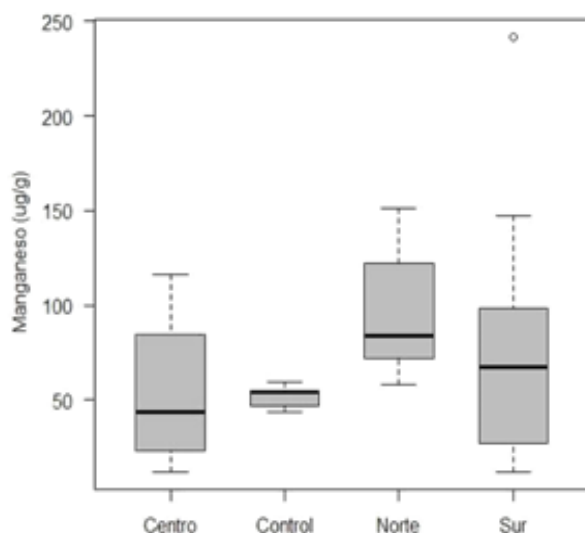


Figura 11. Concentración de Mn en *Tillandsia usneoides* ($p=0,3103$)

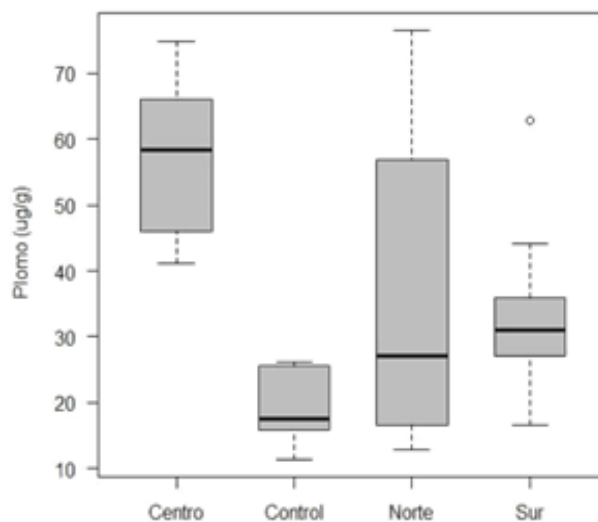


Figura 12. Concentración de Pb en *Tillandsia usneoides* ($p=0,0001$)

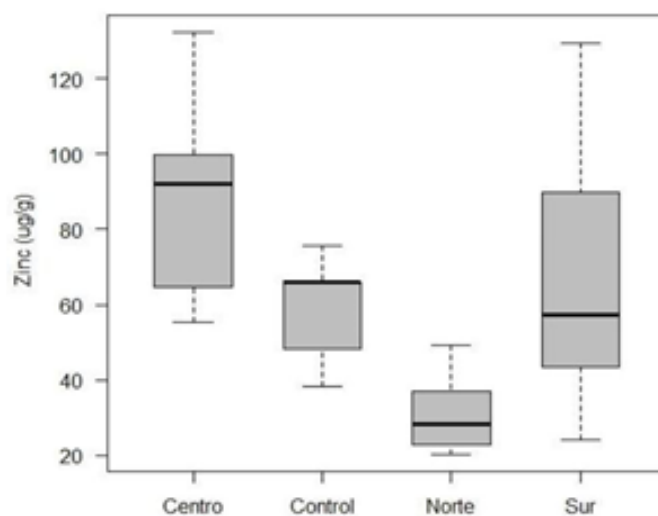


Figura 13. Concentración de Zn en *Tillandsia usneoides* ($p < 0,001$)

Cabe recalcar, que no se pudo realizar la medición de metales pesados en briófitos epífitos, debido a que el peso de cada muestra no entraba en los estándares que exigía el protocolo químico, ya que el peso debía estar en un rango de 0,2-0,5 gr.

CAPITULO IV

DISCUSIÓN

Los resultados de esta investigación relacionados con el mapa de isocontaminación y la concentración de metales pesados en epífitos, indicaron que los focos de contaminación y la mayor concentración de metales pesados (plomo, cadmio y zinc) se dieron en las zonas céntricas de la ciudad (Parque Bolívar, calle 10 de agosto, sector el León), ubicándolas en categorías de contaminación alta y contaminación muy alta, lo que puede estar directamente relacionado con un mayor tránsito vehicular circundante en esta zona, a diferencia, la zona control está incluida en la categoría de contaminación muy baja, debido a la menor concentración de metales pesados y valores altos del IPA. Siguiendo este patrón varios estudios han señalado una mayor concentración de metales pesados en epífitos en los centros urbanos de diferentes ciudades, y lo relacionan con el tráfico vehicular y actividades industriales (Conti & Cecchetti, 2001; Carreras & Pignata, 2002; Hawksworth et al., 2006).

Las zonas alejadas de la ciudad (Zamora Huayco, Parque infantil, La paz, Las Pitas) presentaron una mejor calidad del aire según el mapa de isocontaminación, debido a una mayor superficie de bosque y menos tráfico vehicular. De manera similar, existen estudios que documentan que la contaminación atmosférica, disminuye gradualmente hacia la periferia, debido a que áreas con mayor vegetación provocan un efecto protector de contaminantes atmosféricos, debido a que actúa como una barrera impidiendo así el paso de contaminantes emitidos por el parque automotor (Calvelo & Liberatore, 2004; Rubiano & Chaparro, 2006; Simijaca-Salcedo et al., 2014). Así mismo, siguiendo este mismo patrón otros estudios han documentado que la contaminación del aire es mayor en las zonas en donde hay más ocurrencia antropocéntrica (Anze, 2002; Kromer et al., 2014; Käffer et al., 2011; Lijteroff et al., 2009).

Según Díaz et al. (2013), dice que la diversidad y la riqueza de especies de líquenes relacionados con el índice de pureza atmosférica disminuye en las áreas que rodean la fuente de contaminación, similar a la zona céntrica de la ciudad de Loja, donde existe menor cobertura vegetal y mayor ingreso de circulación vehicular (Nagua & Montalvo, 2004). Varios estudios afirman que los lugares céntricos tienen menor riqueza de especies, resultado de la contaminación por fuentes móviles (Kaffer et al., 2011; Rubiano, 2002). De igual manera los resultados en este estudio concuerdan con lo antes mencionado, ya que en la urbe existen especies epífitas como: *Tillandsia usenoides*, *Candelaria concolor* y *Phyiscia crispa*, lo que refleja que son organismos resistentes a la contaminación atmosférica, a diferencia de la periferia de la urbe donde habitan especies sensibles a la contaminación tales como:

Teloschistes chrysophthalmus, *Leptogium millegranum*, *Pseudocyphellaria aurata*, *Sticta fuliginosa*.

Los resultados mostraron que en la ciudad de Loja, existen un alto grado de contaminación por metales pesados, especialmente por altas concentraciones de plomo, cadmio y zinc. En cuanto a las dos especies estudiadas (*Parmotrema arnoldii* y *Tillandsia usneoides*), los resultados relacionados con plomo, cadmio y zinc, siguen el mismo patrón, debido a sus valores altos en las zonas céntricas de la ciudad (Parque Bolívar, calle 10 de agosto, sector el León), donde existe un mayor tráfico vehicular en comparación con la zona control (Zamora Huayco alto). Bajo esta premisa Guimarañes et al. (2000), señala que la acumulación de plomo en la zona urbana es debido a actividades como la incineración de materiales de residuos, incremento de actividades humanas, así como también el aumento del tráfico vehicular. Adicionalmente, se han detectado otras fuentes de este contaminante resultantes de fuentes industriales, mal manejo de desechos, residuos de gasolina (Czarnowska & Milewska, 2000; Martinez, 2006; Noriega et al., 2008), combustión de aceites, carbones, vertederos y sitios de desechos peligrosos (Figueiredo et al., 2003; Lijteroff et al., 2009; Neurohr, 2010; Repetto, 1995). Campos et al. (2008), indica que el uso de baterías, se traduce en un aumento del consumo total de dichos elementos y por ende mayor contaminación atmosférica, además son la fuente que producen mayor liberación de cadmio a la atmósfera. Filho et al. (2002), manifiesta que el cadmio es un contaminante de procedencia industrial como en el caso de industrias de baterías, así como también en cables eléctricos y soldaduras, al igual que plomo y zinc. En el caso de zinc, este es generado principalmente por actividades industriales como la combustión del carbón, residuos y procesados del acero (Figueiredo et al., 2006; Monge et al., 2002). Adicional a esto, este metal está relacionado con el empleo y desgaste de cauchos y frenos de vehículos (Quadros et al., 2009).

De acuerdo con Alcalá et al. (2009); Mendez & Monge (2011) el cobre es originado en fundiciones, por la combustión de los automóviles, en la elaboración de aceites lubricantes, así como también en la utilización de productos químicos. Según Garty (2001), indican que este metal tiende a dispersarse en partículas pequeñas, desde zonas con alta actividad antropocéntrica (centro de la ciudad), hacia zonas con actividad de tráfico muy baja (zona control).

En lo que se refiere a manganeso en líquenes y bromelias, no existe un patrón definido entre las diferentes zonas estudiadas. Esta diferencia puede atribuirse a que este elemento es un importante micronutriente para organismos presentes en el ambiente (García & Rubiano, 1984), la deficiencia de este puede representar una limitante para el desarrollo de los epífitos, sin embargo, concentraciones altas de este elemento pueden dañar y eventualmente producir la muerte de estas especies (Lijteroff, et al., 2009; Nowak, 2006).

Tanto para *Parmotrema arnoldii* como para *Tillandsia usneoides*, la concentración de metales pesados fue mayor en los sitios del centro de la ciudad, todo lo referido anteriormente señala que la fuente más probable de aporte de estos metales pesados en el aire, es principalmente por el aumento del parque automotor, crecimiento demográfico y en pequeñas cantidades por el uso desmedido de pesticidas y fertilizantes, en comparación con zonas alejadas. En relación a estos hallazgos encontrados en la ciudad de Loja, varios estudios han demostrado que la cuantificación de la concentración de metales pesados en ambientes urbanos son una herramienta prometedora para la elaboración de planes de monitoreo de la calidad del aire a largo plazo, debido a la eficacia de estos organismos (Álvarez et al., 2011; Caballero-Rueda et al., 1997; González et al., 2006; Ghita et al., 2015; Machado et al., 2008).

CONCLUSIONES

- El mapa de isocontaminación, indicó que la calidad del aire en la ciudad de Loja, es mucho mejor en zonas norte (La Paz, Terminal, zona militar) y sur (Zamora Huayco alto, supermaxi, Parque infantil), que en la zonas céntricas (Parque Bolívar, 10 de agosto, el León), esto se debe a la incidencia antrópica como al aumento del parque automotor.
- La concentración de metales pesados en *Parmotrema arnoldii* y *Tillandsia usneoides*, en la ciudad ha sido asociada al tráfico vehicular y al crecimiento demográfico, debido a que la dinámica urbana está incidiendo en la generación y disponibilidad de los mismos, ya que las concentraciones de estos metales en epífitos encontrados en las afueras de la ciudad fueron menores, en comparación con las demás zonas.
- Los resultados obtenidos, apuntan a las zonas centro como principal foco de contaminación, debido a la presencia de plomo, cadmio y zinc es mayor proporción, resultado de la ubicación de la misma, el grado de intervención humana y tránsito vehicular que existe en la zona.
- El uso de epífitos como bioindicadores y bioacumuladores proporcionan información novedosa y útil sobre los contaminantes atmosféricos tales como: Cadmio, Cobre, Manganeseo, Plomo y Zinc, en sitios urbanos y suburbanos de la ciudad de Loja, lo que demuestra que son una herramienta confiable para establecer un plan de monitoreo a largo plazo.

RECOMENDACIONES

- El Ministerio del Ambiente debe dar una gran importancia a las zonas de parques y colocar estaciones de monitoreo de la calidad del aire para controlar niveles de contaminación.
- Asegurarse que los equipos de medición de metales pesados estén en óptimas condiciones para certificar la veracidad de los resultados.
- Que se capacite a la población sobre el impacto ambiental que ocasionan los gases contaminantes producidos por los vehículos motorizados en la urbe.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABBAYES, H., CHADEFAUD, J., FELDMANN, Y., FERRÉ, H., GAUSSEN, P., GRASSÉ & PRÉVOT, A. (1989). Botánica: Vegetales Inferiores. Reverté. P. 617-637.
- AHUMADA, J. (2003). R para principiantes. Institut des Sciences de l'E'volution. Universit Montpellier II. Francia.
- ALCALÁ, J., SOSA, M., MORENO, M., RODRÍGUEZ, J., LOREDO, C., LARA, J. L & TAPIA, J. (2009). Concentraciones de Fe, Mn y Mg en material foliar de cinco especies arbóreas indicadoras de la contaminación urbana en la ciudad de Chihuahua, México. *Multequina*, 18(1), 37-51. Recuperado el 13 de septiembre de 2016, de http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1852-73292009000100004&lng=es&tlng=es.
- ALVARADO, J & HERNÁNDEZ, G. (2008). *Efectos del monóxido de carbón en la salud de los comerciantes de la ciudad del Loja*, (tesis de pregrado). Universidad Técnica Particular de Loja. Loja-Ecuador.
- ALVAREZ, E., MONTERO, A., LOPEZ, D., PUPO I., HERNANDEZ, D., PEREZ, O., IGLESIAS, H & BERT, W. (2011). Biomonitorio de la contaminación atmosférica en La Habana durante la campaña 2004-2005. *Nucleus* 50.
- ANZE, R. (2002). Evaluación de la calidad del aire en el Valle de La Paz. Centro de Postgrado – Instituto de Ecología, La Paz-Bolivia.
- AUGUSTO, S., MÁGUAS, C., MATOS, J., PEREIRA, M., BRANQUINHO, C. (2009). Lichens as an integrating tool for monitoring PAH atmospheric deposition: A comparison with soil, air and pine needles. *Environmental Pollution*, 158 (2): 483-489.
- ARDILES, V., CUVERTINO, J. & OSORIO, F. (2008). "Guía de campo Briófitas de los Bosques Templados Australes de Chile. Una introducción al mundo de los Musgos, Hépaticas y Antocerotes que habitan los Bosques de Chile".

- BARRENO, E & PEREZ, S. (2003). *Líquenes de la Reserva Natural Integral de Muniellos, Asturias*. Oviedo: KRK Ediciones.
- BARRENO, E & RICO, V. (s.f). Sobre la biología de los líquenes: anatomía, morfología y estructuras vegetativas. Departamento de Botánica. Facultad de Farmacia. Universidad Complutense. Madrid.
- BLASCO, M. (2008). Evaluación analítica de líquenes como biomonitores de la contaminación atmosférica en ecosistemas naturales a través de la determinación de PAHs. Tesis de doctorado, Departamento de Química Analítica, Centro Politécnico Superior, Universidad de Zaragoza, Zaragoza, España.
- BLASCO, M., DOMEÑO, C., LÓPEZ, P & NERÍN, C. (2011). Behaviour of different lichen species as biomonitors of air pollution by PAHs in natural ecosystems. *Journal of Environmental Monitoring*, 13: 2588-2596.
- BOQUÉ, R & MOROTO, A. (s.f). El análisis de la varianza (ANOVA): Comparación de múltiples poblaciones. Universitat Rovira i Virgili. Pl. Imperial Tàrraco, 1. 43005-Tarragona.
- CANSECO, A., ANZE, R & FRANKEN, M. (2006). Comunidades de líquenes: indicadores de la calidad del aire en la ciudad de La Paz, Bolivia. *Acta Nova* 3: 286-307.
- CAMPOS, A., GÓMEZ, R., LICON, L., CARRILLO, J., RAMÍREZ, E & HERRERA, E. (2008). Monitoreo de contaminantes atmosféricos en la ciudad de Chihuahua (Norte de México) como una herramienta para la gestión de la calidad del aire. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 4 (3): 357-366.
- CZARNOWSKA, K. & MILEWSKA, A. (2000). The Content of Heavy Metals in an Indicator Plant (*Taraxacum Officinale*). *Warsaw Polish Journal of Environmental Studies* 9 (2): 125-128.
- CAPÓ, M. (2007). *Principios de Ecotoxicología*. Madrid: Editorial Tebar.

- CÁRDENAS, E. (2004). Contaminación atmosférica y medios de transporte en la ciudad de Toluca. México: Universidad Autónoma del Estado de México.
- CALVELO, S & LIBERATORE, S. (2004). Applicability of In Situ or Transplanted Lichens for Assessment of Atmospheric Pollution in Patagonia, Argentina. *Journal of Atmospheric Chemistry* 49: 199–210.
- CANGO, G. (2014). *Briófitos y líquenes epífitos como organismos bioindicadores de la calidad del aire de la ciudad de Loja*, (tesis de pregrado). Universidad Técnica Particular de Loja. Loja-Ecuador.
- CARRERAS, H & PIGNATA, M. (2002). Biomonitoring of heavy metals and air quality in Cordoba City, Argentina, using transplanted lichens. *Environmental Pollution* 117: 77–87.
- CABALLERO-RUEDA, L., RODRIGUEZ, N & MARTIN, C. (1997). Dinámica de elementos en epífitos de un bosque altoandino de la cordillera oriental de Colombia. *Caldasia* 19 (1-2); 311-322.
- CEVALLOS, G. (2012). *Checklist de líquenes y hongos liquenícolas de Ecuador continental*. Master oficial en técnicas de caracterización y conservación de la diversidad biológica (trabajo fin de Máster). Universidad Rey Juan Carlos.
- COUTIÑO, B & MONTAÑEZ, A. (2000). Los líquenes. Caracterización de la contaminación atmosférica en seis parques recreacionales del distrito metropolitano de quito mediante el uso de bioindicadores.
- CONTI, M. & CECCHETTI, G. (2001). Biological monitoring: lichens as bioindicators of air pollution assesment – a review. *Environmental Pollution* 114: 471–492.
- CUBAS, NUÑEZ, CRESPO, & DIVAKAR. (2010). Líquenes: que son y su uso como bioindicadores. *GEMM*.

- CHAPARRO, M & AGUIRRE, J. (2002). Hongos liquenizados. Departamento de Biología, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D.C. p. 220.
- CRANDALL-STOTLER, B. (2009). Morphology and classification of the Marchantiophyta. In: GOFFINET, B. & SHAW, A.J. Eds. Bryophyte biology, 2nd edition, págs. 1-54. Cambridge University Press, Cambridge.
- DARRÉ, E. (2011). Líquenes como bioindicadores de contaminación atmosférica en Montevideo- Uruguay (trabajo de fin de Máster). Universidad de la República Uruguay.
- DÍAZ, D., SOTO, E., LÜCKING., U, SILVERSTONE, P. (2013). Corticolous lichens as environmental indicators of natural sulphur emissions near the sulphur mine El Vinagre (Cauca, Colombia). The Lichenologist 48(2): 147 – 159.
- DUCKETT, J & LIGRONE, R. (1995). The formation of catenate foliar gemmae and the origin of the oil bodies in the liverwort *Odontoschisma denudatum* (Mart.) Dum. (Jungermanniales): a light and electron microscope study. Annals of Botany, (76), p. 406–419.
- FEUERER, T. & HAWKSWORTH, D. (2007). Biodiversity of lichens, including a world-wide analysis of checklist data based on Takhtajan's Floristic regions. Biodiversity and Conservation 16: 85-98.
- FERNÁNDEZ, R., GALARRAGA, F., BENZO, Z., MÁRQUEZ, G., FERNÁNDEZ, A., RÉQUIZ, M & HERNÁNDEZ, J. (2011). Lichens as biomonitors for the determination of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in Caracas Valley, Venezuela. Intern J Environ Anal Chem, 91 (3): 230-240.
- FILHO, G., ANDRADE, L., FARINA, M., MALM, O. (2002). Hg localisation in *Tillandsia usneoides* L. (Bromeliaceae), an atmospheric biomonitor. Atmos. Environ. 36, 881 e 887.
- FIGUEIREDO, A., ALCALÁ, A., TICIANELLI, R., DOMINGOS, M., SAIKI, M. (2003). The use of *Tillandsia usneoides* L. as bioindicator of air pollution in São Paulo, Brazil. Instituto de

Pesquisas Energéticas e Nucleares. IPEN-CNEN/SP. Caixa Postal 11049. CEP: 05422-970. São Paulo, Brasil.

- FIGUEIREDO, A., NORIEGA, C., SAIKI, M., MILIAN, F., DOMINGOS, M. (2006). Assessment of atmospheric metallic pollution in the metropolitan region of São Paulo, Brazil, employing *Tillandsia usneoides* L. as biomonitor. *Environmental Pollution* :145.
- FRANCO, J. (2012). Contaminación atmosférica en centros urbanos. Desafío para lograr su sostenibilidad: caso de estudio Bogotá. *Revista EAN*. Recuperado de: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S012081602012000100013&lng=pt&nrm=iso
- GARCIA, J. (2004). *Mapa de estrés atmosférico de créditos (Bogotá) a partir de diversidad líquénica*. Universidad del Bosque. Bogotá.
- GARCÍA, L. & RUBIANO, O. (1984). Comunidades de líquenes como indicadores de niveles de calidad del aire en Colombia. *Contaminación Ambiental* 8: 73-90.
- GARTY, J. (2001). Biomonitoring atmospheric heavy metals with lichens. Theory and application. *Crit. Rev. Plant Sci.* 20 (4): 309-371.
- GEO LOJA. (2006). *Perspectivas del Medio Ambiente Urbano*. Naturaleza y Cultura Internacional/I. Municipio de Loja/PNUMA.
- GIORDANI, P. (2007). Is the diversity of epiphytic lichens a reliable indicator of air pollution a case study from Italy. *Environmental Pollution* 146: 317-323.
- GONZÁLEZ, V. (11 de abril del 2013). Reproducción y ecología de los líquenes (mensaje en un blog). Recuperado de <http://biologia.laguia2000.com/microbiologia/protistas/reproduccion-y-ecologia-de-los-liquenes#ixzz3udhh26wC>
- GONZÁLEZ, A; MÁRQUEZ, A; PIMENTEL, L; PRADO, R & TORREALBA R. (2009). Estudio de bromelias epífitas asociadas a *bactris* sp (Palmáceas) presentes en el sector del

río claro de la zona este de cerro negro, adyacente al Parque Nacional Terepaima del Estado Lara. Universidad Pedagógica Experimental Libertador Instituto Pedagógico de Barquisimeto. Departamento de Ciencias Naturales. Barquisimeto.

- GONZÁLEZ, D., LOPEZ, M & PAZ, G. (2006). Determinación de la contaminación atmosférica en la ciudad de Pontevedra mediante bioindicadores líquénicos. *Biología* 15: 37-46.
- GOVINDAPYARI, M., LELEEKA, M & UNİYAL, L. (2010). Bryophytes: indicators and monitoring agents of pollution. *NeBIO* 1: 35-41.
- GÓMEZ, H. (2010). Evaluación de la contaminación atmosférica por hidrocarburos aromáticos policíclicos, empleando el liquen *Parmotrema sancti-angelii* y aplicando un muestreo de tipo activo en la ciudad de Caracas. Tesis de licenciatura no publicada, Departamento de Geoquímica, Escuela de Química, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela.
- GÓMEZ, H., FERNÁNDEZ, R., BENZO, Z., GALARRAGA, F., HERNÁNDEZ, J & ROSCHMAN-GONZÁLEZ, A. (2013). Líquenes como biomonitores de la contaminación atmosférica por hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) (review). *Revista de la facultad de ingeniería U.C.V.*, 28 (1), 45-58.
- GOMBERT, S., ASTA, J. & SEAWARD, M. (2002). Correlation between the nitrogen concentration of two epiphytic lichens and the traffic density in an urban area. *Environmental Pollution* 123: 281-290.
- GUIDOTTI, M., STELLA, D., DOMINICI, C., BLASI, G., OWCZAREK, M., VITALI, M & PROTANO, C. (2009). Monitoring of Traffic-Related Pollution in a Province of Central Italy with Transplanted Lichen *Pseudovernia furfuracea*. *Bull Environ Contam Toxicol*, 83: 852-858.

- GHITA, R., PRADEEP, K., CRESPO, A & HIKMAT, T. (2015). Biomonitoring of air pollutants by using lichens (*Evernia prunastri*) in areas between Kenitra and Mohammedia cities in Morocco. *Lazaroa* 36: 21-30.
- GLIME, J. (2007). Economic and ethnic uses of bryophytes. (27). In: FLORA OF NORTH AMERICA EDITORIAL COMMITTEE, Eds. 1993. Flora of North America North of Mexico. p. 14-41. Flora of North America Association. Nueva York.
- GUIMARAÑES, E., DOMINGOS, M., ALVES, E., CALDINI, N., LOBO, D., LICHTENFELS, A., SALDIVA, P. (2000). Detection of the genotoxicity of air pollutants in and around the city of Sao Paulo (Brazil) with the Tradescantia-micronucleus (Trad-MCN) assay. *Environ. Exp. Bot.* 44.
- HAKRABORTY, S & TRYAMBAKRO, G. (2006). Biomonitoring of trace element air pollution using mosses. *Aerosol and Air Quality Research*. (6), p. 247-258.
- HÄSSEL DE MENÉNDEZ, G. & RUBIES, M. (2004). Catalogue of Marchantiophyta and Anthocerotophyta of Chile, Argentina and Uruguay.
- HAWKSWORTH, D. L., ITURRIAGA, T. & CRESPO, A. (2006). Líquenes como bioindicadores inmediatos de contaminación y cambios medio-ambientales en los trópicos. *Revista Iberoamericana de Micología* 22: 71-82.
- KÄFFER, M., MARTINS, S., ALVES, C., PEREIRA, V., FACHEL, J. & VARGAS V. (2011). Corticolous lichens as environmental indicators in urban areas in southern Brazil. *Ecological Indicators* 11: 1319- 1332.
- KLUMPP, A., ANSEL, W & KLUMPP, G. (2004). EuroBionet, European Network for the Assessment of air quality by the use of bioindicator plant. Reporte final. Universidad de Hohenheim, Stuttgart, Alemania. 168pp.

- KRICKE, R & LOPPI, S. (2002). Bioindication: the IAP approach. En: *Lijteroff R., Lima L. y Prieri B.*, 2009. Uso de líquenes como bioindicadores de contaminación atmosférica en la ciudad de San Luis, Argentina. *Revista Internacional de Contaminación ambiental*.
- KROMER, J., GARCIA, F & TOLEDO, T. (2014). Epifitas vasculares como bioindicadoras de calidad forestal: impacto antrópico sobre su diversidad y composición.
- 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: 111-120.
- LEÓN-YÁNEZ, S. & GRADSTEIN, R. (2006). Avances en el conocimiento de las briófitas ecuatorianas. *Nuestra ciencia*. 1(8), p. 41.
- LEBLANC, F., COMEAU, G & RAO, D. (1971). Fluoride injury symptoms in epiphytic lichens and mosses. *Canadian Journal Botanical*. (49), p. 1691–1698.
- LÜCKING, R., RIVAS, E., CHAVES, J.L., UMAÑA, L. & SIPMAN, H. (2009). How many tropical lichens are there... really? *Bibliotheca Lichenologica* 100: 399-418.
- LUTHER, H. (2006). An alphabetical list of bromeliad binomials. *Bromeliad Society Internacional*. 9 ed. Sarasota. Estados Unidos. (119), p.
- MACHADO, A., GARCIA, N., GARCIA, C., ACOSTA, L., CORDOVA, A., LINARES, M., GIRALDO, D & VELASQUEZ, H. (2008). Contaminación por metales (Pb, Zn, Ni y Cr) en aire, sedimentos viales y suelo en una zona de alto tráfico vehicular. *Rev. Int. Contam. Ambient* 24 (4); 171-182.
- MARTÍNEZ, M. (2006). Evolución del contenido en partículas totales en suspensión y en los metales, plomo, cinc, cadmio, cobre, hierro y manganeso, en el aerosol atmosférico de Cartagena, durante el periodo 1995-2000. Departamento de química, ambiental, departamento de matemática aplicada y estadística. Cartagena, Colombia.

- MARTINEZ, E. & DÍAZ, Y. (2004). Contaminación Atmosférica. Ediciones de la Universidad de Castilla-La Mancha. Recuperado de: <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=sLE8xbtcK-gC&oi=fnd&pg=PA9&dq=contaminacion+atmosferica+en+el+ecuador+&ots=DNPwIJy7oo&sig=6fng0f51HaFne8CvpOOURstTlb4#v=onepage&q=contaminacion%20atmosferica%20en%20el%20ecuador&f=false>
- MARRUGO, J. (2011). *Evaluación de la contaminación por metales pesados en la Ciénaga la Soledad y Bahía de Cispatá, cuenca del bajo Sinú* (Tesis posgrado). Universidad de Córdoba.
- MÉNDEZ, V & MONGE, J. (2011). El uso de líquenes como biomonitores para evaluar el estado de la contaminación atmosférica a nivel mundial. *Biocenosis*. (25), p. 51-67.
- MEYER, C., GILBERT, D., GAUDRY, A., FRANCHI, M., NGUYEN-VIET, H., FABURE, J & BERNARD, N., (2010). Relationship of atmospheric pollution characterized by gas (NO₂) and particles (PM₁₀) to microbial communities living in bryophytes at three differently polluted sites (rural, urban, and industrial). *Microb. Ecol.* 59: 324-334.
- MINISTERIO DEL AMBIENTE. (2010). Plan Nacional de Calidad del Aire. República del Ecuador. Quito. p. 74.
- MOCANU, R. & STEINNES, E. (2002). Air pollution monitoring in Romania, in I. Barnes (ed.), *Global Atmospheric Change and its Impact on Regional Air Quality*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. p. 43–48.
- MONGE, J., GONZÁLEZ, M., RIVAS, M & MÉNDEZ, V. (2002). Twenty years of lichen cover change in a tropical habit (Costa Rica) and its relation with air pollution. *Revista de Biología Tropical* 50: 309-319.
- MORALES, P & VALLADAREZ, A. (2012). *Contaminantes atmosféricos producidas por centrales térmicas en el Ecuador*. (tesis de pregrado). Universidad de Cuenca: Facultad de Ingeniería escuela de ingeniería eléctrica. Cuenca.

- NAGUA, M & MONTALVO, J. (2004). Identificación y Evaluación de impactos ambientales generados por fuentes móviles, que afectan la calidad del aire, en la zona urbana consolidada de la ciudad de Loja., Tesis de ingeniero en Medio Ambiente. Loja: Universidad Nacional de Loja.
- NASH III, T. (2001). Lichen Biology. Department of Botany, Arizona State University Cambridge: Cambridge University Press.
- NAETH, M & WILKINSON, S. (2008). Lichens as Biomonitors of Air Quality around a Diamond Mine, Northwest Territories, Canada – Technical Reports: Atmospheric Pollutants And Trace Gases. J Environ Qual, 37: 1675– 1684.
- NEUROHR, E. (2010). Líquenes como bioindicadores de la contaminación atmosférica en la zona urbana de San José. Tesis para optar por el grado de Magister Scientiae en Manejo de Recursos Naturales. San José, Costa Rica, Universidad Estatal a Distancia.
- NIMIS, P., SSHEIDEGGER, C & WOLSELEY, P. (2002). Monitoring lichens as indicators of pollution. Dipartimento di Biologia, Università di Trieste. Lon
- NIMIS, P., FUMAGALLI, F., BIZZOTTO, A., CODOGNO, M & SKERT, N. (2002). Bryophytes as indicators of trace metals pollution in the River Brenta (NE Italy). Science of the total environment, 286, 233-242. doi:10.1016/S0048-9697(01)009792
- NORIEGA, P., MEDICI, A., MURILLO, A., BEDÓN, J., HARO, F & GALECIO, G. (2008). Estudio de la concentración de cadmio y plomo en el aire de la ciudad de Quit, empleando briófitas como biomonitores. La Granja 8(2): 17-24.
- NOWAK, D. (2006). Institutionalizing urban forestry as "biotechnology" to improve environmental quality. Urban Forestry & Urban Greening 5: 93-100.

- NORIEGA, P. (2008). Biomonitorio de contaminantes, mediante el uso de briofitas como muestreadores biológicos, para el aire de la ciudad de Quito. Abya-Yala ,Quito-Ecuador. Doi: 978-9978-10-041-7.
- OCHOA-JIMÉNEZ, D., CUEVA, A., PRIETO, M., ARAGÓN, G & BENITEZ, A. (2015). Cambios en la composición de líquenes epífitos relacionados con la calidad del aire en la ciudad de Loja (Ecuador). *Caldasia*, 37 (2), 1-10. doi:10.15446/caldasia.v37n2.53867
- OWCZAREK, M., GUIDOTTI, M., BLASI, G., DE SIMONE, C., DE MARCO, A & SPADONI, M. (2001). Traffic pollution monitoring using lichens as bioaccumulators of heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons. *Fresenius Environmental Bulletin*, 10: 42-45.
- PIGNATA, M., GOZÁLEZ, C., CARRERAS, H & WANNAN, E. (2008). Guía para el muestreo de líquenes y plantas epífitas que se emplean como biomonitores de acumulación de metales pesados y elementos traza en Latinoamérica. Proyecto ARCAL RLA 2013 04 Córdoba. Universidad Nacional de Córdoba, Facultad de Ciencias Exactas, Física y Naturales, Instituto Multidisciplinario de Biología Vegetal.
- PEREZI, R. (1984). Estudio del contenido de metales pesados en briófitos del área metropolitana de Barcelona. *Anales de Biología*. (2), p. 347-352.
- PEREZ, A & WATTEIJNE, B. (2009). Estructura de una comunidad de líquenes y morfología del género *Sticta* (Stictaceae) en un gradiente altitudinal. Colombia. *Acta biol* 14 157-170.
- PEScott, O. L., SIMKIN, J. M., AUGUST, T. A., RANDLE, Z., DORE, A. J. & BOTHAM, M. S. (2015). Air pollution and its effects on lichens, bryophytes, and lichen-feeding Lepidoptera: review and evidence from biological records. *Biological Journal of the Linnean Society*. Kluwer Academic Publishers. Printed in the Netherlands.
- PICADO, C. (1988). Obras completas/Clodomiro Picado Twiht. Cartago. Editorial Tecnológica de Costa Rica. Vol I.

- PLACERES, M., DIEGO, F & ÁLVAREZ, M. (2006). La contaminación del aire: su repercusión como problema de salud. Revista cubana de higiene y epidemiología. (44).
- PROGRAMA NACIONES UNIDAS., MUNICIPALIDAD DE LOJA. & NATURALEZA Y CULTURA INTERNACIONAL. (2007). Perspectivas del Medio ambiente urbano: GEO Loja. 165 pp.
- QUADROS, G., ZOUAIN, F., JULIANELLI, O., BARBOZA, A., LEITE, C., CARNEIRO, L., MEDEIROS, G., DÍAS, K. (2009). Estudo da qualidade do ar na região de sepetiba usando tillandsia usneoides L. (bromeliaceae) como biomonitor. Associação brasileira de energia nuclear - aben isbn: 978-85-99141-03-8.
- RASMUSSEN, L. (1977). Epiphytic bryophytes as indicators of the changes in the background levels of airborne metals from 1951–1975. Environmental Pollution. (14), p. 37–45.
- REPETTO, M. (1995). Toxicología avanzada. Ministerio de cultura. Ediciones Diaz de Santos S.A. Sevilla. Recuperado el 10 de septiembre de 2016, de https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=opad2FFk9g0C&oi=fnd&pg=PA393&dq=cadmio+en+el+aire&ots=V65tTrHaPV&sig=CCR4AdYOKyQO1d64hjhii7cd_SM#v=onepage&q=cadmio%20en%20el%20aire&f=false
- RINCON, J. (2012). *Líquenes como bioindicadores en el monitoreo de la calidad del aire*. Universidad Industrial de Santander: Facultad de Ciencias. Escuela de Química. Bucaramanga.
- ROMERO, M., DIEGO, F & ÁLVAREZ, M. (2006). La contaminación del aire: su repercusión como problema de salud. Revista cubana de higiene y epidemiología. Recuperado de: http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S156130032006000200008&script=sci_arttext
- RUBIANO, I., CHAPARRO, M., (2006). *Delimitation of Atmospheric Iso-Contamination Areas in the Universidad Nacional de Colombia Campus by Analysis of Bioindicators (Epiphytic*

Lichens). Departamento de Biología, Facultad de Ciencias. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

- RYAN, B., BUNGARTZ, & TH, N. I. (2002). Morphology and Anatomy of the Lichen Thallus. 8-23.
- ROSATO, V., GARCIA, R & VIERA, J. (2009). Análisis de cobertura de *Caloplaca austrocitrina* en las paredes de la Catedral de la Inmaculada Concepción de la Plata. La Plata, Buenos Aires-Argentina.
- SANTONI, C. & LIJTEROFF, R. (2006). Evaluación de la calidad del aire mediante el uso de bioindicadores en la provincia de san Luis, Argentina. Revista Internacional de Contaminación Ambiental 22: 49-58.
- SECRETARIA NACIONAL DE RIESGOS. (2013). Vulnerabilidad a nivel municipal del cantón Loja. Universidad Nacional de Loja. Recuperado de: <http://repositorio.cedia.org.ec/bitstream/123456789/851/1/Perfil%20territorial%20LOJA.p df>
- SATYA, UPRETI, K & PATEL, D. (2012). Rinodina sophodes (Ach.) Massal: a bioaccumulators of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in Kanpur City, India. Environ Monit Assess 184: 229–238.
- SEGURA, S. (2013). *Caracterización de la contaminación atmosférica en seis parques recreacionales del distrito metropolitano de quito mediante el uso de bioindicadores* (tesis de pregrado). Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador.
- SEGALA, E., B. MOURA. (2008). Structural analysis of Tillandsia usneoides L. exposed to air pollutants in São Paulo City-Brazil. Water, Air, and Soil Pollution 189: 61-68.
- SERRA, M., GADEA, E., RIVERA, J., BOSCH, A & PUIG, M. (2004). Monitorizació dels nivells de dioxinas PCDD, furans PCDF, policlorats bifenils PCBs i metalls pesants Pb, Cd, Cr, Hg a les poblacions de Mataró i Arenys de Mar. Mataró.

- SIPMAN, H & APTROOT, A. (2001). Where are the missing lichens? *Mycological Research* 105:1433-1439.
- SIMIJACA-SALCEDO, D.F., VARGAS-ROJAS D.L. & MORALES-PUENTES, M.E. (2014). Uso de organismos vegetales no vasculares como indicadores de contaminación atmosférica urbana (Tunja, Boyacá, Colombia). *Acta biológica Colombiana* 9: 221-232.
- STUNTZ, S., C. ZIEGLER, U. SIMON & G. ZOTZ. (2002). "Diversity and structure of the arthropod fauna within three canopy epiphyte species in central Panama". *J. of Trop. Ecol.*, 18: 161-176.
- SHUKLA, V. & UPRETI, D. (2009). Polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) accumulation in lichen, *Phaeophyscia hispidula* of DehraDun City, Garhwal Himalayas. *Environ Monit Assess*, 149 (14): 1-7.
- UMAÑA, L & SIPMAN, H. (2002). *Líquenes de Costa Rica*. San José de Costa Rica: GEF.
- VANDERPOORTEN, A. & GOFFINET, B. (2009). Introduction to bryophytes. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido, p. 312.
- VILLARREAL, J., CARGILL, D., HARGBORG, A., SÖDERSTRÖM, L & RENZAGLIA, K. (2010). Hornwort diversity: Patterns, causes and future work. *Phytotaxa*, (9), p. 150-166.

ANEXOS

Anexo 1. Listado de especies de briófitos, líquenes y bromelias presentes en la ciudad de Loja.

<i>Anisomeridium</i> sp.
<i>Caloplaca cerina</i> (Hedw.) Th. Fr.
<i>Candelaria concolor</i> (Dicks.) Arnold
<i>Flavopunctelia flaventior</i> (Stirt.) Hale
<i>Graphis</i> Adanson
<i>Heterodermia espatulifera</i> sp1.
<i>Heterodermia leucomela</i> (L.) Poelt.
<i>Heterodermia</i> sp2.
<i>Hypotrachyna costaricensis</i> (Nylander) Hale
<i>Hypotrachina</i> sp.
<i>Lecanora</i> sp1.
<i>Lecanora</i> sp2.
<i>Lecanora</i> sp3.
<i>Leptogium millegranum</i> Sierk
<i>Myelochroa lindmani</i> (Lyng.) Elix & Hale
<i>Parmotrema arnoldii</i> (Du Rietz) Hale
<i>Parmotrema conferendum</i> Hale
<i>Pertusaria</i> DeCandolle
<i>Phaeophysia hispidula</i> (Poelt.) Kashiw
<i>Physia aipolia</i> (Ehrh. Ex Humb.) Furnr.
<i>Physia bulbotrix</i> sp1.
<i>Physia crispa</i> Nylander
<i>Physia solediosa</i> (Vainio) Lyng
<i>Physcia</i> sp2.

<i>Pseudocyphellaria aurata</i> (Acharius) Vainio
<i>Punctelia borreri</i> (Smith) Krog
<i>Punctelia rudecta</i> (Ach) Krog
<i>Ramalina celastri</i> (Spreng.) Krog & Swinscow
<i>Sematophyllum subsimplex</i> (Hedw.) Mitt.
<i>Sticta fuliginosa</i> (Dickson) Acharius
<i>Teloschistes chrysophthalmus</i> (L.) Beltr.
<i>Tillandsia usneoides</i> (Linnaeus) Carl von
<i>Tortura ruralis</i> (Hedw.) Gaertn., Meyer, & Scherb
<i>Usnea</i> Dillenius ex Adanson

Anexo 2. Listado de coordenadas de las zonas de muestreo

Nombre de zona	Coordenadas		Altitud
	X	Y	
Juan de Salinas	699203	9558500	2075
Parque Bolivar	699270	9558260	2066
10 de Agosto	699283	9557969	2094
El León	699344	9557493	2099
Coliseo Ciudad de Loja	699364	9557047	2091
occidental	698732	9558805	2123
Terminal	699368	9560198	2054
La Paz	698912	9561546	2032
Unión de los Rios	699485	9558880	2060
Parque infantil	699819	9557036	2031
Cabo minacho	699697	9556876	2098

Clínica San Pablo	699513	9554688	2124
Parque lineal	699429	9555693	2112
Supermaxi	699554	9556214	2088
Estadio	700365	9557483	2077
Zamora Huayco alto	701863	9552663	
Amauta	702368	9552783	

Anexo 3. Especies de líquenes presentes



Pamotrema arnoldii (Du Rietz) Hale *Candelaria concolor* (Dicks.) Arnold

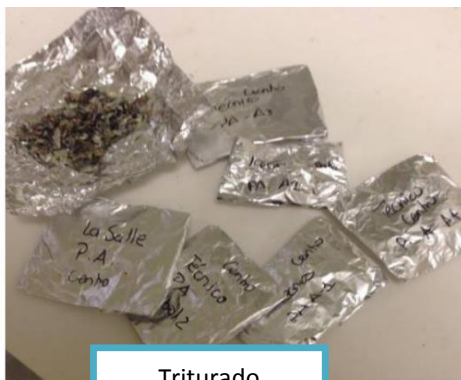
Anexo 4. Trabajo de campo (muestreo y recolección de datos)



Anexo 5. Trabajo de laboratorio (protocolo químico)



Secado de muestras



Triturado



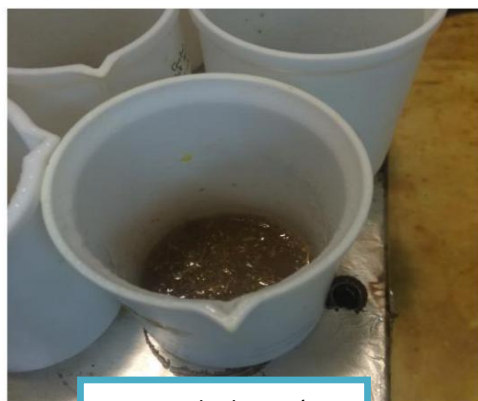
Pesaje



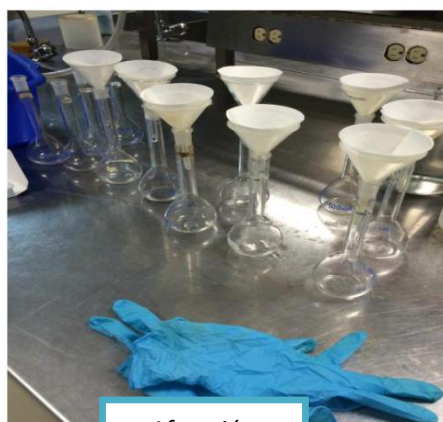
Preparación de agua regia



Digestión



Segunda digestión



Aforación



Medición de metales pesados