



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Facultad de Ciencias Químicas

Carrera de Ingeniería Ambiental

**Monitoreo de la calidad del aire del cantón Cuenca mediante el uso de bioindicadores
(líquenes, *Vicia faba* y *R. Sativus*)**

Trabajo de titulación previo a
la obtención del título de
Ingeniera Ambiental

Autoras:

Daysi Germania Ayala Quezada

CI: 0104660238

Correo electrónico: kenisma7576@gmail.com

Jacqueline Cristina Chuqui Domínguez

CI: 0106443781

Correo electrónico: criss_jcdc@hotmail.com

Tutora:

Ing. Diana Lucía Moscoso Vanegas. PhD

CI:0102339454

Cuenca, Ecuador

20-octubre-2021



Resumen:

Las plantas son seres vivos que captan dióxido de carbono, pero también pueden ser utilizadas como herramientas para determinar la calidad del aire de un lugar debido a que éstas pueden sufrir alteraciones por causa de factores externos como la contaminación atmosférica, es por eso, que el presente trabajo de investigación tuvo como principal objetivo monitorear la calidad del aire en el cantón Cuenca a través de la utilización de plantas como bioindicadores. Para este propósito se aplicó la metodología pasiva y activa, en la metodología activa se utilizó como bioindicadores dos especies *Raphanus sativus* y *Vicia faba*, se tomaron 8 puntos de monitoreo distribuidos alrededor de todo el cantón, para la metodología pasiva se utilizó la especie conocida como liquen para bioindicador, debido a que esta especie está presente en la mayoría de árboles del cantón, para la obtención de resultados de la metodología pasiva, se basó en determinar el índice de Pureza Atmosférica (IPA) en los 8 puntos de monitoreo, además se manejó el software ArcGIS y se usó la herramienta del IDW (Inverse Distance Weighting) para la extrapolación de los datos de las concentraciones que se obtuvieron de la Empresa Pública Municipal de Movilidad, tránsito y transporte de Cuenca (EMOV EP), la metodología activa se enfocó en observar las alteraciones morfológicas y los efectos ecotoxicológicos que presentaron las especies de *R. Sativus* y *V. Faba*, que ocurrieron en el transcurso del tiempo que duró el monitoreo. En la metodología pasiva se obtuvieron valores del IPA entre 9,8 y 22,8 siendo este último el valor de IPA más alto relacionado a una buena calidad de aire. En la metodología activa la especie que más sufrió alteraciones fue *R. Sativus* presentando manchas en sus hojas y bajos pesos. Finalmente, el lugar que presentó mayor contaminación ambiental fue el punto del Arenal tanto en la metodología activa como en la pasiva, mientras que el lugar que mostró menor contaminación fue el Camal en la metodología activa y Balzay en la metodología pasiva.

Palabras claves: Bioindicadores. Biomonitoreo. Forófitos. Líquenes



Abstract:

Plants are living beings that capture carbon dioxide, but they can also be used as tools to determine the air quality of a place because they can suffer alterations due to external factors such as air pollution, that is why the main objective of this research work was to monitor air quality in the Cuenca canton through the use of plants as bioindicators. For this purpose the passive and active methodology was applied, in the active methodology two species *Raphanus sativus* and *Vicia faba* were used as bioindicators, 8 monitoring points were taken distributed around the entire canton, for the passive methodology the species known as Lichen for bioindicator, because this species is present in most of the trees of the canton, to obtain the results of the passive methodology, it was based on determining the Atmospheric Purity Index (IPA) in the 8 monitoring points. The ArcGIS software was used and the IDW (Inverse Distance Weighting) tool was used to extrapolate the concentration data obtained from the Cuenca Municipal Public Mobility, Transit and Transport Company (EMOV EP), the active methodology focused on observing the alterations morphological and ecotoxicological effects presented by the species of *R. Sativus* and *V. Faba*, which occurred in the course of the time that it lasted e l monitoring. In the passive methodology, IPA values between 9.8 and 22.8 were obtained, the latter being the highest IPA value related to good air quality. In the active methodology, the species that suffered the most alterations were R, Sativus, presenting spots on its leaves and low weights. Finally, the place that presented the highest environmental contamination was the Arenal point in both the active and passive methodology, while the place that showed the least contamination was the Camal in the active methodology and Balzay in the passive methodology.

KEYWORDS: Bioindicator. Biomonitoring. Lichen. Phorophyte.



Índice del Trabajo

1. INTRODUCCIÓN	17
1.1. Planteamiento del problema	18
1.2. Justificación	19
1.3. Objetivo General	20
1.4. Objetivos Específicos	20
2. MARCO TEÓRICO	21
2.1. Contaminación Atmosférica	21
2.2. Calidad de aire	21
2.3. Monitoreo de la calidad del aire	22
2.4. Ecotoxicología	22
2.5. Fitotoxicidad	22
2.6. Biomonitoreo	23
2.7. Metodología Activa	23
2.8. Metodología Pasiva	23
2.9. Bioindicadores	23
2.9.1. Características que debe cumplir un organismo para ser considerado bioindicador	24
2.9.2. Clasificación de los Bioindicadores	25
2.9.3. Ventajas de los bioindicadores	26
2.10. Contaminantes del aire	27
2.11. Efectos de contaminantes presentes en <i>Vicia Faba</i>	31
2.12. Efectos de contaminantes presentes en <i>Raphanus sativus</i>	31
2.13. Líquenes:	32
2.13.1. Ventajas del uso de líquenes como bioindicadores	32
2.13.2. Clasificación de los líquenes:	33
2.13.2.1. Forma de Crecimiento	33
2.13.3. Los Líquenes y la Contaminación Atmosférica	34
2.14. Índice de pureza Atmosférica	35
2.15. Índice de Shannon- Wiener	36
2.16. Forófito	37



3. METODOLOGÍA	38
3.1. Área de Estudio	38
3.2. Ubicación de los puntos a monitorear	39
3.3. Metodología Activa	44
3.3.1. Selección de especies.....	45
3.3.2. Cultivo de las plantas.....	45
3.3.3. Frecuencia de revisión de plantas	49
3.3.4. Análisis comparativo	49
3.3.4.1. Análisis comparativo para <i>Vicia Faba</i>	49
3.3.4.2. Análisis comparativo para <i>R. Sativus</i>	51
3.4. Metodología Pasiva.....	53
3.4.1. Selección de forófitos:	53
3.4.2. Identificación de especies de líquenes	54
3.4.2.1. Clasificación de los líquenes	55
3.4.2.2. Determinación de riqueza de especies	56
3.4.3. Determinación del Índice de Shannon	56
3.4.4. Determinación del IPA	56
3.4.5. Análisis espacial de las especies de líquenes	57
3.4.5.1. Interpolación de contaminantes atmosféricos	57
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	58
4.1. Metodología Activa	58
4.1.1. Análisis Comparativo de <i>Vicia faba</i> en todos los puntos de exposición	58
4.1.2. Análisis Comparativo de <i>R. Sativus</i> en todos los puntos de exposición.....	63
4.2. Metodología Pasiva.....	67
4.2.1. Valores del Índice de Shannon-Wiener	67
4.2.2. Índice de Pureza Atmosférica	67
4.2.3. Análisis espacial de líquenes	68
4.2.4. Concentración de contaminantes atmosféricos en las zonas de estudio	69
4.2.4.1. Concentración del Dióxido de azufre (SO ₂) en las zonas monitoreadas	70
4.2.4.2. Concentración del Dióxido de Nitrógeno (NO ₂) en las zonas monitoreadas.....	71
4.2.4.3. Concentración Partículas Sedimentables (PS) en las zonas monitoreadas	73
5. CONCLUSIONES	77



6. RECOMENDACIONES78

BIBLIOGRAFÍA80

ANEXOS88

ANEXO 1. Bitácora de líquenes en Tarqui88

Anexo 2. Bitácora de líquenes en Baños.....89

ANEXO 3. Bitácora de líquenes en Parque Iberia.....90

ANEXO 4. Bitácora de líquenes en el Arenal.....91

ANEXO 5. Bitácora de líquenes en el parque el Paraíso91

ANEXO 6. Bitácora de líquenes en colegio Herlinda Toral.....92

ANEXO 7. Bitácora líquenes en el Camal94

ANEXO 8. Bitácora de líquenes en Balzay95

ANEXO 9. Resultados Tarqui.....96

ANEXO 10. Resultaos Baños96

ANEXO 11. Resultados Parque Iberia96

ANEXO 12. Resultados Arenal.....96

ANEXO 13. Resultados Parque Paraíso97

ANEXO 14. Resultados Herlinda97

ANEXO 15. Resultados Camal97

ANEXO 16. Resultados Balzay.....98

ANEXO 17. Clasificación de Líquenes monitoreados98



INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del cantón Cuenca en el Ecuador. Fuente: Elaboración propia	39
Figura 2. Localización de las estaciones de la Red de Monitoreo de la Calidad de Aire de Cuenca Fuente: EMOV EP	40
Figura 3. Localización de los puntos monitoreados en el Cantón Cuenca.....	42
Figura 4 Disposición de los puntos monitoreados	43
Figura 5. Implementos utilizados	47
Figura 6. Etapas de crecimiento de R. Sativus.....	48
Figura 7. Etapas de crecimiento de Vicia Faba.....	48
Figura 8. Rejilla de levantamiento.....	55
Figura 9. Tres tipos de crecimiento de los líquenes.	56
Figura 10.Vicia Faba del punto CAM	61
Figura 11.Vicia Faba del punto Are.....	62
Figura 12. Concentración de SO ₂ vs foliolos	62
Figura 13. R. Sativus en HER	65
Figura 14. R. Sativus en ARE	66
Figura 15. Concentración de NO ₂ vs peso húmedo.....	66
Figura 16. Valores del IPA de las zonas monitoreadas	69
Figura 17. Concentración del Dióxido de Azufre	71
Figura 18. Concentración de Dióxido de Nitrógeno	72
Figura 19. Concentración de partículas Sedimentables	74



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características de un buen indicador	24
Tabla 2. Clasificación de los bioindicadores.....	25
Tabla 3. Ventajas de los bioindicadores.....	26
Tabla 4. Contaminantes del aire	29
Tabla 5 Medida de la contaminación.....	34
Tabla 6 Código y ubicación de las estaciones de monitoreo	41
Tabla 7. Ubicación de los puntos de monitoreo.....	43
Tabla 8. Frecuencia de revisión de plantas	49
Tabla 9. Características principales de Vicia faba y efectos de los contaminantes	51
Tabla 10. Características principales R. Sativus y los efectos de los contaminantes	52
Tabla 11. Especies seleccionadas como forófitos en los puntos de monitoreo	54
Tabla 12. Análisis Comparativo de Vicia faba en todos los puntos de exposición	59
Tabla 13. Análisis Comparativo de R. Sativus en todos los puntos de exposición	64
Tabla 14. Valores de la diversidad	67
Tabla 15. Índice de pureza atmosférica	68
Tabla 16. Concentración de contaminantes atmosféricos	70



Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Daysi Germanía Ayala Quezada en calidad de autora y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Monitoreo de la calidad del aire del cantón Cuenca mediante el uso de bioindicadores (líquenes, *Vicia faba* y *R. sativus*)", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 20 de octubre del 2021.

Daysi Germanía Ayala Quezada

C.I: 0104660238



Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Jacqueline Cristina Chuqui Domínguez en calidad de autora y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Monitoreo de la calidad del aire del cantón Cuenca mediante el uso de bioindicadores (líquenes, *Vicia faba* y *R. sativus*)", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 20 de octubre del 2021.

Jacqueline Cristina Chuqui Domínguez

C.I: 0106443781



Cláusula de Propiedad Intelectual

Daysi Germania Ayala Quezada, autora del trabajo de titulación "Monitoreo de la calidad del aire del cantón Cuenca mediante el uso de bioindicadores (liques, *Vicia faba* y *R. Sativus*)", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autora.

Cuenca, 20 de octubre de 2021

Daysi Germania Ayala Quezada

C.I.: 0104660238



Cláusula de Propiedad Intelectual

Jacqueline Cristina Chuqui Domínguez, autora del trabajo de titulación "Monitoreo de la calidad del aire del cantón Cuenca mediante el uso de bioindicadores (líquenes, *Vicia faba* y *R. Sativus*)", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autora.

Cuenca, 20 de octubre de 2021

Jacqueline Cristina Chuqui Domínguez

C.I: 0106443781



Dedicatoria

El presente trabajo va dedicado a mi querido esposo Kenny, quien fue un pilar muy importante para la realización de este trabajo, por no permitir que me rindiera al presentarse dificultades, por alentarme a concluir con mis objetivos y por todo su apoyo brindado.

A mi pequeña hija Renata, quien fue mi inspiración y por quien día a día me esfuerzo por salir en adelante.

Daysi



Dedicatoria

El presente trabajo va dedicado principalmente a Dios por ser un inspirador y haberme dado la fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más preciados.

A mi madre por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ella he logrado convertirme en una mejor persona, por haber inculcado en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, ha sido un orgullo y privilegio ser una de sus hijas, ha sido la mejor madre que la vida me pudo dar.

Cristina



Agradecimiento

Agradezco a Dios por haberme permitido llegar a este punto de mi vida, nunca soltó de mi mano, sobre todo en momentos duros y puso personas buenas en mi camino, las cuales fueron y son un gran apoyo en mi vida.

A mis padres, Fausto y Germania, que me apoyaron económica y moralmente para poder culminar mi carrera y hasta el día de hoy siempre están pendientes de mí, por sus consejos y ánimos que me dan para poder conseguir mis sueños y siempre estar cuando los necesito.

Agradezco a mi tía María, por cuidar de mí por muchos años y acompañarme en los momentos importantes de mi vida. A mis primos que son como hermanos, Mercy, Daniela, Ana y Steven, por su gran apoyo hacia mí durante toda mi vida. Y a mis tías Carmen y Zoila, a Yolanda y José y a todas las personas que de una u otra forma me han brindado su apoyo.

A mis compañeros que me ayudaron en el transcurso de la carrera, compartiendo sus conocimientos conmigo, a Cristina que siempre me ayudó en los temas que resultaban difícil para mí, por su apoyo brindado y por su responsabilidad para llevar a cabo el presente trabajo.

Agradezco a la Ing. Diana Moscoso por ser nuestra tutora y por el tiempo que dedicó hacia nosotras, compartiendo sus conocimientos y ayudándonos en lo que necesitábamos.

Daysi



Agradecimiento

Le agradezco a Dios por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi vida, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad.

Le agradezco a mis padres por darme todo su apoyo y confianza, por los valores que me han inculcado y por haberme dado la oportunidad de tener una excelente educación a lo largo de mi vida y por ser un excelente ejemplo de vida a seguir.

Le doy las gracias a la Ingeniera Diana Moscoso por haber confiado en Daysi y en mí, por habernos brindado su apoyo y su tiempo para la realización de este proyecto.

A Daysi por haber sido una excelente compañera de tesis y amiga, por la paciencia que siempre me ha tenido y por motivarme a seguir adelante en mis momentos de desesperación y sobre todo, por hacer de su familia, una familia para mí.

A mis amigos por creer y confiar en mí, por los momentos compartidos por las tareas que juntos realizamos y por todas las veces que a mí me explicaron millones gracias.

Finalmente, pero no en último lugar quiero agradecer a J. Andrés por haberme acompañado en todo este largo camino, la ayuda que me has brindado ha sido sumamente importante, estuviste a mi lado y creíste en mi cuando ni yo creía en mí, estuviste inclusive en los momentos y situaciones más tormentosas. Siempre ayudándome.

Cristina



INTRODUCCIÓN

El aire es una mezcla de gases que se encuentran en la atmósfera terrestre, es un recurso básico e imprescindible para la vida tanto animal, vegetal y humana, sin el cual no existiría la vida misma. Así mismo, la contaminación del aire es un problema de suma importancia, tanto medioambiental como social, que afecta a la salud de las personas y a los ecosistemas. Todas las actividades que realizan los seres humanos generan contaminación a nivel ambiental, actividades industriales, comerciales y domésticas, no es excepción en las ciudades, debido a que estas son consideradas como las principales fuentes de emisión de contaminantes (Cruz, 2018).

Los principales contaminantes que se encuentran en la atmósfera y afectan la calidad del aire son el dióxido de azufre (SO_2), óxidos de nitrógeno (NO_x), ozono troposférico (O_3), partículas sedimentables (PS), material particulado (PM), monóxido de carbono (CO) y compuestos orgánicos volátiles (COVs) (EMOV EP, 2019).

Debido a la presencia de contaminación atmosférica, se necesitan implementar acciones para mejorar la calidad del aire y proteger la salud de los seres vivos, siendo el primer paso el determinar la condición actual del mismo y de esta manera detectar cualquier alteración que pueda causar daños en la biósfera, así como también tomar medidas frente a acciones contaminantes. Al momento Cuenca posee una red de monitoreo de la calidad del aire de la EMOV EP la cual consta de 2 estaciones automáticas, 3 semiautomáticas y 20 estaciones pasivas. Sin embargo, esta red mide solamente parámetros físicos y químicos más no biológicos (EMOV EP, 2019).

En la actualidad existen varias metodologías para determinar la calidad de aire de cierto lugar, sin embargo, existen formas sencillas y no tan costosas que se pueden emplear como es el caso de las plantas, que son seres vivos que captan dióxido de carbono, pero también pueden ser utilizadas como herramientas para determinar la calidad del aire de un lugar debido a que éstas pueden sufrir alteraciones por causa de factores externos como la contaminación atmosférica (Estrada et al., 2016)



Un organismo es considerado como bioindicador cuando este presenta una reacción a diversos factores y el mismo muestra diferentes grados de perturbación al medio en el cual se encuentra presente (Conti & Cecchetti, 2001). Hay muchos organismos conocidos que pueden utilizarse como bioindicadores, entre estos se incluyen especies de plantas vasculares, líquenes, algas, briofitas, hongos, invertebrados y vertebrados, y en el caso de la contaminación atmosférica, son considerados buenos bioindicadores aquellos organismos que son susceptibles a contaminantes aéreos (Calatayud & Lorente, 2009). Los indicadores biológicos se han utilizado ampliamente para monitorear la calidad del aire. En el caso de los líquenes son utilizados como uno de los mejores bioindicadores de la calidad de aire ya que estos organismos han sido conocidos como sensibles a gases fitotóxicos además muestran modificaciones tanto en su morfología como su fisiología como respuesta a los cambios de la calidad del aire en el medio en el cual se desarrollan. Así como también *R. Sativus* y *Vicia Faba* que presentan alteraciones ante la presencia de ciertos contaminantes (Neville & Yen, 2007)

Por lo expuesto anteriormente, el presente trabajo planteó como objetivo principal determinar la calidad de aire en ocho puntos diferentes del cantón Cuenca, mediante el uso de líquenes como bioindicadores empleados en la metodología pasiva y *R. Sativus* y *Vicia Faba* para la metodología activa.

1.1.Planteamiento del problema

El monitoreo de la calidad del aire se puede realizar empleando diversas metodologías, las cuales tienen como objetivo determinar el estado en el que éste se encuentra con el propósito de implementar medidas que eviten afecciones en su calidad y mejorar las condiciones de este. Sin embargo, algunas de estas metodologías resultan ser muy costosas o complejas a la hora de emplearlas, a más de esto, está el crecimiento poblacional, en los últimos años en el cantón Cuenca la población ha ido incrementando paulatinamente, cuenta con aproximadamente seiscientos mil habitantes y por esta razón es considerada como la tercera ciudad más poblada del Ecuador (Riera, 2017), todo esto significa mayor generación de contaminantes, así como también debido a otros factores como es el caso del tráfico vehicular, que es una importante fuente de emisión de contaminantes, pues según el



último inventario de emisiones realizado por la EMOV EP de acuerdo al año 2014, en el cantón el tráfico vehicular es la actividad que mayor contaminación genera, con un 94,5 % de emisiones de CO, además a esto se suman las emisiones generadas por las industrias, esto también significa más puntos a monitorear, mayor control de la calidad del aire y por lo tanto mayor inversión económica.

Así mismo, el monitoreo de la calidad del aire se lo realiza con la finalidad de evitar la contaminación atmosférica, que hoy en día es uno de los problemas ambientales más severos tanto a nivel global, regional y local, el cual está presente en todas las sociedades, independientemente del nivel de desarrollo socioeconómico, además este problema también incide en gran parte sobre la salud de las personas (Canseco et al., 2006)

Por todo lo descrito, es fundamental enfocarse en la importancia de los sistemas de vigilancia de la calidad del aire y el monitoreo para obtener información de las condiciones en las que se encuentra y en base a los resultados obtenidos aplicar medidas de mitigación adecuadas. Es por esta razón que se ha optado por emplear la metodología de biomonitoreo, la cual resulta sencilla de llevar a cabo y no requiere de altas inversiones.

1.2. Justificación

Las ciudades a menudo contienen altas concentraciones de PM, O₃, SO₂, óxido nítrico (NO) y dióxido de nitrógeno (NO₂), a los cuales se les conoce como NO_x, CO, COVs e hidrocarburos (HC, un subconjunto de COVs) (Rosales et al., 2001)

Los principales componentes químicos de PM son sulfato (SO₄), nitrato (NO₃), amonio (NH₄), carbono orgánico (OC), carbono elemental y suelo. Los gases de efecto invernadero (GEI) de larga duración, como el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄) y los clorofluorocarbonos son importantes a escala mundial (Molina & Molina, 2004)

Es debido a la presencia de estos contaminantes en la atmósfera que se busca metodologías para medir la cantidad de emisiones de los mismos, entre estas metodologías se encuentran



los métodos físicos y químicos, aunque estas técnicas son importantes no permiten tener resultados claros sobre los efectos que las concentraciones de diferentes contaminantes tienen en los seres vivos, este es el motivo por el cual se han estado utilizando los llamados biomonitoreos, los cuales han ido cobrando más importancia en la determinación del grado de afectación del contaminante en el medio ambiente (Käffer et al., 2012).

Determinar la calidad del aire de un lugar es de suma importancia para poder tomar decisiones, ya que si este presenta altos niveles de contaminantes atmosféricos puede causar graves daños en la salud de las personas y otros seres vivos. Es importante que se puedan emplear diversas metodologías y más aún si estas son de fácil aplicación y no requieren de grandes inversiones como es el caso del biomonitoreo. El cual es un método en el que se utilizan diferentes tipos de biota basándose en las reacciones que estas presentan ante la contaminación ambiental (Parmar et al., 2016)

Actualmente en el cantón Cuenca no existe la aplicación de dicha metodología por lo que este estudio aporta con información sobre cómo el aire de la zona en caso de presentar perturbaciones ambientales afecta a las plantas empleadas como bioindicador.

1.3.Objetivo General

Determinar la calidad del aire en el cantón Cuenca mediante el uso de bioindicadores empleando la metodología activa y pasiva.

1.4.Objetivos Específicos

Emplear las especies de *Raphanus sativus*, *Vicia faba* y líquenes crustáceo, foliáceo, y fruticulado como bioindicadores.

Analizar las alteraciones morfológicas y los efectos eco toxicológicos que se producen en los bioindicadores al ser expuestos a sitios de mayor contaminación y compararlas con las características típicas de su especie según la bibliografía.

Identificar los sitios que presentan mayor contaminación.



2. MARCO TEÓRICO

2.1. Contaminación Atmosférica

Se define como contaminación atmosférica a la presencia de sustancias extrañas en la atmósfera en cantidades superiores a las permitidas, estas sustancias pueden ser perjudiciales a la salud de los seres humanos y al ecosistema alterando el equilibrio ecológico. Entre las actividades que traen consecuencias para la atmósfera de la tierra están la urbanización y la industrialización (Tolba, 1992).

En la actualidad existen diferentes contaminantes entre los principales están los contaminantes criterio estos comprenden al, plomo (Pb), CO, O₃, PM, NO₂ y SO₂ (Galarza, 2019).

2.2. Calidad de aire

Se conoce como atmósfera a la envoltura gaseosa que rodea la atmósfera de la Tierra, la misma que tiene un espesor de 200 km. La atmósfera es un medio continuo a través del cual se transportan y dispersan los contaminantes. Este transporte se realiza a través de velocidades de viento tanto planetarias como regionales y locales (Smodiš et al., 2004).

Una vez en la atmósfera, la persistencia de los contaminantes dependerá de diversos factores, ya sea de carácter meteorológico, como el lavado por lluvia y deposición por gravedad o efectos sobre superficies, o su alteración por diversas reacciones químicas (Molina & Molina, 2004).

Por tanto, se denomina calidad del aire a las concentraciones de contaminantes que llegan a un receptor, más o menos lejos de la fuente de emisión, una vez transportados y dispersados a la atmósfera (Hugo et al., 2011).

La exposición a la contaminación del aire es un factor de riesgo importante en el mundo, ya que causa muchas enfermedades tanto en humanos como en animales, lo que lleva al deterioro de su calidad de vida (Rosales et al., 2001)



2.3. Monitoreo de la calidad del aire

Se denomina monitoreo de la calidad del aire al conjunto de métodos diseñados para muestreo, análisis y tratamiento de concentraciones ilimitadas de contaminantes en el aire en un momento y lugar determinados (Sáez, 2017).

El monitoreo de la calidad del aire es importante porque ayuda a formular los estándares de calidad del aire de la ciudad, se utilizan para realizar estudios epidemiológicos que relacionan los efectos de las concentraciones de contaminantes con los daños. Para la salud, los contaminantes determinan las fuentes de emisiones y sus tipos, también se utiliza para formular estrategias de control y políticas de desarrollo de acuerdo con los ecosistemas locales (Falla et al., 1999)

2.4. Ecotoxicología

René Truhaut, la definió como "la rama de la toxicología relacionada con el estudio de los efectos tóxicos, causados por contaminantes naturales o sintéticos, a los componentes de los ecosistemas, animales (incluidos los humanos), vegetales y microbianos, en un contexto integral" (Carriquiriborde, 2021).

2.5. Fitotoxicidad

La fitotoxicidad es un término empleado para describir el grado de efecto tóxico producido por una mezcla de aspersión o compuesto determinado que causa desordenes fisiológicos en las plantas y que se traduce en alteraciones del aspecto, crecimiento, vigor, desarrollo y productividad de las plantas. Estos daños pueden darse por varios factores o por la interacción de los mismos: principalmente compuestos químicos. La fitotoxicidad se puede expresar en distintos órganos en la planta. Se suele manifestar como síntomas que van desde quemazón de puntas de hojas, hasta clorosis parcial o general. Las consecuencias van desde la disminución o retraso del crecimiento hasta la pérdida de la cosecha (Corrales & Muñoz, 2012).



2.6. Biomonitorio

Aplica la definición de monitoreo, pero la diferencia radica en que aquí se aplica el uso de organismos los cuales se basan en la respuesta y sensibilidad de diferentes organismos vivos a diversos contaminantes presentes en un ecosistema (Calvelo et al., 2009).

Es el uso de biomonitores en una serie definida de mediciones para evaluar la calidad del aire en un lugar definido para un contaminante específico o grupo de contaminantes presentes en dicha área (Anze et al., 2007).

2.7. Metodología Activa

Consiste en un biomonitorio basado en el traslado de especies seleccionadas al área a monitorear por un tiempo limitado (Ștefănuț et al., 2021). Una vez introducidas dichas especies pueden presentar cambios visibles o no, según el nivel de contaminación de la zona.

2.8. Metodología Pasiva

Metodología útil para evaluar la calidad del aire, incluidas las concentraciones de metales pesados en la atmósfera. Permite comparar cualitativamente áreas contaminadas y libres de contaminación para identificar con precisión las fuentes y la escala de la contaminación atmosférica por aerosoles (Świsłowski et al., 2021)

2.9. Bioindicadores

Los bioindicadores son aquellos que presentan sensibilidad ante estresores ambientales, además, la vulnerabilidad que presentan ante estos estresores no es uniforme ya que dependen de la capacidad de respuesta (resiliencia) y de adaptación (plasticidad) de éstas a las nuevas condiciones climáticas. Las especies bioindicadores son aquellas que por sus características (sensibilidad a perturbaciones ambientales, distribución, abundancia, dispersión, éxito reproductivo, etc.) pueden ser utilizadas para estimar el estado de otras especies o las condiciones ambientales que pueden tener inconvenientes o resultar costosas al momento de medir directamente (González et al., 2014).



(Mares, 2017) señala que los bioindicadores son procesos biológicos, especies o comunidades que se pueden emplear para evaluar la calidad del medio ambiente y la evolución que éste tiene a través del tiempo. Además, menciona que en un contexto de lenguaje común los términos bioindicador y biomonitorización son sinónimos, sin embargo, científicamente tienen significados más específicos, es decir, los bioindicadores evalúan cualitativamente las respuestas al estrés ambiental (por ejemplo, presencia o ausencia de líquenes), mientras que los biomonitores lo hacen cuantitativamente (por ejemplo, cantidad de contaminante presente en un organismo).

2.9.1. Características que debe cumplir un organismo para ser considerado bioindicador

Para que un organismo pueda cumplir el papel de bioindicador debe cumplir con las siguientes características que se mencionan en la tabla 1.

Tabla 1. Características de un buen indicador

Buena habilidad indicadora	Aportan una respuesta medible (sensibles a la alteración o al estrés, pero no experimentan mortalidad ni acumulan contaminantes directamente del medio ambiente)
	La respuesta de dicha especie refleja la respuesta de todas las especies, poblaciones o comunidades del ecosistema
	Responden en proporción al grado de contaminación o degradación
Especies abundantes y comunes	Adecuada densidad poblacional (las especies raras no son óptimas)
	Comunes incluyendo distribución dentro del área de cuestión



	Relativamente estables a pesar de la moderada variabilidad climática y medioambiental
Especies bien estudiadas	Ecología y forma de vida bien comprendidas
	Taxonómicamente bien documentadas y estables
	Fáciles y baratas de sondear
Económicamente/Comercialmente importantes	Especies ya cosechadas con otras finalidades
	Interés público o conciencia sobre la especie.

Fuente: (Mares, 2017)

2.9.2. Clasificación de los Bioindicadores

(González et al., 2014) mencionan que los organismos suelen reaccionar de manera diferente a las perturbaciones ambientales por lo que se clasifican de la siguiente manera, como se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Clasificación de los bioindicadores.

Clasificación	Descripción	Ejemplo
Detectores	Organismos que ante la presencia de estresores ambientales sufren un aumento en la mortalidad, alteración en la actividad reproductiva y una disminución en su abundancia.	Los líquenes suelen disminuir su abundancia ante contaminantes como SO ₂ debido a que éstos dañan al componente fúngico de éstos, rompiendo así la relación simbiótica. Otro ejemplo son las abejas que son sensibles ante la



		presencia de pesticidas.
Explotadores	Organismos que ante la desaparición de la competencia o por el enriquecimiento de nutrientes ocasionados por perturbaciones ambientales, sufren un crecimiento poblacional explosivo, por lo que su presencia evidencia dicha perturbación.	El explosivo crecimiento de las algas en aguas eutrofizadas o el éxito de los gorriones (<i>Passer domesticus</i>) en las ciudades o el crecimiento de malezas en zonas perturbadas.
Acumuladores	Organismos que, debido a su resistencia a ciertos contaminantes, pueden acumularlos en sus tejidos en concentraciones que pueden ser medidas sin sufrir un daño aparente.	Ciertos briofitos acumulan metales pesados en cantidades apreciables; el ray-grass es resistente a los metales pesados.

Fuente: (González et al., 2014)

Elaboración propia.

2.9.3. Ventajas de los bioindicadores

El uso de bioindicadores presenta ciertas ventajas al momento de realizar un monitoreo, en la tabla 3 se muestran algunas de ellas.

Tabla 3. Ventajas de los bioindicadores



El biomonitoreo permanente de las comunidades resulta ser económico comparado con los análisis fisicoquímicos.
Amplio grado de dispersión.
Fácil identificación de fuentes contaminantes.
La existencia de manuales con métodos establecidos de colecta y registro de información, hacen que sea posible su realización por personas sin amplios conocimientos de biología.
Las comunidades reflejan muchas condiciones del sistema (físicas, químicas, biológicas y ecológicas).
Posibilidad de observar efectos fisiológicos

Fuente: (González et al., 2014)

Elaboración propia.

2.10. Contaminantes del aire

A continuación, se mencionan algunos de los contaminantes del aire, los efectos que éstos producen y sus límites permisibles vigentes en la Norma de calidad del aire ambiente Libro VI Anexo 4 del TULSMA desde el 4 de abril del 2011.



Tabla 4. Contaminantes del aire

Contaminante	Descripción	Efectos	Norma Vigente (25 °C y 760 mmHg)
NO₂	Gas incoloro generado por la combinación entre el nitrógeno (N ₂) y el oxígeno (O ₂) del aire, principalmente en los procesos de combustión.	En concentraciones elevadas puede irritar los alvéolos e incrementar el riesgo de infecciones pulmonares.	Promedio anual 40 µg/m ³ Promedio en 1 hora 200 µg/m ³
SO₂	Gas incoloro, no inflamable y no explosivo. Se forma por la oxidación del azufre (S) que contienen los combustibles fósiles.	En concentraciones mayores es un gas irritante que provoca alteraciones en las mucosas oculares y vías respiratorias. Afecta las defensas del sistema respiratorio y agrava las enfermedades cardiovasculares.	Promedio en 24 horas 125 µg/m ³ Promedio anual 60 µg/m ³ Promedio en 10 minutos 500 µg/m ³
O₃	Gas oxidante y componente natural de la atmósfera. Un 90 % de su concentración se distribuye en la estratosfera y el restante 10 % reside en la	Fuerte irritante que promueve el envejecimiento prematuro y la rigidez de los tejidos	Promedio en 8 horas: 100 µg/m ³



	<p>troposfera. El O₃ estratosférico absorbe la mayor parte de la radiación ultravioleta que proviene del sol y actúa como una capa protectora para los seres vivos y ecosistemas.</p>	<p>pulmonares. Según la OMS, las concentraciones horarias de 200 µg/m³ pueden irritar los ojos, nariz y garganta. Asimismo, el O₃ afecta el normal desarrollo y crecimiento de plantas, y produce el deterioro de materiales como el caucho, colorantes textiles y pinturas</p>	
Partículas sedimentables (PS)	<p>Mezcla compleja de materiales sólidos y líquidos suspendidos en el aire, los cuales pueden variar de forma significativa en tamaño, forma y composición dependiendo de su origen (Mejía et al., 2018).</p>	<p>Problemas respiratorios, agravamiento de enfermedades cardiovasculares e incluso daños genéticos, estrechamente relacionado con cáncer de pulmón (Mejía et al., 2018).</p>	<p>1 mg/cm² durante 30 días</p>

Fuente: (EMOV EP, 2019).

Elaboración propia.



2.11. Efectos de contaminantes presentes en *Vicia Faba*

Vicia faba forma parte de las leguminosas de grano y es un cultivo anual (Perugachi, 2017), la misma se utiliza para medir los resultados provenientes de los contaminantes del SO₂ y O₃. Los parámetros establecidos para medir las concentraciones de estos gases en *Vicia Faba* son tanto de reacción visibles como cambios fisiológicos bioquímicos y cambios en el crecimiento. Entre los daños visibles más importantes se encuentran la presencia de manchas cloróticas y necróticas cuya forma es irregular en la superficie foliar, se encuentra también que su tasa de crecimiento ha disminuido (Anze et al., 2007).

Vicia faba es un buen indicador de contaminación debido a su alto requerimiento de humedad, lo que genera una apertura de las estomas que permite un mayor ingreso de los contaminantes atmosféricos en el cuerpo de la planta (Anze et al., 2007).

2.12. Efectos de contaminantes presentes en *Raphanus sativus*

Raphanus sativus perteneciente a la Familia Brassicaceae el mismo que sufre cambios morfológicos y fisiológicos al ser expuesto a contaminantes. Los cambios que se observan con esta planta se basan en cálculos del tamaño de hojas, hipocótilo y raíces, además de la estimación de la biomasa, el cual constituye el mayor bioindicador de contaminación para rábano (Anze et al., 2007)..

Raphanus Sativus también es empleado como bioindicador de estrés ambiental debido a que tiene un ciclo de crecimiento que está entre 30 a 34 días, además de una rápida aclimatación a distintas duraciones del día y de la noche, un tamaño pequeño, que permite numerosos tratamientos, un número limitado de hojas con formas bastante regulares y una distribución de biomasa distinta entre el vástago y el órgano de almacenamiento, formando



un patrón claro de partición entre fuente y sumidero. Presenta una sensibilidad a contaminantes como el O₃, SO₂ y NO₂ (Anze et al., 2007).

2.13. Líquenes:

Los líquenes son organismos complejos formados por la unión íntima –simbiosis– de un hongo y, al menos, un organismo fotosintético: un alga verde (clorofícea) o una cianobacteria. (Barrimi et al., 2013)

A diferencia de las plantas, los líquenes no tienen estructuras activas para regular la entrada y salida del agua y los gases del aire son poiquilohidros, por lo que las sustancias que hay en la atmósfera, entre ellas las contaminantes, se acumulan fácilmente en su interior. Esto provoca síntomas de deterioro mucho más rápido que en otros organismos, lo que les convierte en excelentes centinelas de problemas potenciales para nuestra salud (Conti & Cecchetti, 2001).

La palabra Liquen significa "musgo de árbol". Una de las características más interesantes y diferenciadoras es que son organismos elaborados a partir de un organismo fotosintético a partir de la asociación simbiótica de un hongo, puede ser un alga, cianobacterias o ambas, también se ha descubierto la presencia de levadura en esta asociación (Barrimi et al., 2013).

2.13.1. Ventajas del uso de líquenes como bioindicadores



El éxito en el monitoreo de la calidad del aire mediante el empleo de líquenes se debe a las siguientes características:

- Se encuentran distribuidos ampliamente y se los puede encontrar en la mayoría de los ecosistemas terrestres, incluyendo en lugares urbanísticos. Además, crecen sobre la superficie de una gran variedad de sustratos ya sean inertes u orgánicos (Pardo & Sancho, 2017).
- Son sensibles a la contaminación del aire y debido a su sensibilidad tienen patrones de respuesta específicos de cada especie a niveles ascendentes de contaminantes atmosféricos, van desde relativa resistencia hasta alta sensibilidad (Blett et al., 2003).
- No disponen de una cutícula protectora, un sistema vascular ni raíces, que conduzcan el agua y los nutrientes, es por esta razón que los absorben directamente de la atmósfera, incluyendo contaminantes (Pardo & Sancho, 2017).
- Además, no poseen aparato excretor ni mecanismos de defensa lo que los hace sensibles a los cambios ambientales (Hugo et al., 2011).
- Tienen naturaleza simbiótica, por lo tanto, si a cualquiera de los simbiontes le afecta un contaminante, los dos organismos mueren.
- Son organismos longevos y tienen un crecimiento lento, lo que provoca que se expongan a componentes nocivos por largos periodos de tiempo.
- Su muestreo es fácil de realizar, además de que no requiere de altas inversiones económicas (Pardo & Sancho, 2017).
- Son organismos perennes (Pardo & Sancho, 2017).

2.13.2. Clasificación de los líquenes:

2.13.2.1. Forma de Crecimiento

Según (Barrimi et al., 2013), existen diferentes grados de contaminación los mismos que se clasifican como:



Líquenes crustáceos: Estos viven sobre ramas o rocas, pegados al sustrato.

Líquenes foliosos: viven sobre ramas o rocas, con aspecto de pequeñas hojas.

Líquenes fruticulosos: viven sobre ramas, con aspecto de pequeños arbolitos.

Se tiene que recordar que no todas las especies de líquenes presentan la misma sensibilidad a contaminantes atmosféricos, ya que cada especie presenta distinta sensibilidad a cierto contaminante, las que presentan tolerancia tienen la capacidad de sobrevivir y las muy sensibles a determinado contaminante pueden desaparecer. Por lo tanto, este tipo de sensibilidades que se pueden presentar es lo que permite analizar los efectos existentes de contaminación (Mares, 2017)

La siguiente tabla indica el nivel de contaminación según la presencia de líquenes

Tabla 5 Medida de la contaminación

MEDIDA DE LA CONTAMINACIÓN SEGÚN LA PRESENCIA DE LÍQUENES		
Muy alta	No existen	
Alta	Lecanora	Crustáceo (forma de costra)
Media	Xanthoria	Crustáceo
Escasa	Parmelia	Foliáceo (forma de hojitas)
Ausencia	Evernia Ramalina Usnea	Fruticulosos (muy ramificados)

Fuente: Elaboración propia

2.13.3. Los Líquenes y la Contaminación Atmosférica

Los líquenes debido a su asociación simbiótica son especies sensibles o resistentes a los grados de contaminación en la atmósfera. Si la contaminación aumenta, las especies



sensibles experimentan un cambio y son sustituidas por especies tolerantes. Cuando el grado de contaminación se eleva ocasiona la muerte o desaparición, incluso de las especies tolerantes. Esto es debido a su talo perenne que no tiene cutícula que lo cubra, quedando así su superficie expuesta al libre paso de líquidos y gases, asimismo son capaces de concentrar y acumular en su talo distintos compuestos, como los contaminantes atmosféricos (Hugo et al., 2011).

El aumento en la atmósfera de NO_x , óxidos de azufre (SO_x) y CO_2 , contribuye a que el pH natural de la lluvia sea ácido, lo que afecta a la densidad de líquenes. El SO_2 presente en la lluvia ácida o en la atmósfera ocasiona daños directa e indirectamente cuando es absorbido por los líquenes, también se acumulan altos niveles de sulfatos y bisulfatos en sus tejidos, los cuales afectan seriamente al liquen: no pueden realizar la fotosíntesis (dañan la clorofila), decoloración de sus talos y separación de los mismos del sustrato (mayor afección entre más cerca estén de la fuente contaminante), respiración celular (puede interrumpirse la fijación de nitrógeno y la transferencia de carbohidratos y nutrientes del alga al hongo ocasionando la deformación de la estructura del talo y eventualmente causa la muerte). A medida que aumenta la concentración de SO_2 , disminuye la abundancia de líquenes. Por otra parte, al estar expuestos los líquenes a NO_x los efectos fisiológicos son similares a los del SO_2 , ya que puede presentar decoloración, deformación y la muerte del liquen. Sin embargo, no desaparecen por completo debido a sus diferentes niveles de tolerancia a los contaminantes. Algunos pueden sobrevivir en ambientes severamente contaminados, mientras que otros perecen si las condiciones no son las óptimas (Hugo et al., 2011).

2.14. Índice de pureza Atmosférica

Permite evaluar la calidad del aire con líquenes, combinando el número de especies presentes en un sitio con la sensibilidad de éstas a ciertos contaminantes ambientales. La fórmula del IPA que utiliza la frecuencia como parámetro de bioindicación ha demostrado



ser la más eficaz (Nimis et al., 2002); además que aporta datos sobre la cobertura líquénica y la diversidad de especies (Calatayud & Lorente, 2009)

El IPA asocia los valores de cobertura y riqueza de especies de líquenes que se encuentran en cada estación con niveles de contaminación, el Índice de Pureza Atmosférica fue determinado, según lo propuesto por LeBlanc y De Sloover (1970) y modificado por Rubiano (2002), (Correa et al., 2020).

El IPA se calcula mediante la ecuación 1:

$$IPA \text{ árbol} = \Sigma F \quad (1)$$

$$IPA \text{ zona} = \text{Promedio del IPA del árbol}$$

2.15. Índice de Shannon- Wiener

Uno de los índices más utilizados para medir la biodiversidad específica es el índice de Shannon, que mide la entropía de la información a partir de la teoría de la información. Es una medida del grado de incertidumbre asociado con la selección aleatoria de un individuo de la comunidad, el índice refleja la diversidad de una comunidad en función de dos factores: el número de especies actuales y su abundancia relativa (Pla, 2006) Para calcular el índice se emplea la ecuación 2

$$H = - \sum_{i=1}^s p_i * \ln(p_i) \quad (2)$$

Donde

H: Índice de Shannon Wiener

Pi: Abundancia relativa

Ln: Logaritmo natural



2.16. Forófito

Se le llama forófito a la planta que sirve como hospedador o la cual crece una epífita, el forófito es solo utilizado como sostén sin recibir daño (Granados et al., 2007).

Diferentes estudios realizados han probado la efectividad y versatilidad del método del biomonitoreo entre algunos de los casos en donde se utilizan estas técnicas podemos mencionar:

En un estudio titulado “Estandarización del biomonitoreo de invertebrados terrestres técnicas en sistemas naturales y agrícolas” utilizaron las llamadas trampas de caída que son las técnicas más comunes empleadas para describir la fauna de invertebrados en condiciones naturales, sistemas para documentar la importancia de la conservación o biodiversidad de varios sistemas naturales. Los invertebrados son candidatos para el biomonitoreo debido al gran número de especies, facilidad general de recolección, y en muchos casos, una rápida respuesta a las perturbaciones que se están produciendo (Neville & Yen, 2007)

En el estudio titulado “Validación y aplicación de plantas como biomonitores de contaminación atmosférica por oligoelementos” se utilizaron técnicas nucleares y afines. El objetivo fue identificar bioindicadores apropiados para la aplicación local y/o regional y validarlos para el monitoreo general de la contaminación del aire. Las actividades incluyeron estudios de cuantificación, investigación sobre resolución espacial y temporal para organismos particulares y estudios fisiológicos. Los resultados confirmaron la aplicabilidad de las plantas inferiores para evaluar el grado de contaminación atmosférica (Smodiš et al., 2004).

Un tema similar al del presente trabajo se realizó en la ciudad de Tarija (Bolivia) el objetivo fue demostrar el uso de bioindicadores como herramienta elemental para la realización de estudios de contaminación ambiental. Se empleó la metodología de biomonitoreo activo y



pasivo, para el primero utilizaron *Raphanus sativus* y *Vicia faba*, mientras que para el monitoreo pasivo mediante cartografía de líquenes, como resultados del biomonitoreo activo obtuvieron que las especies sufrieron alteraciones al ser expuestas a ciertos grados de contaminación atmosférica, y en lo referente al pasivo, en las zonas de contaminación vehicular existió disminución en cuanto a la presencia de líquenes; demostrando así la viabilidad del uso de bioindicadores y la posibilidad de aplicación para determinar la calidad del aire. Los resultados obtenidos fueron comparados con datos de la ciudad registrados por la red de monitoreo MoniCA (Cruz, 2018).

3. METODOLOGÍA

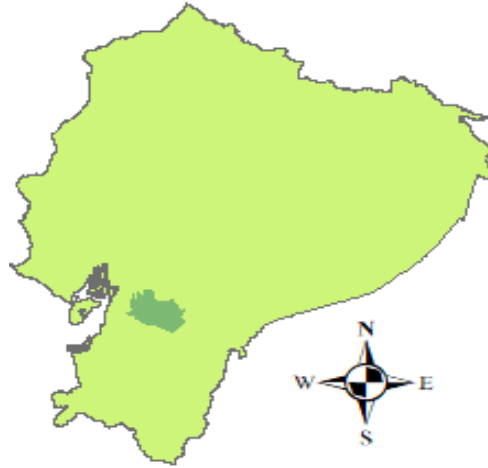
Por el tipo de investigación que se realizó, se trata de una metodología descriptiva y cualitativa que se basó en analizar y detallar las consecuencias de los contaminantes atmosféricos sobre los bioindicadores utilizados tanto en la metodología activa (rábano, haba) como en la pasiva (comunidad de líquenes crustáceos, foliáceos, y fruticulosos), y un estudio no probabilístico para la metodología pasiva, los forófitos utilizados en la metodología pasiva se seleccionaron a criterio personal realizando un trabajo in situ y basándose en la accesibilidad y presencia de los líquenes en las áreas de monitoreo.

3.1. Área de Estudio

La zona de estudio abarcó el cantón Cuenca, perteneciente a la provincia del Azuay, el mismo que se encuentra ubicado a una elevación aproximada de 2500 m.s.n.m., su clima varía con temperaturas que van entre los 14 °C a 18 °C. El cantón Cuenca está conformado por 15 parroquias urbanas y 21 rurales su extensión territorial es de aproximadamente 8,639 km²

Según el censo de población y vivienda realizado por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) en el año 2010, el cantón Cuenca tiene una población aproximada de 505 585 habitantes, del cual el 66 % se concentra en la cabecera cantonal y el 34 % restante está

distribuida en las parroquias rurales (Riera, 2017). También, de acuerdo con el último inventario de emisiones del cantón Cuenca del año 2014, elaborado por la EMOV EP en el año 2016, las fuentes de contaminación de mayor importancia son el tráfico vehicular que representan el 9,5 % de emisiones contaminantes de monóxido de carbono.



*Figura 1. Ubicación del cantón Cuenca en el Ecuador.
Fuente: Elaboración propia*

3.2. Ubicación de los puntos a monitorear

El área de estudio para la realización del presente trabajo se seleccionó según los lugares en dónde se encuentran las estaciones de monitoreo de la calidad de aire de Cuenca de la EMOV, en la figura N° 2 se puede observar las estaciones, para posteriormente relacionar con los datos obtenidos de los monitoreos tanto activo como pasivo, las plantas empleadas como bioindicadores se colocaron próximas a las estaciones mencionadas.

Se seleccionaron estos lugares por ser zonas que están cerca de actividades industriales, parques, alejadas de la ciudad, donde existe mayor tráfico vehicular.

En el caso de los dos lugares seleccionados en las zonas rurales no cuentan con estaciones de monitoreo de la EMOV, sin embargo, estos se seleccionaron, en el caso de Tarqui, debido a la presencia de haciendas lecheras y por ser una zona agrícola y pecuaria (Zhañay, 2015) y Baños por ser zona turística debido a sus aguas termales (Cando, 2016) y por tales razones en ambos lugares existe mayor afluencia vehicular.

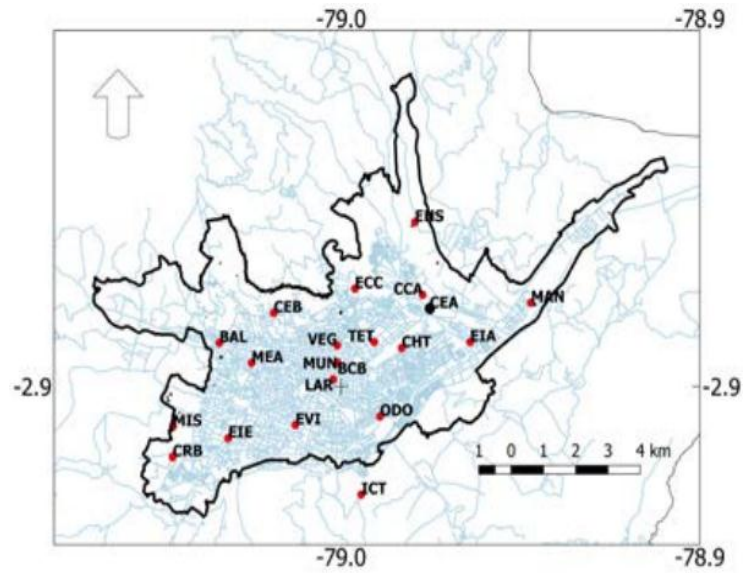


Figura 2. Localización de las estaciones de la Red de Monitoreo de la Calidad de Aire de Cuenca
Fuente: EMOV EP

La tabla N° 6 indica los códigos y la ubicación correspondiente de las estaciones de monitoreo de la EMOV



Tabla 6 Código y ubicación de las estaciones de monitoreo

Código EMOV	Nombre de la estación	Ubicación
MAN	Machángara	Jardines del río y calle Londres
EIA	Escuela Ignacio Andrade	Reino de Quito y Avenida González Suárez
EHS	Escuela Héctor Sempértegui	Camino a Ochoa León
CHT	Colegio Herlinda Toral	Altar Urco y Avenida Paseo de los Cañaris
TET	Terminal Terrestre	Avenidas Madrid y España
ECC	Escuela Carlos Crespi II	Calle de la Bandolia y Calle del Arpa
ODO	Facultad de Odontología Universidad de Cuenca	Avenida Pasaje de Paraíso y Avenida 10 de agosto
EVI	Escuela Velasco Ibarra	Avenida Felipe Segundo y Avenida Isabel Católica
MEA	Mercado El Arenal	Avenida Remigio Crespo y Avenida de las Américas
BAL	Balzay CEA - Universidad de Cuenca	Avenida Ordoñez Laso y Avenida Cerezos
CRB	Colegio Rafael Borja	Vía a Baños
VEG	Vega Muñoz	Vega Muñoz y Luis Cordero
CCA	Colegio Carlos Arízaga Vega	Calle J. Lavalle y Calle A. Ricaurte
MUN	Municipio	Calle Simón Bolívar y Calle presidente Borrero
EIE	Escuela Ignacio Escandón	Avenida Loja y Calle Ignacio de Rocha
BCB	Estación de Bomberos	Calle Presidente Córdova y Luís Cordero
LAR	Calle Larga	Calle Larga y Borrero
ICT	Antenas de Ictocruz	Camino a Ictocruz

CEB	Cebollar	Calle del Cebollar
MIS	Misicata	Calle Carmela Malo

Fuente: EMOV (2019).

A continuación, se detallan los puntos monitoreados y su ubicación, además de las estaciones de la EMOV EP con las que se compararon los resultados obtenidos.



Figura 3. Localización de los puntos monitoreados en el Cantón Cuenca

Fuente: Elaboración propia

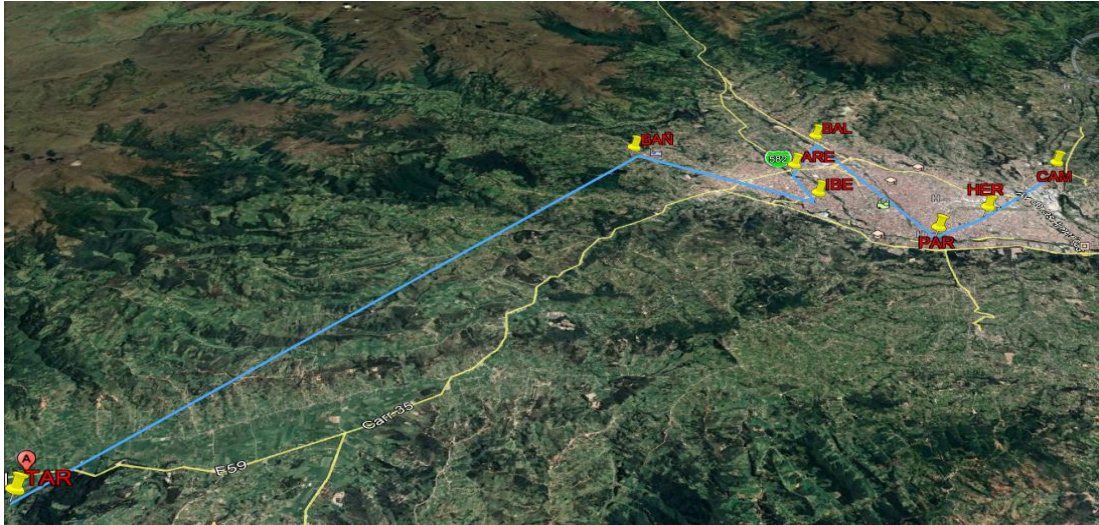


Figura 4 Disposición de los puntos monitoreados

Fuente: Elaboración propia

La tabla N°7 detalla la dirección de las distintas zonas de monitoreo del presente estudio junto a las estaciones de la EMOV con las cuales se van a comparar.

Tabla 7. Ubicación de los puntos de monitoreo

CÓDIGO DE ESTUDIO DE BIOMONITOREO	NOMBRE DE LOS PUNTOS	UBICACIÓN	ESTACIÓN A COMPARAR (EMOV-PUNTOS)
ARE	El Arenal	Av. de las Américas y Primero de Mayo	MEA
BAL	Balzay	Av. de los Cerezos y calle Víctor Manuel Albornoz	BAL



BAÑ	Baños	Calle del Calvario, sector Guadalupano Alto	---
CAM	El Camal	Av. de los Migrantes y calle Javier Maldonado	EHS
HER	Herlinda Toral	Paseo de los Cañaris y Río Jubones	CHT
IBE	Parque Iberia	Av. Don Bosco y calle Fray Luis de León	EVI
PAR	Parque Paraíso	Av. Diez de Agosto y Pje. del Paraíso	ODO
TAR	Tarqui	Ruta E59, sector Gasolinera PVD Tarqui	---

Fuente: EMOV, 2019

3.3. Metodología Activa

Consiste en un biomonitoreo basado en el traslado de especies seleccionadas (*R. sativus* y *V. faba*) al área a monitorear por un tiempo limitado (Ștefănuț et al., 2021). Para desarrollar esta metodología se realizó el siguiente procedimiento: selección de especies, cultivo de las plantas, frecuencia de revisión y análisis comparativos, los cuales se describen a continuación.



3.3.1. Selección de especies

Es importante seleccionar especies que sean sensibles ante ciertas condiciones atmosféricas, ya que con ellos resultará más fácil identificar las condiciones ambientales de un lugar.

Para esta metodología se utilizó *Raphanus sativus* debido a su rápido ciclo de crecimiento que está entre 30 a 34 días, además debido a los cambios que sufre, tanto en su morfología como en su fisiología al ser expuesto a contaminantes, es empleado como bioindicador de estrés ambiental, en especial de contaminantes atmosféricos. Las características que se deben tomar en cuenta son el tamaño de hojas, hipocótilo y raíces. También presenta sensibilidad a O₃, SO₂ y NO₂ (Zeballos et al., 2006)

Además de *R. sativus*, se utilizó *Vicia faba* para el monitoreo, esto por ser un buen indicador de presencia de contaminación, debido a su alto requerimiento de humedad sus estomas se abren y permiten un ingreso mayor de contaminantes atmosféricos en su cuerpo, por esta razón es aplicada para evaluar la presencia de SO₂ y O₃. Para poder determinar de forma visual la presencia de estos contaminantes se analizan características como: daño foliar por la aparición de manchas de forma irregular, cloróticas y necróticas, disminución de su crecimiento y biomasa. Podrán ser expuestas 2 o 3 semanas después de su siembra (Zeballos et al., 2006)

3.3.2. Cultivo de las plantas

Para la metodología activa se adquirieron semillas de empaques sellados y certificadas, para evitar que sean afectadas por la humedad o cualquier contaminación que se pudiera producir y de esta forma garantizar resultados homogéneos, con una pureza del 98 % y germinación del 85 % en cuanto a *Vicia Faba* y del 99,5 % pureza y 99 % de germinación de *R. Sativus*. Se realizó la siembra de todas las plantas, se sembraron 6 semillas de cada

especie en cada maceta, las mismas se colocaron en un lugar alejado de los puntos a monitorear para evitar que éstas sean afectadas por las condiciones atmosféricas durante su crecimiento antes de cumplir con su función. Para la siembra se emplearon macetas plásticas juntamente con cordones de algodón incrustados en la base para mantener la humedad de las plantas durante el periodo de germinación de las semillas, las mismas se colocaron sobre baldes de agua para evitar la falta de esta, lo mencionado se puede visualizar en la Figura 5.

Una vez que las plantas alcanzaron su crecimiento óptimo (transcurridas dos semanas) se procedió a llevar las especies para su exposición en las zonas de monitoreo del cantón, las macetas debían tener 3 individuos de cada especie respectivamente debido a que si tenían más individuos se procedían a quitar los restantes con la finalidad de que queden solo 3, esto se hizo con el propósito de que las especies se desarrollen adecuadamente debido al espacio de la maceta. Se colocaron dos macetas en cada punto en una estructura de madera (una planta de cada especie) a una altura de dos metros aproximadamente, para protegerlas de la influencia de los rayos UV y el exceso de lluvia se colocó un techo de semisombra sobre las plantas, las mismas permanecieron en el lugar por el lapso de alrededor de 2 meses por la razón de que en este tiempo las plantas alcanzan su óptimo crecimiento como se muestra en la Figura 6 y 7 respectivamente.



a) Semillas certificadas



b) Macetas suspendidas sobre baldes de agua



c) Cordón incrustado para mantener humedad



d) Estructura para colocar macetas



a) Plantas en punto de monitoreo

Figura 5. Implementos utilizados

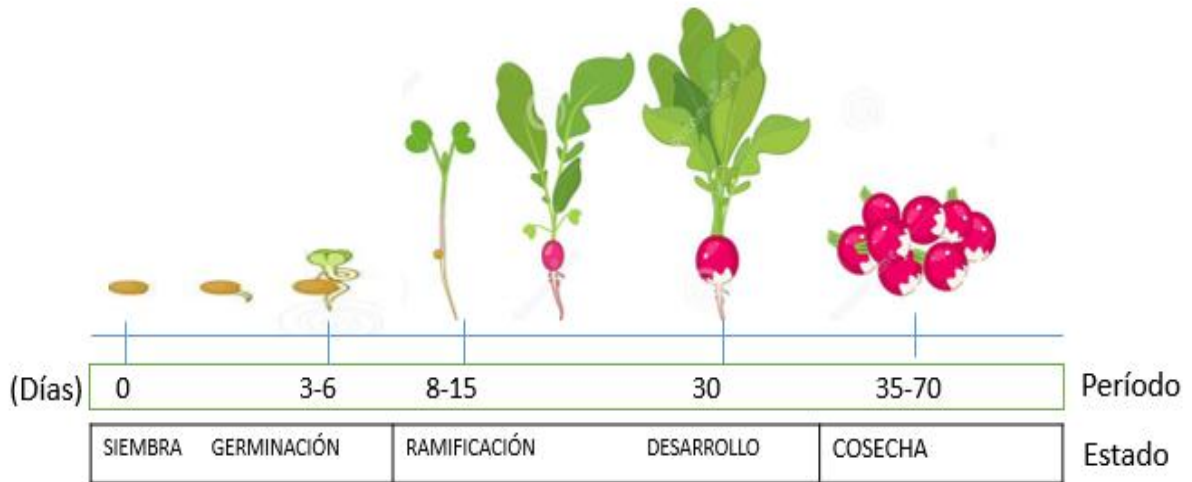


Figura 6. Etapas de crecimiento de *R. Sativus*.

Fuente: (Lauyana, s. f.), (Crecimiento del rábano » ¿Cómo crece el rábano?, s. f.)

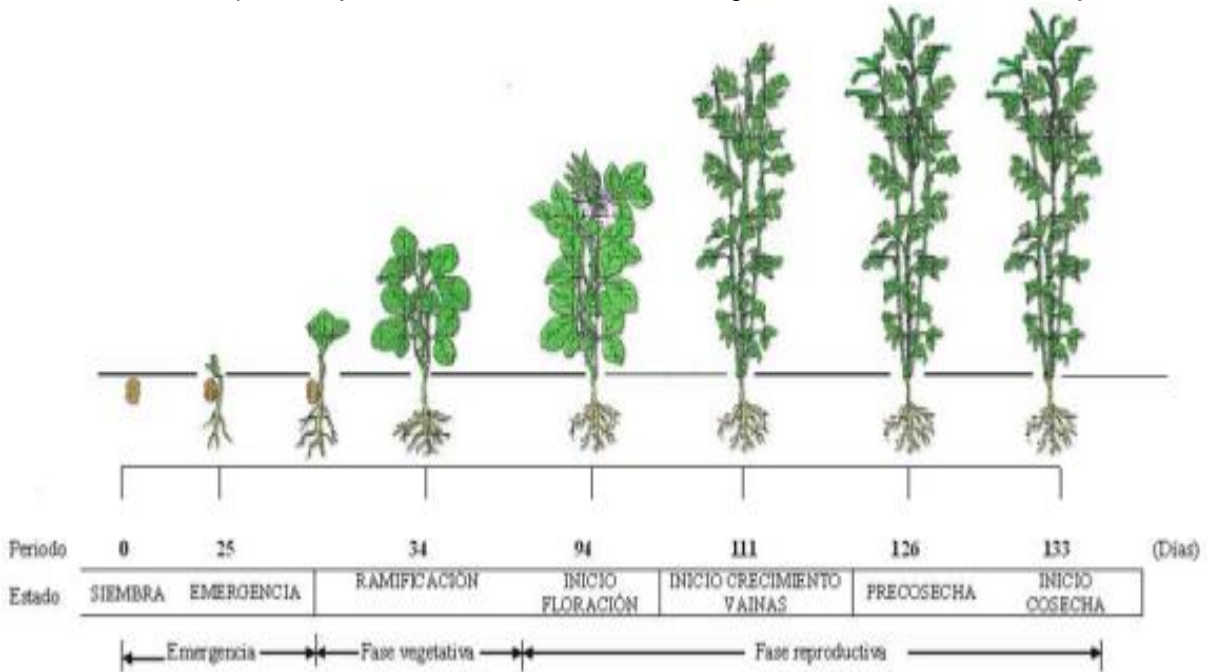


Figura 7. Etapas de crecimiento de *Vicia Faba*

Fuente: (Delgado., 2017)



3.3.3. Frecuencia de revisión de plantas

La revisión de las plantas se realizó una vez por semana, aproximadamente cada seis días, para de esta manera asegurar que no haya ningún inconveniente como falta de agua o exceso de esta. En la tabla 8 se observa las fechas de cada revisión

Tabla 8. Frecuencia de revisión de plantas

Marzo 2021				
Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
22	23	24	25	26
29	30	31		
Abril 2021				
Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
5	6	7	8	9
12	13	14	15	16
19	20	21	22	23
26	27	28	29	30
Mayo 2021				
Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
3	4	5	6	7
10	11	12	13	14

3.3.4. Análisis comparativo

Para determinar las alteraciones producidas en los bioindicadores se realizó un análisis visual de las plantas de todos los puntos y posteriormente se comparó las características propias de cada especie, descritas en las tablas 9 y 10, con los cambios presentados. Además, se determinó el peso de las especies en los distintos puntos.

3.3.4.1. Análisis comparativo para *Vicia Faba*

Para *Vicia Faba* se analizaron los cambios presentados en su morfología y los efectos ecotoxicológicos que tuvieron durante el tiempo de exposición, además se determinó su peso



húmedo con la ayuda de una balanza digital. Una vez obtenidos todos los pesos se seleccionó el valor máximo, mínimo y la media de todos ellos para posteriormente clasificarlos como bueno, regular y malo respectivamente. Esta clasificación se determinó empíricamente en base a las características principales de *Vicia faba* mencionadas en la tabla 9, para esto se seleccionó una planta que cumplía con todas estas características, es decir, mayor cantidad de folíolos y un buen desarrollo en cuanto al tamaño, la misma se pesó y su peso obtenido se tomó como base para la clasificación, de tal forma que 142 g corresponden a un peso bueno, pesos mayores o iguales a 58,5 a un peso regular y pesos menores a este valor corresponden a un peso bajo.

Finalmente se compararon los resultados entre los 8 puntos de monitoreo y se determinó el lugar con mejor calidad del aire.

Además del análisis visual se utilizó un diagrama de barras de la herramienta Excel, estos resultados se obtuvieron haciendo un diagrama de Concentración del SO_2 vs el número de folíolos presentes en las plantas, los datos de las concentraciones del SO_2 se adquirieron de la EMOV y con las concentraciones calculadas del IDW que se obtuvieron con la metodología pasiva para las zonas de Baños y Tarqui.

Tabla 9. Características principales de *Vicia faba* y efectos de los contaminantes

Características principales <i>Vicia faba</i>		Efectos de los contaminantes SO ₂ y O ₃
Forma del tallo	Cuadrada con aristas	- Presencia de manchas cloróticas y necróticas de forma irregular en la superficie foliar. - Disminución de su tasa de crecimiento (Anze et al., 2007).
Color del tallo	Verde en la base y violáceo en el ápice	
Altura que puede alcanzar la planta	De 1,4 hasta 1,6 metros	
Color del Follaje	Verde pálido	
Número de foliolos (se encuentran formando la hoja)	De 2 a 4	

Fuente (Perugachi, 2017).

Elaboración propia

3.3.4.2. Análisis comparativo para *R. Sativus*

En cuánto ha *R. Sativus*, se comparó con las características de la tabla 10, al igual que para *Vicia faba*, se analizaron las plantas de todos los puntos de forma visual y se observaron los cambios presentados tanto en sus raíces como en sus hojas, además se determinó su peso húmedo, una vez obtenidos todos los pesos se seleccionó el valor máximo, mínimo y la media de todos ellos para posteriormente clasificarlos como bueno, regular y malo respectivamente. Esta clasificación se determinó empíricamente en base a las características



principales de *Raphanus sativus* mencionadas en la tabla 10, para esto se seleccionó una planta que cumplía con todas estas características, es decir, mayor cantidad hojas y un buen desarrollo del fruto, la misma se pesó y su peso obtenido se tomó como base para la clasificación, en donde 76 g corresponden a un peso bueno, pesos mayores o iguales a 39,5 corresponden a un peso regular y pesos menores a este valor corresponden a un peso bajo.

Finalmente se compararon los resultados entre los 8 puntos de monitoreo y se determinó el lugar con mejor calidad del aire.

Además del análisis visual se utilizó un diagrama de barras de la herramienta Excel, estos resultados se obtuvieron haciendo un diagrama con la concentración del NO₂ vs el peso húmedo de las plantas, los datos de las concentraciones del NO₂ fueron adquiridas de la EMOV y con las concentraciones calculadas del IDW que se obtuvieron con la metodología pasiva para las zonas de Baños y Tarqui.

Tabla 10. Características principales *R. Sativus* y los efectos de los contaminantes

Características principales <i>R. Sativus</i>		Efectos de los contaminantes O₃, SO₂ y NO₂
Sistema Radicular	Raíz carnosa de color rojizo rosada	- Cambios en el tamaño de hojas, hipocótilo y raíces, -Alteración de la biomasa, el cual constituye el mayor bioindicador de contaminación para rábano (Anze et al., 2007).
Hojas	Basales, pecioladas, de 1 a 3 pares de hojas	
Fruto	De 3 a 10 cm de longitud	



	Color rosado o castaño claro	
--	------------------------------	--

Fuente (Perugachi, 2017).

Elaboración propia

3.4. Metodología Pasiva

Es útil para evaluar la calidad del aire, incluidas las concentraciones de metales pesados en la atmósfera. (Świsłowski et al., 2021). En la metodología pasiva se usan especies propias del lugar en este caso específico se usaron la variedad de líquenes crustáceos, foliáceos y fruticulosos y se aplicó la técnica conocida como cartografía de líquenes para esta metodología el procedimiento fue el siguiente se realizó la selección de forófitos, identificación de especies, clasificación de especies, determinación de riqueza, Índice de Shannon y por último Índice de Pureza Atmosférica.

3.4.1. Selección de forófitos:

Para esto se procedió a hacer un recorrido por las diferentes zonas de los lugares a monitorear para identificar la presencia de líquenes, una vez que los forófitos fueron seleccionados se marcaron cada uno de ellos, para este estudio se seleccionaron 40 árboles, 5 árboles para cada punto del monitoreo activo, los forófitos seleccionados cumplieron con las sig. características: no presentar una inclinación mayor a 20 grados, tiene que poseer un tronco único hasta por lo menos los dos metros de altura, no deben estar apoyados contra edificaciones o árboles ni estar muy deteriorados por la intervención humana (Canseco et al., 2006).

Las especies arbóreas seleccionadas como forófitos se detallan en la tabla 11, así como también los lugares en los que se encuentra cada especie.



La especie predominante fue *Eucalyptus globulus* la cual se encontró presente en 5 localidades de los 8 totales.

Tabla 11. Especies seleccionadas como forófitos en los puntos de monitoreo

LUGAR	ESPECIE	
	Nombre Científico	Nombre común
BAÑOS	<i>Eucalyptus Globulus</i>	Eucalipto
BALZAY		
EL ARENAL		
CAMAL		
PARQUE PARAÍSO		
TARQUI	Pinus	Pino
HERLINDA	<i>Populus Alba</i>	Álamo
PARQUE IBERIA		

3.4.2. Identificación de especies de líquenes

Una vez que los forófitos fueron seleccionados se procedió a realizar la identificación de líquenes, para esto se aplicó la norma VDI-3799 (cartografía de líquenes), para realizar esto se utilizó una rejilla de levantamiento la misma que estuvo conformada por un total de 10 cuadrantes cuyas medidas fueron de 10x10 cm, esta se ubicó en posición vertical sobre el tronco, la rejilla estuvo situada a una altura entre los 1,50m del suelo a 2 m aproximadamente esto fue porque hasta esa altura los contaminantes atmosféricos perjudican la salud de las personas, la rejilla se colocó en la zona del forófito en donde se encuentre la mayor cantidad de líquenes (Canseco et al., 2006).



Figura 8. Rejilla de levantamiento

3.4.2.1. Clasificación de los líquenes

La clasificación líquénica se realizó en base a la Guía rápida de líquenes de las Islas Galápagos, según su forma de crecimiento de las cuales se distinguen tres principales: crustáceo, foliáceo, y fruticuloso (Bungartz et al., 2013). En la Figura N° 9 se observa los tipos de crecimiento en el cual nos basamos para la clasificación.





Crustáceo	Foliáceo	Fruticuloso
<i>Buellia galapagona</i>	<i>Parmotrema dominicanum</i>	<i>Cladonia confusa f bicolor</i>

Figura 9. Tres tipos de crecimiento de los líquenes.

3.4.2.2. Determinación de riqueza de especies

Se procedió con la determinación de la riqueza de especies, para esto se calculó la frecuencia de cada especie a la que estuvo expuesta en el forófito, se realizó en todas las zonas de monitoreo, tomando como base el número de cuadrantes en donde se encontraba cada especie teniendo como significado al cero la ausencia de especies y diez siendo la frecuencia máxima, para la identificación de la frecuencia de las especies presentes se utilizó una lupa y cámara fotográfica de 13 Mpx (Pla, 2006).

3.4.3. Determinación del Índice de Shannon

Se procedió a calcular el índice de Shannon, el cual permite cuantificar la diversidad de especies, dicho índice considera la abundancia de especies y la frecuencia relativa de dichas especies (Pla, 2006). El factor que se necesita para poder determinar el índice es P_i , en donde P_i significa la abundancia relativa, la cual explica la proporción de individuos de una especie sobre el número total de individuos encontrados (Moreno, 2001).

$$H = - \sum_{i=1}^s p_i * \ln(p_i) \quad (2)$$

3.4.4. Determinación del IPA

Se procedió a calcular el IPA tanto de cada árbol como de cada una de las zonas de monitoreo, el IPA de cada árbol se calculó mediante la sumatoria de todas las frecuencias de líquenes que estuvieron presentes en la malla del forófito expuesto, se aplicó la siguiente fórmula en donde F equivale al número de cada especie ocupada en los cuadrados de la



rejilla de relevamiento; mientras que el IPA de cada zona se calculó mediante el promedio de los IPA de cada forófito (Estrabou et al., 2011).

Una vez obtenidos todos los valores de IPA se seleccionó el valor máximo, mínimo y la media de las zonas monitoreadas para posteriormente clasificarlos como bueno, regular y malo respectivamente, en donde 22,8 corresponden a un IPA alto, valores mayores o iguales a 16,3 corresponden a un IPA regular y valores menores a este valor corresponden a un IPA bajo.

$$IPA \text{ \acute{a}rbol} = \Sigma F (1)$$

3.4.5. Análisis espacial de las especies de líquenes

Esto se realizó mediante el software ArcMap versión 10.4.1; aquí se aplicó la técnica IDW que al momento de trabajar con valores de contaminación atmosférica resulta ser la más efectiva (Wong et al., 2004), se procedió a realizar una extrapolación basándose en los resultados conseguidos del IPA en cada zona de monitoreo relacionándose con el cantón Cuenca.

3.4.5.1. Interpolación de contaminantes atmosféricos

En la ciudad de Cuenca se encuentran datos de la red de monitoreo de la EMOV EP estos datos se encuentran desde el año 2008 hasta 2019, para esta interpolación se tomaron en consideración los contaminantes: SO₂, NO₂, y PS (EMOV EP, 2018) debido a que tienen mayor influencia en el crecimiento de los líquenes (Hawksworth et al., 2005); se realizó una tabla con los valores de cada estación de la red de monitoreo de los tres contaminantes antes mencionados seguido de una interpolación en el software ArcMap versión 10.4.1 mediante el método IDW que resulta ser el más adecuado al momento de interpolar espacialmente datos de calidad de aire (Wong & Perlin, 2004); esto se realizó con el objetivo de obtener las concentraciones de SO₂, NO₂ y PS en las ocho zonas de muestreo del estudio.



4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Metodología Activa

Una vez realizado el análisis visual y comparativo tanto de *Vicia faba* como de *R. Sativus*, se determinaron todos los cambios producidos en estas dos especies y se compararon con los diferentes puntos de exposición.

4.1.1. Análisis Comparativo de *Vicia faba* en todos los puntos de exposición

En la siguiente tabla se muestran los resultados que *Vicia faba* presentó al ser expuesta en los puntos de monitoreo.

Tabla 12. Análisis Comparativo de *Vicia faba* en todos los puntos de exposición

Punto Biomonitorio	Peso húmedo (g)	Tallo (grosor y color)	Foliolos (cantidad)	Signos de fitotoxicidad		Crecimiento (tamaño)
				Manchas tallo	Manchas hojas	
ARE	45	Todos presentaron un buen estado en cuanto a color, pero con tallos delgados	Dos individuos presentaron una cantidad menor	En dos	En todos	El desarrollo de los individuos fue bueno y sus pesos húmedos bajos.
BAL	61	Todos presentaron un buen estado	Los tres individuos presentan la mayor cantidad de foliolos	No	En uno	El desarrollo de los individuos fue bueno al igual que sus pesos húmedos.
BAÑ	99	Todos presentaron un buen estado	Los tres individuos presentan la mayor cantidad de foliolos	En uno	En todos	El desarrollo de los individuos fue bueno, así como sus pesos húmedos.



CAM	142	Todos presentaron un buen estado	Los tres individuos presentan la mayor cantidad de foliolos	No	No	El desarrollo de los individuos fue bueno y sus pesos húmedos altos, es decir, buenos.
HER	52	Todos presentaron un color y grosor regulares	Los tres individuos presentan la mayor cantidad de foliolos	En dos	En todas	El desarrollo de los individuos fue regular y sus pesos húmedos bajos.
IBE	50	Todos presentaron un buen estado	Los tres individuos presentan la mayor cantidad de foliolos	En uno	En uno	El desarrollo de los individuos fue bueno y sus pesos húmedos bajos.
PAR	56	Todos presentaron un color y grosor regulares	Los tres individuos presentaron una cantidad regular de foliolos	En uno	En uno	El desarrollo de los individuos fue regular y sus pesos húmedos bajos.
TAR	117	Todos presentaron un buen estado	Los tres individuos presentan la mayor cantidad de foliolos.	No	En todas	El desarrollo de los individuos fue regular, sin embargo, sus

						pesos húmedos fueron buenos, con un valor alto.
--	--	--	--	--	--	---

En la tabla 12 se puede observar que *Vicia Faba* tuvo un mejor desarrollo en el punto CAM en cuanto a su crecimiento y cantidad de folíolos, sus tallos se encontraron en buen estado en lo referente a grosor y color al igual que sus hojas, las cuales no mostraron manchas, así mismo presentaron el mayor peso húmedo en relación con los otros puntos (Figura 10).

Por otro lado, en el punto ARE, *Vicia Faba* presentó tallos delgados con manchas al igual que en las hojas, además una menor cantidad de folíolos, sin embargo, su desarrollo en cuanto a crecimiento fue bueno, pero con un peso húmedo de bajo valor (Figura 11).



Figura 10. *Vicia Faba* del punto CAM



Figura 11. Vicia Faba del punto Are

En la figura 12, se observa que la zona de menor concentración de SO_2 fue el mercado El Arenal, así mismo presentó la menor cantidad de folíolos, mientras que la zona con mayor concentración resultó ser el Camal, esta a su vez presentó la mayor cantidad de folíolos.

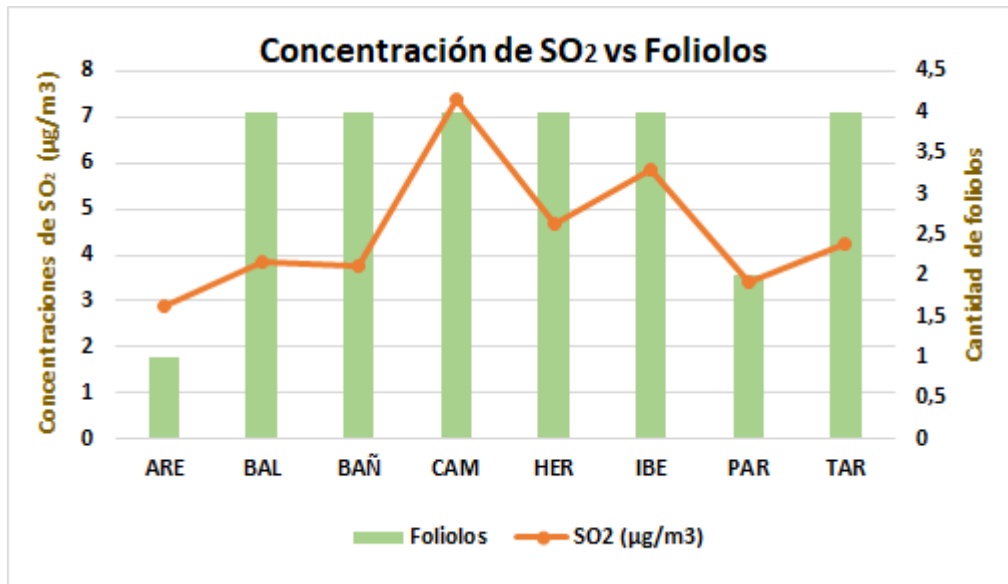


Figura 12. Concentración de SO_2 vs folíolos



4.1.2. Análisis Comparativo de *R. Sativus* en todos los puntos de exposición

En la tabla N° 13 se muestra un análisis comparativo del desarrollo de *R. sativus* en los distintos puntos de monitoreo.

Tabla 13. Análisis Comparativo de *R. Sativus* en todos los puntos de exposición

Punto	Peso húm. (g)	Raíz carnosa, rojiza	Hojas		Fruto	Crecimiento del individuo
			Sanas	Cantidad		
ARE	22	Dos	Uno	Menor	No	El desarrollo de los individuos fue deficiente y sus pesos bajos.
BAL	41	Todos	Dos	Regular	Dos	El desarrollo de los individuos fue regular al igual que sus pesos.
BAÑ	19	Todos	Todas	Menor	No	El desarrollo de los individuos fue regular y sus pesos bajos.
CAM	52	Todos	Todas	Mayor	Todos	Los individuos se desarrollaron de manera correcta y sus pesos fueron buenos.
HER	76	Dos no	Ninguno	Mayor	Todos	Los individuos tuvieron un buen desarrollo y buenos pesos.
IBE	40	Todos	Dos	Mayor	Uno	Los individuos se desarrollaron de forma regular al igual que sus pesos.
PAR	39	Uno no	Todas	Menor	Dos	Los individuos se desarrollaron de forma regular y sus pesos fueron bajos.

TAR	34	Todos	Todas	Mayor	Dos	Los individuos se desarrollaron de forma regular y sus pesos fueron bajos.
------------	----	-------	-------	-------	-----	--

Por otra parte, en la tabla 13, se puede que observar que *R. Sativus* tuvo un buen desarrollo en cuanto a crecimiento en el punto HER, a pesar de esto dos individuos mostraron raíces delgadas, también presentó la mayor cantidad de hojas y no precisamente sanas, además todos los individuos desarrollaron frutos y por lo tanto su peso fue el más alto en comparación con los otros puntos (ver figura 13).

Por el contrario, el punto en dónde *R. Sativus* tuvo un bajo desarrollo fue en el punto ARE, en donde dos individuos no desarrollaron raíces carnosas ni la mayor cantidad de hojas, y no presentaron frutos, así mismo tuvo el peso más bajo de todos los puntos (figura 14).



Figura 13. *R. Sativus* en HER



Figura 14. *R. Sativus* en ARE

En la figura 15, se puede observar que para el NO_2 los resultados son diferentes pues la zona con mayor concentración de contaminantes fue el punto del mercado El Arenal, así mismo su peso húmedo fue bajo, en cambio la zona con menor concentración de contaminante fue El Camal, pero su peso húmedo también fue alto.

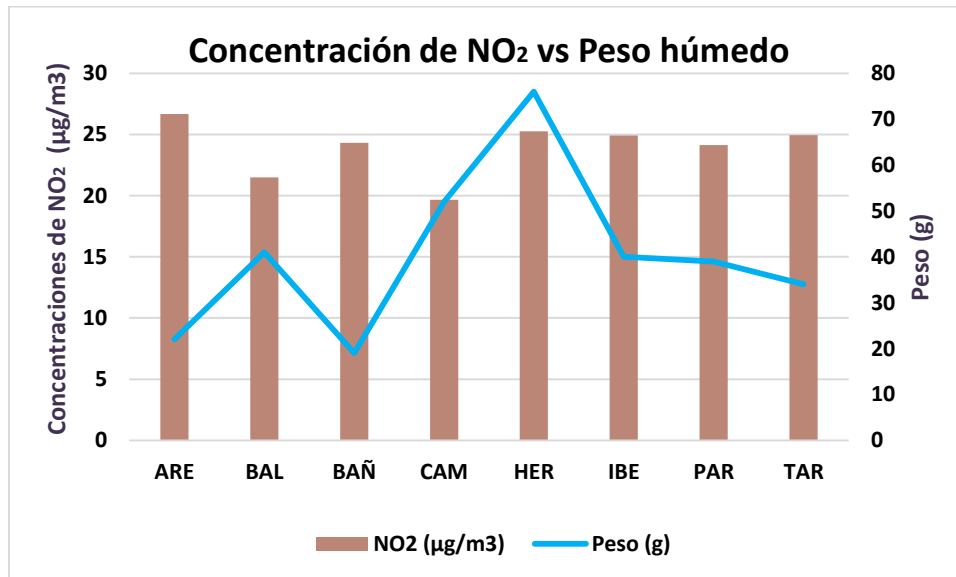


Figura 15. Concentración de NO_2 vs peso húmedo

En base a lo expuesto anteriormente se puede observar que *R. Sativus* fue la especie que



mayor alteración presentó debido a que su desarrollo fue regular en la mayoría de los puntos y en la mitad de los mismo, sus pesos fueron bajos.

4.2. Metodología Pasiva

Luego de realizar el levantamiento de información, clasificación y los respectivos cálculos sobre los líquenes presentes en todos los puntos de monitoreo se obtuvieron los siguientes resultados:

4.2.1. Valores del Índice de Shannon-Wiener

Entre los valores del índice de diversidad (Índice de Shannon-Wiener), se encuentra que la zona de Balzay tiene un mayor índice este corresponde al valor de 1,043, mientras que en la zona del Colegio Herlinda Toral muestra un valor de 0,097 que representa el índice menor el cual significa que tiene una menor diversidad de especies. En la tabla 14, se detallan los valores de la diversidad de todas las zonas monitoreadas.

Tabla 14. Valores de la diversidad

Zona	Diversidad
Baños	1,021
Tarqui	0,951
Iberia	0,687
Arenal	0,506
Paraíso	0,755
Herlinda	0,097
Camal	0,898
Balzay	1,043

4.2.2. Índice de Pureza Atmosférica

Una vez analizado el índice de pureza atmosférica de cada árbol muestreado y posteriormente el IPA de la zona correspondiente, en la tabla 15, se observa que la zona que



presenta la mayor pureza atmosférica es la zona de Balzay con un índice de 22,8 lo que indica una mayor presencia de líquenes, mientras que la zona que presenta el menor índice es El Arenal con un índice de 9,8 esto indica una menor presencia de líquenes. En la tabla 15, se detalla los valores del IPA de cada zona.

Tabla 15. Índice de pureza atmosférica

Zona	IPA
Baños	17,4
TARQUI	15,2
IBERIA	15,8
ARENAL	9,8
PARAISO	13,6
HERLINDA TORAL	10,2
CAMAL	15,6
BALZAY	22,8

4.2.3. Análisis espacial de líquenes

En la figura 16, se visualiza el mapa con los datos extrapolados del IPA para las zonas monitoreadas del Cantón Cuenca, en donde se observa que el valor más alto de IPA se encuentra en la zona de Balzay y el valor más bajo se halla en la zona del Mercado el Arenal

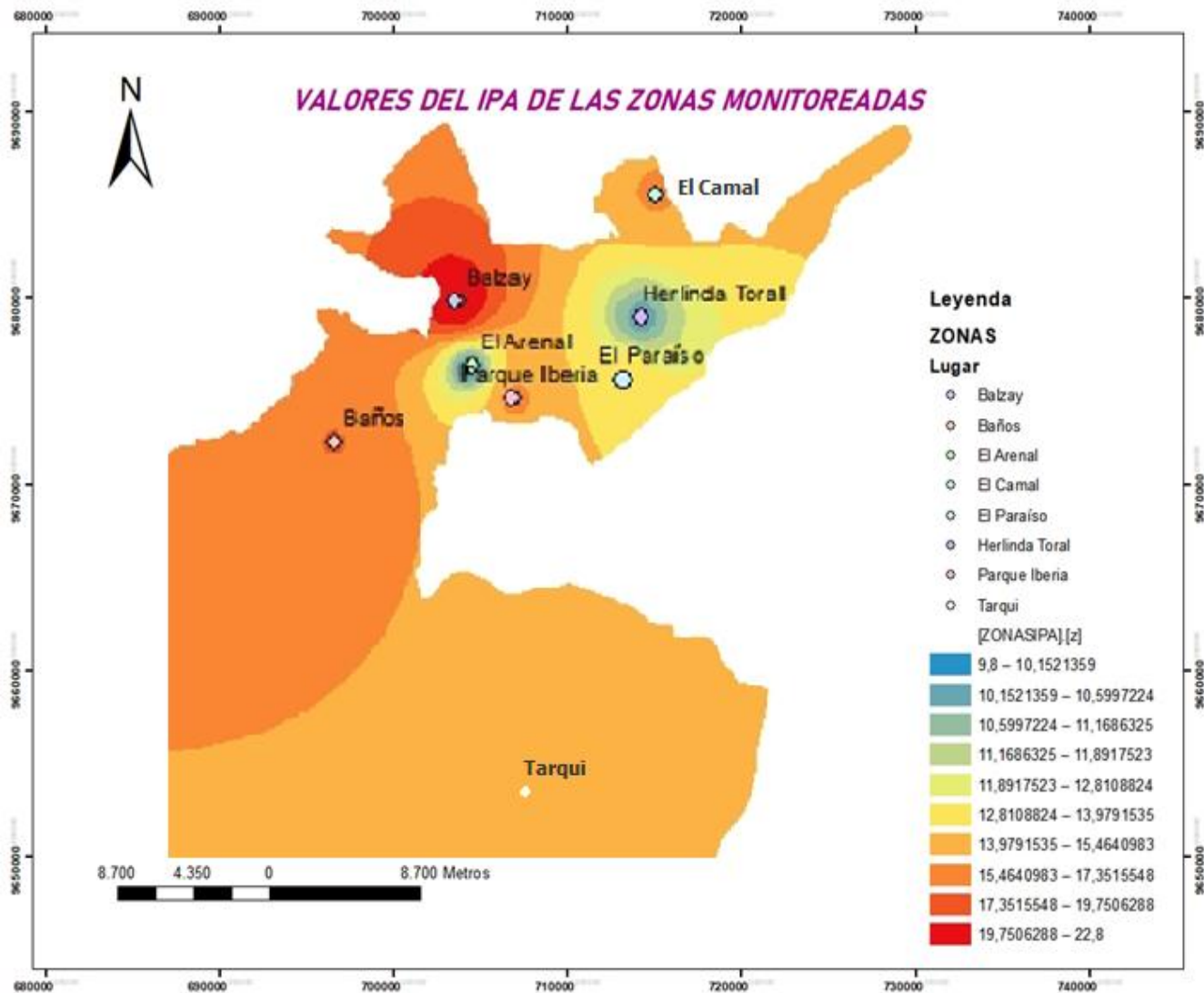


Figura 16. Valores del IPA de las zonas monitoreadas

Fuente: Elaboración propia

4.2.4. Concentración de contaminantes atmosféricos en las zonas de estudio

La tabla 16, indica la concentración promedio anual de contaminantes extraídos de los datos de la EMOV en las diferentes zonas expuestas en el monitoreo.

Tabla 16. Concentración de contaminantes atmosféricos

ESTACIÓN EMOV EP (Normativa vigente)	O ₃ (µg/m ³)	SO ₂ (µg/m ³)	NO ₂ (µg/m ³)	PS (mg/cm ²)
	(en 8 horas: 100)	(en 24 horas: 125)	(anual: 40)	(durante 30 días: 1)
MEA	36.99	2.88	26.67	0.19
BAL	38.00	3.84	21.49	0.15
EHS	40.57	7.39	19.66	0.30
CHT	41.40	4.66	25.26	0.15
EVI	41.40	5.84	24.93	0.18
ODO	42.54	3.42	24.14	0.14

4.2.4.1. Concentración del Dióxido de azufre (SO₂) en las zonas monitoreadas

La figura N°17, muestra las diferentes concentraciones en las distintas zonas que fueron monitoreadas, teniendo como resultado que la zona que tiene mayor concentración de SO₂ es el Camal con una concentración de 6,939 (µg/m³), mientras que la zona de menor concentración resulto ser el Arenal con una concentración de 2,88 (µg/m³).

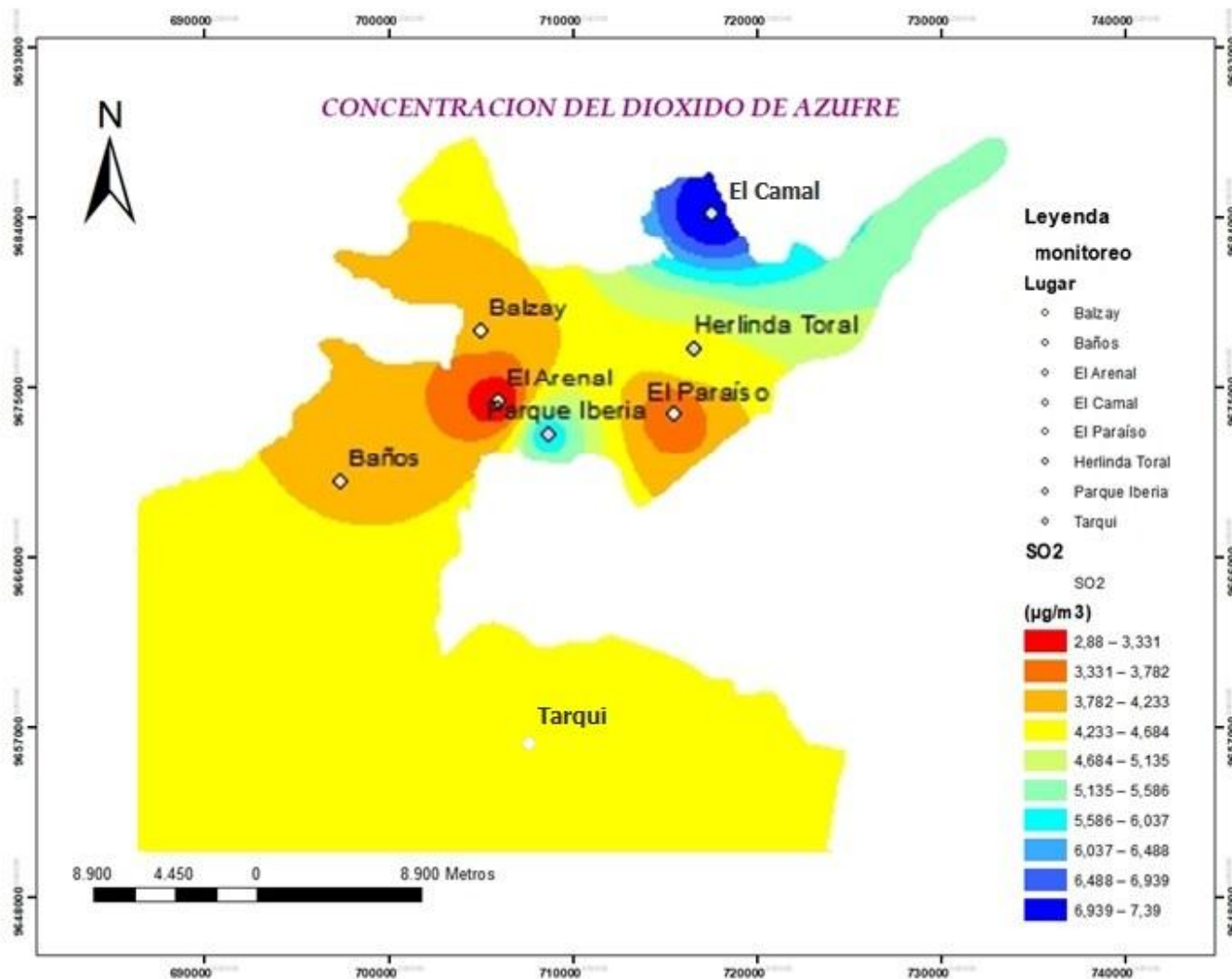


Figura 17. Concentración del Dióxido de Azufre
Fuente: Elaboración propia

4.2.4.2. Concentración del Dióxido de Nitrógeno (NO₂) en las zonas monitoreadas

La figura 18, muestra las diferentes concentraciones del NO₂, se obtuvo como resultado que la zona que tiene mayor concentración de NO₂ es la zona del mercado El Arenal con una concentración de 26,67 µg/m³, mientras que la zona de menor concentración resultó ser la zona del Camal con una concentración de 19,66 µg/m³.

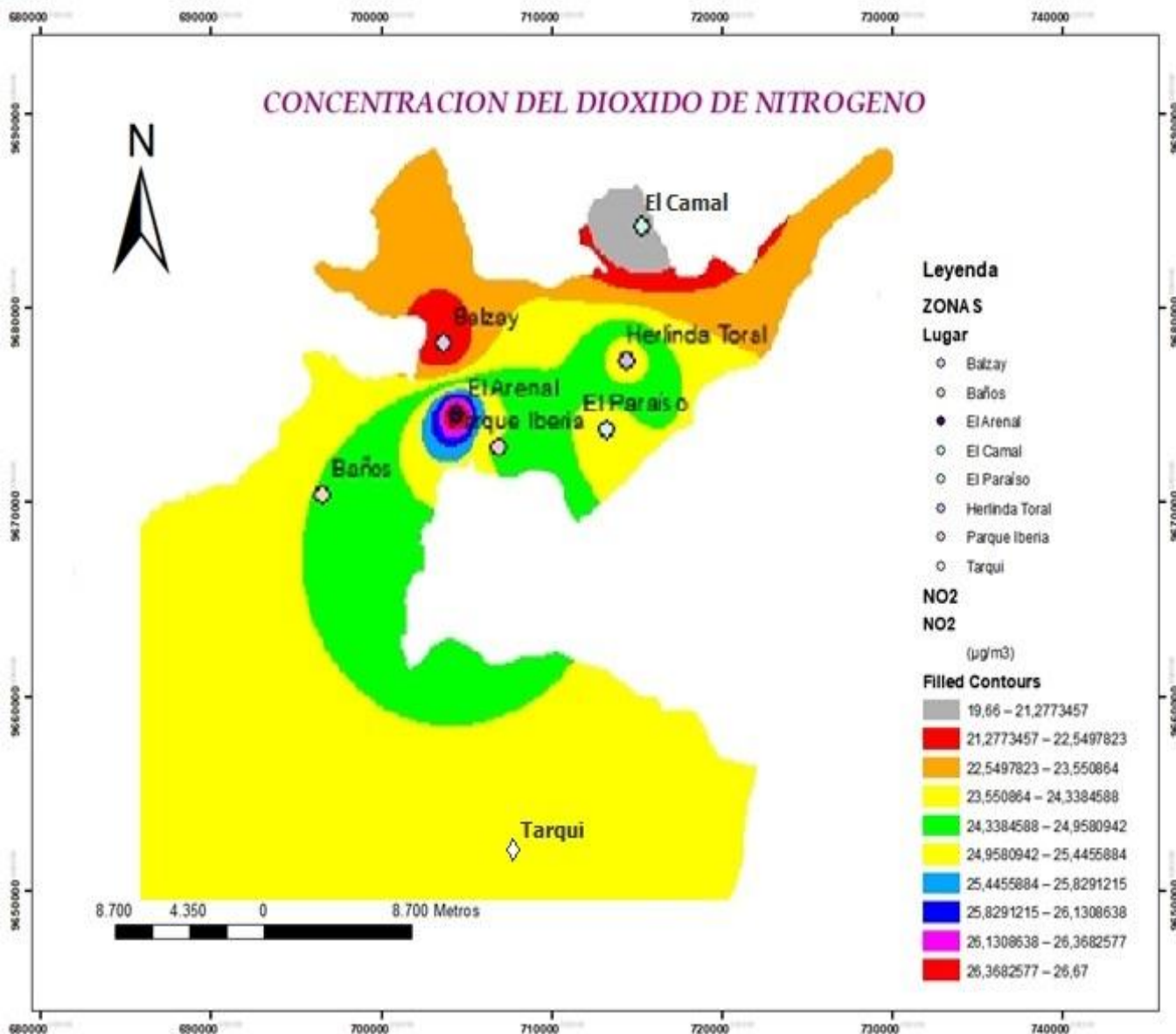


Figura 18. Concentración de Dióxido de Nitrógeno

Fuente: Elaboración propia



4.2.4.3. Concentración Partículas Sedimentables (PS) en las zonas monitoreadas

La figura 19, muestra las diferentes concentraciones de partículas sedimentables, se obtuvo como resultado que la zona que tiene mayor concentración de PS se colocó en la zona del El Camal con una concentración de $0,3 \text{ mg/cm}^2$ mientras que la zona de menor concentración resultó ser la zona del Paraíso con una concentración de $0,14 \text{ mg/cm}^2$.

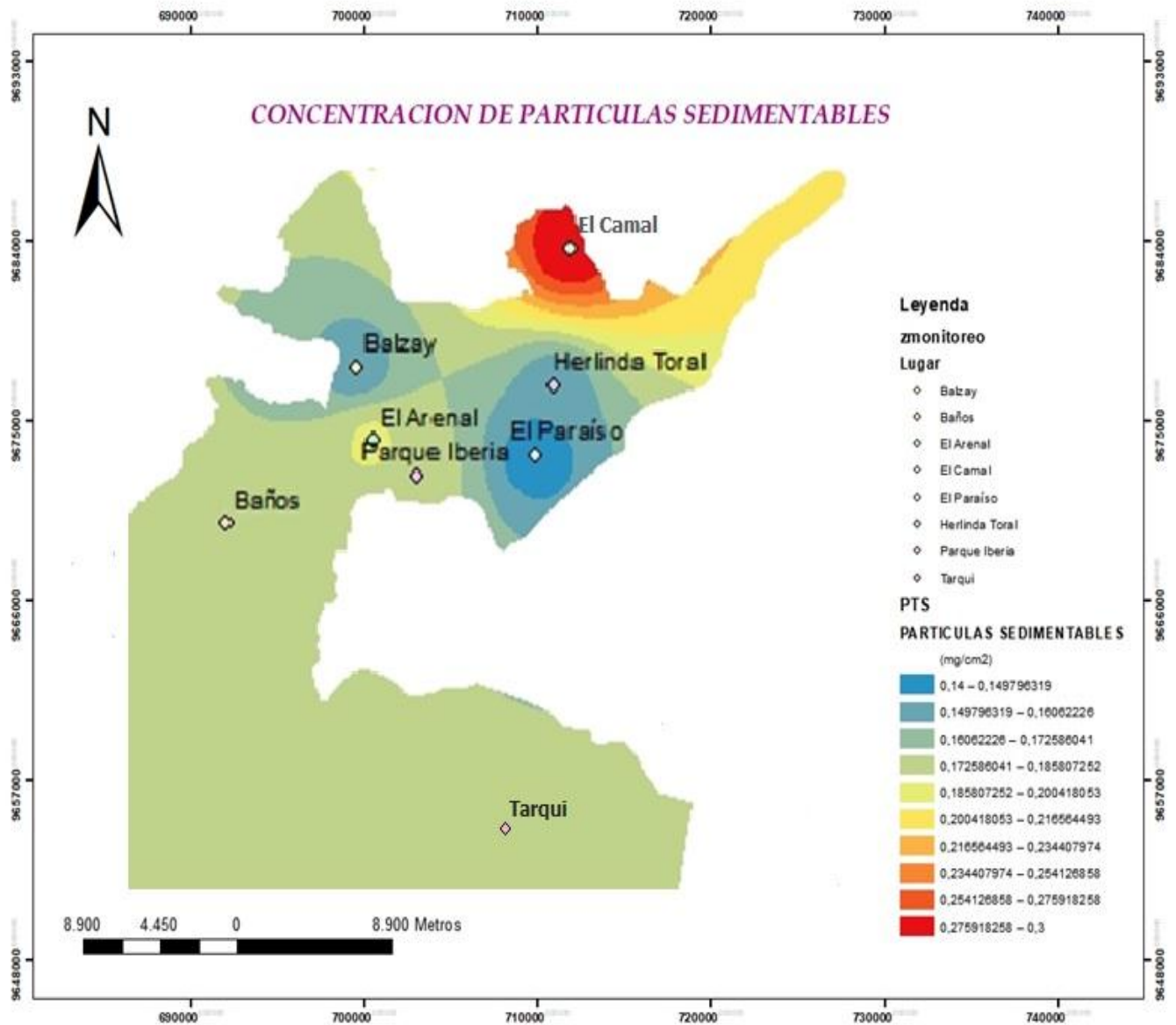


Figura 19. Concentración de partículas Sedimentables

Fuente: Elaboración propia

El biomonitoreo resulta ser una técnica factible para determinar la calidad de aire de un lugar al igual que el monitoreo con métodos físicos y químicos, en el presente trabajo se realizó de forma cualitativa pero también se lo puede realizar a nivel de laboratorio para analizar cuantitativamente las concentraciones de los contaminantes, además resulta ser menos costoso y más sencillo de ejecutarlo (Käffer et al., 2012), sin embargo, es necesario



una revisión frecuente de los bioindicadores (*R. sativus* y *Vicia faba*) para evitar que éstos sufran alteraciones por otros factores y no por contaminantes atmosféricos (Cruz, 2018).

La utilización de *R. sativus* y *Vicia faba* como bioindicadores depende de la capacidad de estos para reaccionar a ciertos contaminantes atmosféricos, y en el caso de los líquenes, de su presencia o ausencia según la especie (Hugo et al., 2011).

Al realizar un análisis comparativo con un estudio similar realizado en la ciudad de Loja en el año 2015 titulado “CAMBIOS EN LA COMPOSICIÓN DE LÍQUENES EPÍFITOS RELACIONADOS CON LA CALIDAD DEL AIRE EN LA CIUDAD DE LOJA (ECUADOR)” en donde mencionan que existe mayor calidad ambiental en las zonas alejadas de la ciudad, mientras que en zonas cercanas a la urbe sucede lo contrario y esto lo relacionaron con el tráfico vehicular (Ochoa et al., 2015), se observó que los resultados obtenidos en nuestro trabajo fueron parecidos, pues en las zonas urbanas como El Arenal y Herlinda Toral el valor del IPA fue bajo; mientras que zonas rurales como Baños y Balzay el IPA obtenido fue alto.

De igual manera en otro estudio titulado “Empleo de bioindicadores para determinar la calidad del aire en la ciudad de Tarija en puntos de muestreo de red MoniCA” realizado en el año 2017 en la ciudad de Tarija en Bolivia, emplearon las metodologías activa y pasiva, para lo cual utilizaron *Vicia faba*, *Raphanus sativus* y líquenes como bioindicadores y posteriormente analizar todas las alteraciones, en el caso de *Vicia faba* y *R. sativus*, al ser expuestos a O₃ y NO₂. En sus resultados obtuvieron un menor desarrollo y presencia de alteraciones de los individuos en zonas de mayor contaminación debido al tráfico vehicular (Cruz, 2018). Así mismo, en nuestro trabajo, en el caso de *Vicia faba* presentó manchas en sus hojas y menor cantidad de estas y *R. sativus* un bajo desarrollo en el punto de mayor contaminación.

También al analizar los datos de las concentraciones, proporcionados por la EMOV EP, de los diferentes contaminantes se puede observar que ninguno sobrepasa los límites establecidos por la normativa legislativa, sin embargo, los puntos que presentan valores altos de sus concentraciones con respecto a los otros puntos son: ODO (con el O₃), EHS



(con SO₂ y PS) y MEA (con NO₂) representando de esta forma la presencia de mayor contaminación atmosférica en estos puntos. Por otro lado, con respecto a la metodología pasiva al determinar el IPA los puntos que presentaron mayor contaminación fueron ARE, PAR y HER debido a que obtuvieron los valores más bajos, coincidiendo de esta forma con los puntos ARE y PAR del estudio con el punto MEA y ODO de la EMOV como los puntos que presentan mayor contaminación, los otros puntos no coinciden debido a que en el biomonitoreo se realiza un análisis solamente cualitativo más no cuantitativo, lo que puede ocasionar ciertas variaciones.

En cuanto a la metodología activa, tanto *Raphanus sativus* y *Vicia faba* presentaron mayor alteración en el punto ARE, lo que significa presencia de contaminación, y entre los dos bioindicadores *R. sativus* mostró el desarrollo más bajo, como se sabe, según la bibliografía, este bioindicador presenta sensibilidad a O₃, SO₂ y NO₂, de esta forma coincide con el punto MEA de la EMOV que presenta al valor más alto de concentración de NO₂.

Por otra parte el punto de BAL obtuvo el valor de IPA más alto, esto se debe a que la relación entre la riqueza y diversidad es alta (Anze et al., 2007), debido a que el IPA considera como medida la diversidad de especies y tomando en cuenta que el IPA claramente está influenciado por la diversidad (Anze et al., 2007) que se encuentra presente en cada punto donde se realizó el monitoreo, a más de eso se considera que cuando existe una gran cantidad de especies de líquenes significa que el nivel de contaminación es bajo y en dicho punto se encontraron varias especies, entre ellas se encontraron líquenes foliáceos y fruticulosos los cuales indican una escasa contaminación y ausencia de la misma respectivamente.

En cuanto a los puntos TAR y BAÑ no cuentan con una red de monitoreo, sin embargo, los datos de las concentraciones de la EMOV fueron extrapolados, cabe recalcar que al ser extrapolados presentan un error estándar. En lo referente al IPA, sus valores fueron de 15.2 para Tarqui y 17.4 para Baños, representando un IPA medio y alto respectivamente, esto



sugiere que los resultados obtenidos se debieron a que por ser zonas alejadas de la ciudad su contaminación no es significativa.

Por el análisis comparativo realizado con los respectivos casos de estudio y los datos de la EMOV se puede reafirmar la factibilidad de la aplicación de un biomonitoreo para determinar la calidad del aire.

5. CONCLUSIONES

Se escogieron ocho zonas de monitoreo, 6 zonas urbanas y dos rurales para todo el cantón Cuenca, entre los sitios seleccionados estaban aquellos donde hay mayor tráfico vehicular como en las Avenidas principales, sitios de actividad industrial, lugares cerca de parques, y zonas alejadas de la ciudad, en donde se emplearon las metodologías pasiva y activa, con la finalidad de determinar el grado de acercamiento de los valores obtenidos para ambas metodologías, las cuales tienen forma similar de operar, con la diferencia de que la metodología pasiva se realiza con especies presentes en el sitio y la metodología activa consiste en introducir especies a los sitios de monitoreo, además ambas metodologías se basan en la acción que produce un contaminante a estudiar sobre un ser vivo que sea susceptible a dicho contaminante.

Para la aplicación de la metodología activa se emplearon dos bioindicadores; *Raphanus sativus* y *Vicia faba*, mientras que para la metodología pasiva se emplearon los líquenes (fruticulosos, crustáceos y foliáceos) de las zonas expuestas.

En cuanto a las alteraciones que sufrieron estos bioindicadores los resultados reportados fueron que las alteraciones ocurrieron en la mayoría de los individuos en las dos especies, estas alteraciones fueron más visibles en sus hojas con la aparición de manchas y en sus pesos, tanto para la especie de *Vicia faba* como para *R. Sativus*. Por otra parte, con los líquenes fue diferente ya que cada especie presenta una sensibilidad en particular, esta depende del lugar en donde se encuentren y en consecuencia influyen en su aparición y/o desaparición.

Finalmente, y después de haber realizado el monitoreo en base a los resultados obtenidos para la metodología pasiva se tiene que el lugar que presenta mayor contaminación



ambiental fue la zona del Mercado el Arenal que presentó una IPA DE 9,8, y la zona de menor contaminación fue Balzay con un IPA de 22. Los resultados que se obtuvieron del IPA sugieren una aproximación de la calidad del aire de cada punto, mientras mayor es el valor del índice mejor es su calidad.

Por otra parte, con la metodología activa se obtuvo que la zona de mayor contaminación se presentó en el Arenal, pues *Vicia Faba* y *R. Sativus* sufrieron la mayor parte de alteraciones en este punto, este resultado fue el mismo que la metodología pasiva, sin embargo, el sitio de menor grado de contaminación fue el punto del Camal en esta zona *R. Sativus* y *V. Faba* se desarrollaron con normalidad, este resultado fue diferente al resultado de la metodología pasiva.

Una vez terminado el análisis del Biomonitorio se concluye que la calidad del aire del Cantón Cuenca es buena, este resultado se corrobora con los resultados de concentración de contaminantes ya que sus concentraciones se encuentran bajo el límite máximo permisible lo que indica que por lo general Cuenca no presenta contaminación.

6. RECOMENDACIONES

Asegurarse de tener una estructura resistente para colocar las plantas que van a ser expuestas, ya que si no se tiene una buena estructura el biomonitorio puede verse afectado ya que las plantas pueden sufrir alguna caída.

Es importante que la revisión de las plantas sea frecuente ya que éstas pueden verse afectadas por factores como falta de agua o exceso de la misma.

Al momento de realizar el pesaje de la biomasa asegurarse de que no contenga residuos de tierra ya que estos pueden alterar su peso y generar datos erróneos.



Para futuros estudios que se pudieran hacer a partir del presente trabajo se recomienda realizar un conteo vehicular para ampliar los parámetros analizados en la contaminación y de esta forma poder realizar una correlación entre el número de vehículos que circulan por la zona y la diversidad de especies presentes en dicha zona, esto en cuanto a la metodología pasiva.

Por último, se recomienda ampliar la red de monitoreo de la Ciudad de Cuenca, puesto que ésta no monitorea zonas rurales sino solamente urbanas, además, es importante contar con datos continuos de las concentraciones de contaminantes para futuras investigaciones.



BIBLIOGRAFÍA

- Anze, R., Franken, M., Zaballa, M., Pinto, M. R., Zeballos, G., Cuadros, M. D. L. Á., Canseco, Á., Rocha, A. De, Estellano, V. H., & Granado, S. Del. (2007). Bioindicadores en la detección de la contaminación atmosférica en Bolivia. *Revista Virtual REDESMA*, 53-74.
- Barrimi, M., Aalouane, R., Aarab, C., Hafidi, H., Baybay, H., Soughi, M., Tachfouti, N., Nejari, C., Mernissi, F. Z., Rammouz, I., & McKenzie, R. B. (2013). Estudio fitoquímico de liquen *Thamnolia vermicularis* (Sw.) Ach. Ex Schaer) presente en la provincia del Azuay. *Encephale*, 53(1), 59-65.
- Blett, T. F., Geiser, L. H., & Porter, E. (2003). Air Pollution-Related Lichen Monitoring in National Parks, Forests, and Refuges: Guidelines for Studies Intended for Regulatory and Management Purposes. *Technical Report, NPS-D2292, June, 26*.
- Bungartz, F., Yáñez, A., Nugra, F., & Ziemmeck, F. (2013). *Guía rápida de líquenes de las Islas Galápagos por. January 2013*.
- Calatayud, Lorente y Sanz, S. (2009a). *Uso de líquenes como bioindicadores de contaminación atmosférica en la ciudad de San Luis , Argentina Rubén Lijteroff , Luis Lima y Betzabé Prieri Facultad de Química , Bioquímica y Farmacia. Universidad Nacional de San Luis. Chacabuco y Pedernera. 1 e.*
- Calatayud, Lorente y Sanz, S. (2009b). *Uso de líquenes como bioindicadores de contaminación atmosférica en la ciudad de San Luis , Argentina Rubén Lijteroff , Luis Lima y Betzabé Prieri Facultad de Química , Bioquímica y Farmacia. Universidad Nacional de San Luis. Chacabuco y Pedernera. 1 e.*



- Calvelo, S., Baccalá, N., & Liberatore, S. (2009). Lichens as Bioindicators of Air Quality in Distant Areas in Patagonia (Argentina). *Environmental Bioindicators*, 4(2), 123-135. <https://doi.org/10.1080/15555270902963459>
- Cando, M. (2016). SENDERO TURÍSTICO LOMA DE LOS HERVIDEROS EN LA PARROQUIA BAÑOS. <http://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/5645/1/11973.pdf>
- Canseco, A., Anze, R., & Franken, M. (2006). *Comunidades de líquenes: Indicadores de la calidad del aire en la ciudad de La Paz, Bolivia*. 3, 22.
- Carrquiriborde, P. (2021). Principios de Ecotoxicología. <file:///C:/Users/DigitalSoft/Downloads/1663-3-5353-1-10-20210717.pdf>
- Conti, M. E., & Cecchetti, G. (2001). Biological monitoring: Lichens as bioindicators of air pollution assessment — a review. *Environmental Pollution*, 114(3), 471-492. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(00\)00224-4](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(00)00224-4)
- Corrales L, Muñoz M. 2012. Estrés oxidativo: origen, evolución y consecuencias de la toxicidad del oxígeno. Colegio Mayor de Cundinamarca. En: <http://www.scielo.org.co/pdf/nova/v10n18/v10n18a08.pdf>
- Correa-Ochoa, M. A., Vélez-Monsalve, L. C., Saldarriaga-Molina, J. C., & Jaramillo-Ciro, M. M. (2020). Evaluation of the Index of Atmospheric Purity in an American tropical valley through the sampling of corticolous lichens in different phorophyte species. *Ecological Indicators*, 115(March), 106355. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106355>
- Crecimiento del rábano » ¿Cómo crece el rábano? (s. f.).*



- Cruz, O. J. O. (2018). *Empleo de bioindicadores para determinar la calidad del aire en la ciudad de Tarija en puntos de muestreo de red MoniCA*. 8, 15.
- DELGADO GAMARRA, L. A. (2017). RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE HABA VERDE (*Vicia faba* L.) CV. ALBERTAZA POR EFECTO DE CUATRO ABONOS ORGANICOS Y BACTHON® EN CHIGUATA - AREQUIPA. *Repositorio.Unsa.Edu.Pe/*, 0(13-14).
- EMOV EP. (2019). *INFORME DE CALIDAD DE AIRE CUENCA 2019*. 1-27.
- Estrabou, C., Filippini, E., Soria, J. P., Schelotto, G., & Rodriguez, J. M. (2011). Air quality monitoring system using lichens as bioindicators in Central Argentina. *Environmental Monitoring and Assessment*, 182(1-4), 375-383. <https://doi.org/10.1007/s10661-011-1882-4>
- Estrada Paneque, A., Gallo González, M., & Nuñez Arroyo, E. (2016). Contaminación Ambiental, Su Influencia En El Ser Humano, En Especial: El Sistema Reproductor Femenino. *Revista Universidad y Sociedad*, 8(3), 80-86.
- Falla, J., Laval-Gilly, P., Henryon, M., & Ferard, J.-F. (1999). Biological Air Quality Monitoring: A Review. *1999*, 64, 18.
- Galarza, P. E. (2019). *Facultad de Ciencias Químicas Carrera de Ingeniería Ambiental Determinación de la calidad de aire mediante el uso de líquenes en la ciudad de Cuenca Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniera Ambiental Autora: Paola Estefanía Gal*. Universidad de Cuenca.
- González, A., Vallarino, A., Pérez, J. C., & Low, A. M. (2014). *BIOINDICADORES: GUARDIANES DE NUESTRO FUTURO AMBIENTAL*.



Granados-Sánchez D., López-Ríos G.F., Hernández-García M.A., A. S.-G. (2007).

Disponible en: [Http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62913142001](http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62913142001). *Chapingo*, 9(2), 101-111.

Hawksworth, D. L., Iturriaga, T., & Crespo, A. (2005). Líquenes como bioindicadores

inmediatos de contaminación y cambios medio-ambientales en los trópicos. *Revista Iberoamericana de Micología*, 22(2), 71-82. [https://doi.org/10.1016/S1130-1406\(05\)70013-9](https://doi.org/10.1016/S1130-1406(05)70013-9)

Hugo, V., Estrada, M., & Nájera, J. M. (2011). El Uso De Líquenes Como Biomonitores

Para Evaluar El Estado De La Contaminación Atmosférica a Nivel Mundial. *Biocenosis @BULLET*, 25, 1-2.

Käffer, M. I., Lemos, A. T., Apel, M. A., Rocha, J. V., Martins, S. M. D. A., & Vargas, V.

M. F. (2012). Use of bioindicators to evaluate air quality and genotoxic compounds in an urban environment in Southern Brazil. *Environmental Pollution*, 163, 24-31. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.12.006>

Lauyana. (s. f.). *Ciclo De Vida Del Rábano Etapas Del Crecimiento Del Rábano De La*

Semilla Ciclo de vida del rábano Etapas del crecimiento del rábano de la semilla y del brote a cosechar.

Mares Rueda, I. (2017a). LÍQUENES COMO BIOINDICADORES DE LA CALIDAD

DEL AIRE. *Universidad Complutense*, 21.

Mares Rueda, I. (2017b). *Titulo: LÍQUENES COMO BIOINDICADORES DE LA*

CALIDAD DEL AIRE. UNIVERSIDAD COMPLUTENSE TRABAJO.

Mejía, D., Zegarra, R., Astudillo, A., & Moscoso, D. (2018). *Análisis de Partículas*

Sedimentables y Niveles de Presión Sonora en el área urbana y periférica de



Cuenca Sedimentable Particles and Sonoric Pressure Analysis in Cuenca Urban and Peripheral Area. 55-64.

Molina, M. J., & Molina, L. T. (2004a). Megacities and atmospheric pollution. *Journal of the Air and Waste Management Association*, 54(6), 644-680.
<https://doi.org/10.1080/10473289.2004.10470936>

Molina, M. J., & Molina, L. T. (2004b). Megacities and atmospheric pollution. *Journal of the Air and Waste Management Association*, 54(6), 644-680.
<https://doi.org/10.1080/10473289.2004.10470936>

Neville, P. J., & Yen, A. L. (2007). Standardising terrestrial invertebrate biomonitoring techniques across natural and agricultural systems. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 47(4), 384-391. <https://doi.org/10.1071/EA05268>

Nimis, P. L., Scheidegger, C., & Wolseley, P. A. (Eds.). (2002). *Monitoring with Lichens—Monitoring Lichens*. Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/978-94-010-0423-7>

Ochoa-Jiménez, D. A., Cueva-Agila, A., Prieto, M., Aragón, G., & Benitez, Á. (2015). CAMBIOS EN LA COMPOSICIÓN DE LÍQUENES EPÍFITOS RELACIONADOS CON LA CALIDAD DEL AIRE EN LA CIUDAD DE LOJA (Ecuador). *Caldasia*, 37(2), 333-343. <https://doi.org/10.15446/caldasia.v37n2.53867>

Pardo, A., & Sancho, L. G. (2017). *TRABAJO FIN DE GRADO Líquenes como bioindicadores de la calidad del aire.*

Parmar, T. K., Rawtani, D., & Agrawal, Y. K. (2016). Bioindicators: The natural indicator of environmental pollution. *Frontiers in Life Science*, 9(2), 110-118.
<https://doi.org/10.1080/21553769.2016.1162753>



Perugachi, M. (2017). *Análisis de la sustitución de proteína animal por concentrado proteico de haba (Vicia faba) en salchichas tipo vienensa*. 78.

Pla, L. (2006). *BIODIVERSIDAD: INFERENCIA BASADA EN EL ÍNDICE DE SHANNON Y LA RIQUEZA*. 31, 9.

Riera Portoviejo, S. (2017a). *Gobierno Local Y Participación Ciudadana En El Cantón Cuenca En La Última Década ¿Interés Social O Estrategia De Legitimidad?* 75.

Riera Portoviejo, S. (2017b). *Gobierno Local Y Participación Ciudadana En El Cantón Cuenca En La Última Década ¿Interés Social O Estrategia De Legitimidad?* 75.

Rosales-Castillo, J. A., Torres-Meza, V. M., Olaiz-Fernández, G., & Borja-Aburto, V. H. (2001). Los efectos agudos de la contaminación del aire en la salud de la población: Evidencias de estudios epidemiológicos. *Salud Pública de México*, 43(6), 544-555. <https://doi.org/10.1590/s0036-36342001000600005>

Sáez Cifre, E. (2017). Análisis de la calidad del aire interior en función de la tipología de ventilación. *Dirección General de Ordenación e Inspección. Consejería de Sanidad de la Comunidad de Madrid.*, 2, 1-98.

Smodiš, B., Pignata, M. L., Saiki, M., Cortés, E., Bangfa, N., Markert, B., Nyarko, B., Arunachalam, J., Garty, J., Vutchkov, M., Wolterbeek, H. T., Steinnes, E., Freitas, M. C., Lucaciu, A., & Frontasyeva, M. (2004a). Validation and application of plants as biomonitors of trace element atmospheric pollution—A Co-Ordinated effort in 14 countries. *Journal of Atmospheric Chemistry*, 49(1-3), 3-13. <https://doi.org/10.1007/s10874-004-1210-2>

Smodiš, B., Pignata, M. L., Saiki, M., Cortés, E., Bangfa, N., Markert, B., Nyarko, B., Arunachalam, J., Garty, J., Vutchkov, M., Wolterbeek, H. T., Steinnes, E., Freitas,



- M. C., Lucaci, A., & Frontasyeva, M. (2004b). Validation and application of plants as biomonitors of trace element atmospheric pollution—A Co-Ordinated effort in 14 countries. *Journal of Atmospheric Chemistry*, 49(1-3), 3-13. <https://doi.org/10.1007/s10874-004-1210-2>
- Ștefănuț, S., Öllerer, K., Ion, M. C., Florescu, L. I., Constantin, M., Banciu, C., Onete, M., Manu, M., Vicol, I., Moldoveanu, M. M., Maican, S., Cobzaru, I., Nicoară, R. G., Mogîldea, E. D., Purice, D. M., Nicolae, C. D., Catană, R. D., Teodosiu, G., Dumitrache, C. A., ... Manole, A. (2021). Country-scale complementary passive and active biomonitoring of airborne trace elements for environmental risk assessment. *Ecological Indicators*, 126. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107357>
- Świsłowski, P., Kosior, G., & Rajfur, M. (2021). The influence of preparation methodology on the concentrations of heavy metals in *Pleurozium schreberi* moss samples prior to use in active biomonitoring studies. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(8), 10068-10076. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-11484-7>
- Tolba, M. K. (1992). Contaminación atmosférica. En M. K. Tolba, *Salvemos El Planeta* (pp. 1-12). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-011-2286-3_1
- Wong, D. W., Yuan, L., & Perlin, S. A. (2004). Comparison of spatial interpolation methods for the estimation of air quality data. *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology*, 14(5), 404-415. <https://doi.org/10.1038/sj.jea.7500338>
- Zhañay Fausto. 2015. “Plan De Desarrollo Y Ordenamiento Territorial De La Parroquia Tarqui Actualización 2015.” 4–442. recuperado de <http://app.sni.gob.ec/sni->



link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdocumentofinal/0160026230001_PDOT%20TARQUI%202015_29-10-2015_22-19-52.pdf

Zeballos, G., Romero, M. Z., Rocha, A. D. la, Cuadros, M., Granado, S. Del, Anze, R., & Franken, M. (2006). Estandarización de métodos de cultivo y exposición para estudios de biomonitorio. *Acta Nova*, 3(2), 412-421.

ANEXOS

ANEXO 1. Bitácora de líquenes en Tarqui

Forófito 1			Forófito 2			Forófito 3			Forófito 4			Forófito 5		
Cuadrante	Clasificación	Forófito	Cuadrante	Clasificación	Forófito	Cuadrante	Clasificación	Forófito	Cuadrante	Clasificación	Forófito	Cuadrante	Clasificación	Forófito
1A	1. crustáceo	1A	1. fructiculoso	1A	1. crustáceo	1A	1. crustáceo	1A	1. crustáceo	1A	1. crustáceo	1A	1. foliáceo	1. foliáceo
	2.		2. foliáceo		2.		2.		2.		2.		2. foliáceo	2. fructiculoso
	3.		3. crustáceo		3.		3.		3.		3.			
1B	1. crustáceo	1B	1. fructiculoso	1B	1. crustáceo	1B	1. crustáceo	1B	1. crustáceo	1B	1. crustáceo	1B	1. crustáceo	1. ausencia
	2. foliáceo		2. foliáceo		2. foliáceo		2. foliáceo		2.		2.		2.	
	3.		3. crustáceo		3. crustáceo		3. crustáceo							
2A	1. crustáceo	2A	1. crustáceo	2A	1. crustáceo	2A	1. crustáceo	2A	1. crustáceo	2A	1. crustáceo	2A	1. crustáceo	1. foliáceo
	2.		2. fructiculoso		2. fructiculoso		2.		2.		2.		2.	2. crustáceo
	3.		3. foliáceo		3. foliáceo									
2B	1. crustáceo	2B	1. crustáceo	2B	1. crustáceo	2B	1. crustáceo	2B	1. crustáceo	2B	1. crustáceo	2B	1. crustáceo	1. foliáceo
	2. foliáceo		2.		2.		2.		2.		2.		2.	
	3.													
3A	1. ausencia	3A	1. crustáceo	3A	1. crustáceo	3A	1. crustáceo	3A	1. crustáceo	3A	1. crustáceo	3A	1. crustáceo	1. foliáceo
	2.		2.		2.		2.		2.		2.		2.	2.
	3.		3.		3.		3.		3.		3.		3.	
3B	1. crustáceo	3B	1. fructiculoso	3B	1. crustáceo	3B	1. crustáceo	3B	1. crustáceo	3B	1. foliáceo	3B	1. foliáceo	1. ausencia
	2.		2. crustáceo		2. crustáceo		2.		2.		2. crustáceo		2.	2.
	3.		3.		3.									
4A	1. crustáceo	4A	1. crustáceo	4A	1. crustáceo	4A	1. crustáceo	4A	1. crustáceo	4A	1. crustáceo	4A	1. crustáceo	1. foliáceo
	2.		2. foliáceo		2. foliáceo		2.		2.		2.		2.	2. fructiculoso
	3.		3.		3.								3.	
4B	1. crustáceo	4B	1. foliáceo	4B	1. foliáceo	4B	1. crustáceo	4B	1. crustáceo	4B	1. crustáceo	4B	1. crustáceo	1. crustáceo
	2.		2. crustáceo		2. crustáceo		2. fructiculoso		2.		2.		2.	2. foliáceo
	3.		3.		3.									
5A	1. crustáceo	5A	1. fructiculoso	5A	1. crustáceo	5A	1. crustáceo	5A	1. crustáceo	5A	1. crustáceo	5A	1. crustáceo	1. foliáceo
	2. foliáceo		2. foliáceo		2. foliáceo		2.		2.		2.		2.	2. crustáceo
	3.		3. crustáceo		3. crustáceo		3.		3.		3.		3.	
5B	1. foliáceo	5B	1. fructiculoso	5B	1. crustáceo	5B	1. crustáceo	5B	1. foliáceo	5B	1. foliáceo	5B	1. foliáceo	1. foliáceo
	2. crustáceo		2. foliáceo		2. foliáceo		2. foliáceo		2.		2. crustáceo		2.	2. fructiculoso
	3.		3. crustáceo		3. crustáceo		3.		3.		3.		3.	3. crustáceo



Anexo 2. Bitácora de líquenes en Baños

Forófito 1		Forófito 2		Forófito 3		Forófito 4		Forófito 5	
Cuadrante	Clasificación	Cuadrante	Clasificación	Cuadrante	Clasificación	Cuadrante	Clasificación	Cuadrante	Clasificación
1A	1. foliáceo 2. 3.	1A	1. crustáceo 2. foliáceo 3.	1A	1. foliáceo 2. crustáceo 3.	1A	1. foliáceo 2. crustáceo	1A	1. foliáceo
1B	1. foliáceo 2. 3.	1B	1. foliáceo 2. crustáceo 3.	1B	1. foliáceo 2. 3.	1B	1. foliáceo 2.	1B	1. foliáceo
2A	1. foliáceo 2. crustáceo 3.	2A	1. crustáceo 2. foliáceo 3.	2A	1. foliáceo 2. crustáceo 3.	2A	1. foliáceo 2.	2A	1. foliáceo 2.
2B	1. foliáceo 2. crustáceo 3.	2B	1. crustáceo 2. foliáceo 3.	2B	1. crustáceo 2. foliáceo 3.	2B	1. foliáceo 2.	2B	1. foliáceo
3A	1. foliáceo 2. crustáceo 3.	3A	1. crustáceo 2. foliáceo 3.	3A	1. crustáceo 2. foliáceo 3.	3A	1. foliáceo 2. crustáceo	3A	1. foliáceo 2.
3B	1. foliáceo 2. crustáceo 3.	3B	1. foliáceo 2. crustáceo 3.	3B	1. foliáceo 2. crustáceo 3.	3B	1. foliáceo 2. crustáceo	3B	1. foliáceo 2. crustáceo
4A	1. foliáceo 2. crustáceo 3.	4A	1. foliáceo 2. crustáceo 3.	4A	1. foliáceo 2. crustáceo 3.	4A	1. crustáceo 2. foliáceo 3.	4A	1. foliáceo 2. crustáceo 3.
4B	1. foliáceo 2. crustáceo 3.	4B	1. foliáceo 2. crustáceo 3.	4B	1. foliáceo 2. crustáceo 3.	4B	1. crustáceo 2. foliáceo 3.	4B	1. foliáceo 2. crustáceo
5A	1. foliáceo 2. crustáceo 3.	5A	1. crustáceo 2. foliáceo 3.	5A	1. crustáceo 2. foliáceo 3.	5A	1. foliáceo 2. crustáceo 3.	5A	1. foliáceo 2. crustáceo
5B	1. foliáceo 2. crustáceo 3.	5B	1. crustáceo 2. foliáceo 3.	5B	1. crustáceo 2. foliáceo 3.	5B	1. foliáceo 2. crustáceo 3.	5B	1. foliáceo 2.



ANEXO 3. Bitácora de líquenes en Parque Iberia

Forófito 1		Forófito 2		Forófito 3		Forófito 4		Forófito 5	
Cuadrante	Clasificación	Cuadrante	Clasificación	Cuadrante	Clasificación	Cuadrante	Clasificación	Cuadrante	Clasificación
1A	1. foliáceo 2. 3.	1A	1. crustáceo 2. foliáceo 3.	1A	1. foliáceo 2. crustáceo 3.	1A	1. foliáceo 2. crustáceo	1A	1. foliáceo
1B	1. foliáceo 2. 3.	1B	1. foliáceo 2. crustáceo 3.	1B	1. foliáceo 2. crustáceo	1B	1. foliáceo 2.	1B	1. foliáceo
2A	1. foliáceo 2. crustáceo 3.	2A	1. crustáceo 2. foliáceo 3.	2A	1. foliáceo 2. crustáceo	2A	1. foliáceo 2.	2A	1. foliáceo 2.
2B	1. foliáceo 2. crustáceo 3.	2B	1. crustáceo 2. foliáceo 3.	2B	1. foliáceo 2. crustáceo	2B	1. foliáceo 2.	2B	1. foliáceo
3A	1. foliáceo 2. crustáceo 3.	3A	1. crustáceo 2. foliáceo 3.	3A	1. foliáceo 2. crustáceo	3A	1. foliáceo 2. crustáceo	3A	1. foliáceo 2.
3B	1. foliáceo 2. crustáceo 3.	3B	1. foliáceo 2. crustáceo 3.	3B	1. foliáceo 2. crustáceo	3B	1. foliáceo 2. crustáceo	3B	1. foliáceo 2. crustáceo
4A	1. foliáceo 2. crustáceo 3.	4A	1. foliáceo 2. crustáceo 3.	4A	1. foliáceo 2. crustáceo	4A	1. crustáceo 2. foliáceo	4A	1. foliáceo 2. crustáceo 3.
4B	1. foliáceo 2. crustáceo 3.	4B	1. foliáceo 2. crustáceo 3.	4B	1. foliáceo 2. crustáceo	4B	1. crustáceo 2. foliáceo	4B	1. foliáceo 2. crustáceo
5A	1. foliáceo 2. crustáceo 3.	5A	1. crustáceo 2. foliáceo 3.	5A	1. foliáceo 2. crustáceo	5A	1. foliáceo 2. crustáceo	5A	1. foliáceo 2. crustáceo
5B	1. foliáceo 2. crustáceo 3.	5B	1. crustáceo 2. foliáceo 3.	5B	1. foliáceo 2. crustáceo	5B	1. foliáceo 2.	5B	1. foliáceo 2.



ANEXO 4. Bitácora de líquenes en el Arenal

Forófito 1		Forófito 2		Forófito 3		Forófito 4		Forófito 5	
Cuadrante	Clasificación	Cuadrante	Clasificación	Cuadrante	Clasificación	Cuadrante	Clasificación	Cuadrante	Clasificación
1A	1. foliáceo 2. 3.	1A	1. foliáceo 2. 3.	1A	1. foliáceo 2. 3.	1A	1. ausencia 2. 3.	1A	1. ausencia 2.
1B	1. foliáceo 2. 3.	1B	1. foliáceo 2. crustáceo	1B	1. foliáceo 2. crustáceo	1B	1. ausencia 2.	1B	1. foliáceo 2.
2A	1. ausencia 2. 3.	2A	1. foliáceo 2. 3.	2A	1. foliáceo 2. 3.	2A	1. foliáceo 2.	2A	1. foliáceo 2.
2B	1. foliáceo 2. 3.	2B	1. foliáceo 2.	2B	1. foliáceo 2.	2B	1. ausencia 2.	2B	1. crustáceo 2.
3A	1. ausencia 2. 3.	3A	1. foliáceo 2. 3.	3A	1. foliáceo 2. 3.	3A	1. foliáceo 2.	3A	1. foliáceo 2.
3B	1. foliáceo 2. crustáceo 3.	3B	1. foliáceo 2. 3.	3B	1. foliáceo 2. 3.	3B	1. foliáceo 2.	3B	1. foliáceo 2.
4A	1. foliáceo 2. 3.	4A	1. foliáceo 2. foliáceo 3.	4A	1. foliáceo 2. foliáceo 3.	4A	1. foliáceo 2.	4A	1. foliáceo 2. 3.
4B	1. foliáceo 2. crustáceo 3.	4B	1. foliáceo 2. 3.	4B	1. foliáceo 2. 3.	4B	1. foliáceo 2. crustáceo	4B	1. foliáceo 2. crustáceo
5A	1. foliáceo 2. 3.	5A	1. foliáceo 2. 3.	5A	1. foliáceo 2. 3.	5A	1. foliáceo 2. crustáceo	5A	1. foliáceo 2. 3.
5B	1. foliáceo 2. 3.	5B	1. foliáceo 2. 3.	5B	1. foliáceo 2. 3.	5B	1. foliáceo 2. crustáceo 3.	5B	1. foliáceo 2. crustáceo 3.



ANEXO 5. Bitácora de líquenes en el parque el Paraíso

Forófito 1		Forófito 2		Forófito 3		Forófito 4		Forófito 5	
Cuadrante	Clasificación	Cuadrante	Clasificación	Cuadrante	Clasificación	Cuadrante	Clasificación	Cuadrante	Clasificación
1A	1. foliáceo 2. 3.	1A	1. foliáceo 2. 3.	1A	1. foliáceo 2. 3.	1A	1. foliáceo 2. 3.	1A	1. foliáceo
1B	1. foliáceo 2. 3.	1B	1. foliáceo 2. fructiculoso	1B	1. foliáceo 2. fructiculoso	1B	1. foliáceo 2.	1B	1. foliáceo
2A	1. foliáceo 2. 3.	2A	1. fructiculoso 2. foliáceo 3.	2A	1. fructiculoso 2. foliáceo 3.	2A	1. foliáceo 2.	2A	1. foliáceo 2. fructiculoso
2B	1. foliáceo 2. 3.	2B	1. foliáceo 2. fructiculoso	2B	1. foliáceo 2. fructiculoso	2B	1. foliáceo 2.	2B	1. foliáceo
3A	1. foliáceo 2. crustáceo 3.	3A	1. foliáceo 2. fructiculoso 3.	3A	1. foliáceo 2. fructiculoso 3.	3A	1. foliáceo 2.	3A	1. foliáceo 2.
3B	1. crustáceo 2. foliáceo 3.	3B	1. foliáceo 2. fructiculoso 3.	3B	1. foliáceo 2. fructiculoso 3.	3B	1. foliáceo 2.	3B	1. foliáceo 2.
4A	1. crustáceo 2. foliáceo 3.	4A	1. fructiculoso 2. foliáceo 3.	4A	1. fructiculoso 2. foliáceo 3.	4A	1. foliáceo 2.	4A	1. foliáceo 2. fructiculoso
4B	1. foliáceo 2. 3.	4B	1. foliáceo 2. fructiculoso 3.	4B	1. foliáceo 2. fructiculoso 3.	4B	1. foliáceo 2.	4B	1. foliáceo 2. crustáceo
5A	1. foliáceo 2. crustáceo fructiculoso	5A	1. foliáceo 2. fructiculoso 3. crustáceo	5A	1. foliáceo 2. fructiculoso 3. crustáceo	5A	1. foliáceo 2.	5A	1. foliáceo 2.
5B	1. foliáceo 2. crustáceo 3.	5B	1. foliáceo 2. fructiculoso 3. crustáceo	5B	1. foliáceo 2. fructiculoso 3. crustáceo	5B	1. foliáceo 2.	5B	1. foliáceo 2.



ANEXO 6. Bitácora de líquenes en colegio Herlinda Toral

Forófito 1		Forófito 2		Forófito 3		Forófito 4		Forófito 5	
Cuadrante	Clasificación	Cuadrante	Clasificación	Cuadrante	Clasificación	Cuadrante	Clasificación	Cuadrante	Clasificación
1A	1. foliáceo 2. 3.	1A	1. foliáceo 2. 3.	1A	1. foliáceo 2.	1A	1. foliáceo	1A	1. foliáceo
1B	1. foliáceo 2.	1B	1. foliáceo	1B	1. foliáceo 2.	1B	1. foliáceo	1B	1. foliáceo
2A	1. foliáceo 2. 3.	2A	1. foliáceo 2.	2A	1. foliáceo 2.	2A	1. foliáceo 2.	2A	1. foliáceo 2.
2B	1. foliáceo 2.	2B	1. foliáceo 2. crustáceo	2B	1. foliáceo 2.	2B	1. foliáceo	2B	1. foliáceo
3A	1. foliáceo 2. 3.	3A	1. foliáceo 2.	3A	1. foliáceo	3A	1. foliáceo 2.	3A	1. foliáceo 2.
3B	1. foliáceo 2. 3.	3B	1. foliáceo 2.	3B	1. foliáceo 2.	3B	1. foliáceo 2.	3B	1. foliáceo 2.
4A	1. foliáceo 2. 3.	4A	1. foliáceo 2.	4A	1. foliáceo 2.	4A	1. foliáceo 2. 3.	4A	1. foliáceo 2. 3.
4B	1. foliáceo 2. 3.	4B	1. foliáceo 2.	4B	1. foliáceo 2.	4B	1. foliáceo 2.	4B	1. foliáceo 2.
5A	1. foliáceo 2. 3.	5A	1. foliáceo 2. 3.	5A	1. foliáceo	5A	1. foliáceo 2.	5A	1. foliáceo 2.
5B	1. foliáceo 2.	5B	1. foliáceo 2.	5B	1. foliáceo 2.	5B	1. foliáceo 2.	5B	1. foliáceo 2.



ANEXO 7. Bitácora líquenes en el Camal

Forófito 1		Forófito 2		Forófito 3		Forófito 4		Forófito 5	
Cuadrante	Clasificación	Cuadrante	Clasificación	Cuadrante	Clasificación	Cuadrante	Clasificación	Cuadrante	Clasificación
1A	1. foliáceo 2. crustáceo 3.	1A	1. foliáceo 2. fructiculoso 3. crustáceo	1A	1. foliáceo 2. 3.	1A	1. foliáceo 2. fructiculoso	1A	1. foliáceo
1B	1. foliáceo 2. crustáceo 3.	1B	1. foliáceo 2.	1B	1. foliáceo 2.	1B	1. foliáceo 2.	1B	1. foliáceo
2A	1. foliáceo 2. crustáceo 3.	2A	1. foliáceo 2. fructiculoso 3. crustáceo	2A	1. foliáceo 2. 3.	2A	1. foliáceo 2.	2A	1. fructiculoso 2. foliáceo
2B	1. crustáceo 2. foliáceo 3.	2B	1. foliáceo 2. crustáceo 3. fructiculoso	2B	1. foliáceo 2. 3.	2B	1. foliáceo 2.	2B	1. foliáceo
3A	1. foliáceo 2. crustáceo 3.	3A	1. fructiculoso 2. foliáceo 3. crustáceo	3A	1. fructiculoso 2. 3.	3A	1. foliáceo 2.	3A	1. foliáceo 2.
3B	1. crustáceo 2. fructiculoso 3. foliáceo	3B	1. foliáceo 2. crustáceo 3.	3B	1. foliáceo 2. crustáceo 3.	3B	1. foliáceo 2. crustáceo	3B	1. foliáceo 2.
4A	1. foliáceo 2. 3.	4A	1. foliáceo 2. fructiculoso 3.	4A	1. foliáceo 2. 3.	4A	1. foliáceo 2. 3.	4A	1. foliáceo 2. 3.
4B	1. foliáceo 2. fructiculoso 3.	4B	1. crustáceo 2. foliáceo 3.	4B	1. crustáceo 2. foliáceo 3.	4B	1. foliáceo 2.	4B	1. foliáceo 2. fructiculoso
5A	1. foliáceo 2. crustáceo	5A	1. foliáceo 2. crustáceo 3.	5A	1. foliáceo 2. 3.	5A	1. foliáceo 2. 3.	5A	1. foliáceo 2.
5B	1. fructiculoso 2. foliáceo 3.	5B	1. crustáceo 2. foliáceo 3.	5B	1. crustáceo 2. foliáceo 3.	5B	1. foliáceo 2.	5B	1. foliáceo 2. fructiculoso

ANEXO 8. Bitácora de líquenes en Balzay

Forófito 1			Forófito 2			Forófito 3			Forófito 4			Forófito 5		
Cuadrante	Clasificación	Forófito 2 Cuadrante	Clasificación	Forófito 3 Cuadrante	Clasificación	Forófito 4 Cuadrante	Clasificación	Forófito 5 Cuadrante	Clasificación	Forófito 5 Cuadrante	Clasificación	Forófito 5 Cuadrante	Clasificación	
1A	1. crustáceo 2. foliáceo 3. Fructiculoso	1A	1. foliáceo 2. fructiculoso	1A	1. fructiculoso 2. foliáceo 3. crustáceo	1A	1. fructiculoso 2. foliáceo	1A	1. crustáceo 2. foliáceo	1A	1. crustáceo 2. foliáceo	1A	1. foliáceo	
1B	1. Fructiculoso 2. foliáceo 3. crustáceo	1B	1. foliáceo 2. fructiculoso	1B	1. foliáceo 2. fructiculoso	1B	1. crustáceo 2. foliáceo	1B	1. crustáceo 2. foliáceo	1B	1. crustáceo 2. foliáceo	1B	1. foliáceo	
2A	1. foliáceo 2. crustáceo 3.	2A	1. crustáceo 2. fructiculoso 3. foliáceo	2A	1. crustáceo 2. fructiculoso 3. foliáceo	2A	1. foliáceo 2. crustáceo	2A	1. crustáceo 2. foliáceo	2A	1. crustáceo 2. foliáceo	2A	1. foliáceo 2. crustáceo	
2B	1. foliáceo 2. crustáceo 3. fructiculoso	2B	1. fructiculoso 2. foliáceo	2B	1. fructiculoso 2. foliáceo	2B	1. foliáceo 2. crustáceo	2B	1. crustáceo 2. foliáceo	2B	1. crustáceo 2. foliáceo	2B	1. foliáceo	
3A	1. Fructiculoso 2. foliáceo 3. crustáceo	3A	1. Fructiculoso 2. foliáceo 3. crustáceo	3A	1. Fructiculoso 2. foliáceo 3. crustáceo	3A	1. crustáceo 2. foliáceo	3A	1. crustáceo 2. foliáceo	3A	1. crustáceo 2. foliáceo	3A	1. foliáceo 2. crustáceo	
3B	1. Fructiculoso 2. foliáceo 3. crustáceo	3B	1. Fructiculoso 2. foliáceo 3. crustáceo	3B	1. Fructiculoso 2. foliáceo 3. crustáceo	3B	1. crustáceo 2. foliáceo 3. crustáceo	3B	1. crustáceo 2. foliáceo	3B	1. crustáceo 2. foliáceo	3B	1. crustáceo 2. foliáceo	
4A	1. Fructiculoso 2. crustáceo 3. foliáceo	4A	1. foliáceo 2. Fructiculoso 3. crustáceo	4A	1. foliáceo 2. Fructiculoso 3. crustáceo	4A	1. crustáceo 2. foliáceo	4A	1. foliáceo 2. crustáceo	4A	1. foliáceo 2. crustáceo	4A	1. foliáceo 2. fructiculoso 3. crustáceo	
4B	1. Fructiculoso 2. foliáceo 3. crustáceo	4B	1. foliáceo 2. Fructiculoso 3. crustáceo	4B	1. foliáceo 2. Fructiculoso 3. crustáceo	4B	1. crustáceo 2. foliáceo	4B	1. crustáceo 2. foliáceo	4B	1. crustáceo 2. foliáceo	4B	1. foliáceo 2. crustáceo	
5A	1. foliáceo 2. crustáceo	5A	1. foliáceo 2. Fructiculoso 3. crustáceo	5A	1. foliáceo 2. Fructiculoso 3. crustáceo	5A	1. foliáceo 2. crustáceo 3. crustáceo	5A	1. foliáceo 2. crustáceo	5A	1. foliáceo 2. crustáceo	5A	1. foliáceo 2. crustáceo	
5B	1. fructiculoso 2. foliáceo 3. crustáceo	5B	1. foliáceo 2. Fructiculoso 3. crustáceo	5B	1. foliáceo 2. Fructiculoso 3. crustáceo	5B	1. foliáceo 2. foliáceo 3. crustáceo	5B	1. crustáceo 2. foliáceo	5B	1. crustáceo 2. foliáceo	5B	1. foliáceo 2. crustáceo	

**ANEXO 9. Resultados Tarqui**

Tarqui								
	Arbol1	Arbol2	Arbol3	Arbol4	Arbol5	N/INDIVIDUOS	PI	Pi*lnPi
Crustáceo	9	10	10	10	4	43	0.56578947	-0.322
Foliáceo	4	7	1	3	8	23	0.30263158	-0.362
Fruticuloso	0	6	1	0	3	10	0.13157895	-0.267
TOTAL						76		-0.951
IPA Árbol	13	23	12	13	15			
IPA área	15.2						H	0.951

ANEXO 10. Resultaos Baños

Guadalupano Alto								
	Árbol1	árbol2	árbol3	árbol4	árbol5	N/INDIVIDUOS	PI	Pi*lnPi
Crustáceo	4	10	6	4	10	34	0.3908046	-0.367
Foliáceo	9	6	10	10	4	39	0.44827586	-0.360
Fruticuloso	5	1	4	2	2	14	0.16091954	-0.294
TOTAL						87		-1.021
IPA árbol	18	17	20	16	16			
IPA área	17.4						H	1.021

ANEXO 11. Resultados Parque Iberia

Iberia								
	Árbol1	Arbol2	Arbol3	Arbol4	Arbol5	N/INDIVIDUOS	PI	Pi*lnPi
crustáceo	8	10	8	5	4	35	0.44303797	-0.361
foliáceo	10	10	5	9	10	44	0.55696203	-0.326
Fruticuloso	0	0	0	0	0	0	0	
TOTAL						79		-0.687
IPA árbol	18	20	13	14	14		H	0.687
IPA área	15.8							

ANEXO 12. Resultados Arenal

Arenal								
	Árbol1	Arbol2	Arbol3	Arbol4	Arbol5	N/INDIVIDUOS	PI	Pi*lnPi
crustáceo	3	1	2	3	1	10	0.20408163	-0.324



foliáceo	8	10	8	8	5	39	0.79591837	-0.182
Fruticuloso	0	0	0	0	0	0	0	
TOTAL						49		-0.506
IPA árbol	11	11	10	11	6		H	0.506
IPA área	9.8							

ANEXO 13. Resultados Parque Paraíso

Paraíso								
	Arbol1	Arbol2	Arbol3	Arbol4	Arbol5	N/INDIVIDUOS	PI	Pi*lnPi
crustáceo	5	2	0	0	0	7	0.10294118	-0.234
foliáceo	10	10	10	10	10	50	0.73529412	-0.226
Fruticuloso	1	8	0	0	2	11	0.16176471	-0.295
TOTAL						68		-0.755
IPA árbol	16	20	10	10	12		H	0.755
IPA área	13.6							

ANEXO 14. Resultados Herlinda

Herlinda								
	árbol1	árbol2	árbol3	árbol4	árbol5	N/INDIVIDUOS	PI	Pi*lnPi
crustáceo		1	0	0	0	1	0.01960784	-0.077
foliáceo	10	10	10	10	10	50	0.98039216	-0.019
Fruticuloso		0	0	0	0	0	0	
TOTAL						51		-0.097
IPA árbol	10	11	10	10	10		H	0.097
IPA área	10.2							

ANEXO 15. Resultados Camal

Camal								
	árbol1	árbol2	árbol3	árbol4	árbol5	N/INDIVIDUOS	PI	Pi*lnPi
crustáceo	7	8	1	0	0	16	0.20512821	-0.325
foliáceo	10	10	10	10	10	50	0.64102564	-0.285
Fruticuloso	3	5	0	1	3	12	0.15384615	-0.288
TOTAL						78		-0.898
IPA árbol	20	23	11	11	13		H	0.898
IPA área	15.6							

ANEXO 16. Resultados Balzay

Balzay								
	árbol1	árbol2	árbol3	árbol4	árbol5	N/INDIVIDUOS	PI	Pi*lnPi
crustáceo	10	7	10	10	10	47	0.4122807	-0.365
foliáceo	10	10	9	10	7	46	0.40350877	-0.366
Fruticuloso	8	10	1	2	0	21	0.18421053	-0.312
TOTAL						114		-1.043
IPA árbol	28	27	20	22	17		H	1.043
IPA área	22.8							

ANEXO 17. Clasificación de Líquenes monitoreados

a) Foliáceos



b) Fruticulosos





C) Costrosos

