

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Escuela de Posgrado

DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

**ANÁLISIS DEL EFECTO DE LAS EMISIONES DE TRÁFICO
VEHICULAR ACUMULADOS SOBRE ORGANISMOS
BIOINDICADORES (LÍQUENES) EN ZONAS
CONTAMINADAS Y NO CONTAMINADAS
EN LOS DISTRITOS DE TACNA, 2017**

TESIS

PRESENTADA POR:

M.Sc. AVELINO GODOFREDO PARI PINTO

Para optar el Grado Académico de:

DOCTOR EN CIENCIAS AMBIENTALES

TACNA - PERÚ

2020

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN
ESCUELA DE POSGRADO

DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

**ANÁLISIS DEL EFECTO DE LAS EMISIONES DE TRÁFICO
VEHICULAR ACUMULADOS SOBRE ORGANISMOS
BIOINDICADORES (LÍQUENES) EN ZONAS
CONTAMINADAS Y NO CONTAMINADAS
EN LOS DISTRITOS DE TACNA, 2017**

Tesis sustentada y aprobada el 03 de marzo del 2020, estando el jurado calificador integrado por:

PRESIDENTE : 
.....
Dr. Edgar Faustino Taya Osorio

SECRETARIO : 
.....
Dr. Jorge Luis Lozano Cervera

MIEMBRO : 
.....
Dr. Alberto Sabino Pacheco Pacheco

ASESOR : 
.....
Dr. Javier Lozano Marreros

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo a mis queridos padres Gregorio y Ubaldina en sus años 80 me demuestran aun su cariño y fortaleza y a mi tía Rosa Pinto, que en paz descanse, como segunda madre en la congestionada Lima, me aconsejaba sabiamente como ser útil a la sociedad.

Asimismo, a mi esposa y amiga Carina por su atención y amor que me brinda y a mis hijos Alison, Sven y Katerin que son mis motores: gasolinero, diesel y a gas, que me inspiran constancia, tesón y pertinencia para lograr mis objetivos. Y son la razón de mi existencia, la razón de mis aciertos y desaciertos.

A ellos les dedico el presente trabajo, fruto del esfuerzo, constancia y lo más importante confianza en mí mismo, que si se puede lograr los objetivos que nos trazamos.

AGRADECIMIENTO

Con la culminación de la presente tesis finalizo una etapa más de mi preparación académica, y con ello he aprendido a valorar el tiempo y a conseguir todo lo que me propongo con trabajo, con esfuerzo y con optimismo, por ello, esa capacidad laboral me ha permitido llegar hasta donde me encuentro actualmente

Sin embargo, la culminación de mi tesis no lo he conseguido solo, hay bastante gente detrás, que de una u otra manera ha participado apoyándome, asesorándome, animándome. Por ello, se merecen unas líneas de agradecimiento.

A mi asesor oficial de la UNJBG Javier Lozano Marreros por aceptar ser mi asesor y por sus consejos de empuje a seguir adelante hasta culminar la tesis.

A mis asesores técnicos y amigos: César Cáceres Musaja, Biólogo de la Universidad Latinoamericana CIMA, conocedor de líquenes, quien me ayudo con la selección de los líquenes a investigar. A Julián Nieto Quispe docente de la Escuela de Ingeniería Metalúrgica, quien me ayudo con el análisis de laboratorio con el microscopio electrónico de barrido.

Al resto de mi familia, a mi hermano Lizardo Pari, investigador REGINA de la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, quien siempre cuando viajaba a Arequipa me inspiraba imitarlo y alcanzarlo a imagen y semejanza.

A mis enemigos, por sus críticas, y sus incomprensiones, que no hicieron más que ayudarme a seguir adelante y a superarme silenciosamente.

A mis ex compañeros y profesores del programa de doctorado “Ciencias Ambientales” con quienes compartimos momentos que merecen ser recordados. En especial al Dr. Ángel Canales Gutiérrez, profesor de los cursos Tesis I y Tesis II, que fue justamente el, quien me aconsejó la elección del tema de tesis.

Finalmente, agradezco a todos los docentes de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Mecánica, por los años llevados como colegas en nuestro segundo hogar – nuestra alma mater la UNJBG.

CONTENIDO

DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
CONTENIDO	vi
RESUMEN	xviii
ABSTRACT	xix
РЕЗЮМЕ	xx
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
1.1.1 Problema general	5
1.1.2 Problemas específicos	5
1.2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	6
1.2.1 Objetivo general	6
1.2.2. Objetivos específicos	6
1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	7
1.3.1 Hipótesis general	7
1.3.2 Hipótesis específicas	7
1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	7

1.5.	LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	8
------	----------------------------------	---

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.	ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	9
2.2.	BASES TEÓRICAS O CONCEPTUALES	12
2.2.1	Teoría de la contaminación ambiental	12
2.2.2	Teoría de la calidad del aire	13
2.2.3	Teoría de líquenes. Caracterización y Clasificación	14
2.2.4	Los líquenes como bioindicadores	18
2.2.5	Morfología de líquenes	19
2.2.6	Factores que influyen en el desarrollo de líquenes	20
2.2.7	Los líquenes y el dióxido de azufre	21
2.2.8.	Los líquenes y los compuestos nitrogenados	21
2.2.9.	Los líquenes y el ozono	22
2.2.10	Los líquenes y los metales pesados	22
2.2.11	Emisiones de vehículos automotores	23
2.2.12	Análisis del flujo vehicular	30
2.3	DEFINICIÓN DE TERMINOS	32

CAPÍTULO III MARCO FILOSÓFICO

3.1	PENSAMIENTO CRÍTICO	36
-----	---------------------	----

3.2	INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA POSITIVISTA	37
-----	--------------------------------------	----

CAPÍTULO IV MARCO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN

4.1.	TIPO DE INVESTIGACIÓN	39
4.2.	DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	39
4.3.	POBLACIÓN Y MUESTRA	39
4.3.1	Población	39
4.3.2	Muestra	39
4.4	VARIABLES DE ESTUDIO	40
4.4.1	Variable independiente	40
4.4.2	Variable dependiente	40
4.4.3	Operacionalización de variables	40
4.5.	EQUIPOS Y PROCESOS DE MEDICIÓN	41
4.5.1	Equipos	41
4.5.2	Procesos de medición	43
4.6.	PROCEDIMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN	43
4.6.1	Para el primer objetivo específico	43
4.6.2	Para el segundo objetivo específico	45
4.7	PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS DE DATOS	46
4.8	VALOR DE CORTE DE ZONA CON BAJO Y ALTO TRÁFICO VEHICULAR	46

CAPÍTULO V PRESENTACIÓN DE RESULTADOS DEL ESTUDIO

5.1	CARACTERIZACIÓN DE LIQUENES Y DE LOS LUGARES DE LA INVESTIGACIÓN	47
5.1.1	Caracterización del lugar de origen de líquenes	47
5.1.2	Caracterización de líquenes	48
5.1.3	Caracterización de los lugares de ubicación de líquenes	49
5.2.	DETERMINACIÓN DEL FLUJO VEHICULAR DE LAS ZONAS DONDE SE ENCUENTRAN LOS LÍQUENES EN ESTUDIO	57
5.2.1	Flujo vehicular en época de vacaciones	57
5.2.2	Flujo vehicular en época de labores académicas (clases)	59
5.2.3	Tipos de vehículos que circulan por las zonas de estudio	62
5.2.4	Análisis de resultados	63
5.3	RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LÍQUENES EN LABORATORIO POR BAJADAS	65
5.3.1	Resultados de análisis de líquenes etapa inicial	65
5.3.2	Resultados de análisis de líquenes en su primera bajada	67
5.3.3	Análisis de resultados de la primera bajada	70
5.3.4	Resultados de análisis de líquenes en su segunda bajada	70
5.3.5	Opinión de resultados de la segunda bajada	72
5.3.6	Resultados de análisis de líquenes en su tercera bajada	74
5.3.7	Opinión de los resultados de la tercera bajada	76

5.3.8	Resultados de análisis de líquenes en su cuarta y última bajada	78
5.3.9	Análisis de los resultados de la cuarta bajada	80
5.4	RESULTADOS DE ANÁLISIS EN LABORATORIO POR LÍQUENES	80
5.4.1	Presentación de resultados	80
5.4.2	Análisis de resultados por líquenes	84
5.4.3	Construcción de graficas del porcentaje de azufre por líquenes	87
5.5	RESULTADOS DE ANÁLISIS DE COBERTURA DE LÍQUENES	89
5.5.1	Cobertura en porcentaje de Acarospora sp. Liquen L1 - CS	89
5.5.2	Cobertura en porcentaje de Acarospora sp. Liquen L2 - GS	92
5.5.3	Cobertura en porcentaje de Acarospora sp. Liquen L3 - PZ	94
5.5.4	Cobertura en porcentaje de Acarospora sp. Liquen L4 - CN	96
5.5.5	Resumen de resultados	98
5.5.6	Descripción de resultados	98
5.5.7	Elaboración de gráficos de resultados	98
5.6	RESULTADOS DE ANÁLISIS DE COLOR Y RESEQUEDAD DE LÍQUENES	101
5.6.1	Análisis de color y resequead del liquen L1 – CS	103
5.6.2	Análisis de color y resequead del liquen L2 – GS	104
5.6.3	Análisis de color y resequead del liquen L3 – PZ	105

CAPÍTULO VI ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN GLOBAL DE LA INVESTIGACIÓN	108
6.2	CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS	109
6.2.1	Contrastación de hipótesis sobre cobertura	111
6.2.2	Contrastación de hipótesis secundaria sobre color y resequedad	117
	CONCLUSIONES	119
	RECOMENDACIONES	121
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	122
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Contaminantes emitidos por el vehículo	26
Tabla 2.	Descripción detallada de los contaminantes principales	26
Tabla 3.	Descripción de la variable independiente	40
Tabla 4.	Descripción de la variable dependiente	41
Tabla 5.	Detalles del microscopio electrónico de barrido	42
Tabla 6.	Taxonomía de líquenes analizados	49
Tabla 7.	Datos de la ubicación de los 4 líquenes de estudio	50
Tabla 8.	Detalles de la zona de exploración y ubicación de origen de líquenes	51
Tabla 9.	Detalles de la zona de ubicación de líquenes en la ciudad de Tacna	52
Tabla 10.	Volumen $[q_{15}]$ y Tasas de flujo $[q]$, correspondiente para la zona Cono Sur (época de vacaciones)	57
Tabla 11.	Volumen en periodos de 15 minutos $[q_{15}]$ y Tasas de flujo $[q]$, correspondiente a época de vacaciones	58
Tabla 12.	Volumen horario $[Q]$ y volumen horario en periodos de 15 minutos $[Q_{15}]$ en época de vacaciones	59
Tabla 13.	Volumen $[q_{15}]$ y Tasas de flujo $[q]$, correspondiente para la zona Cono Sur (época de clases)	59
Tabla 14.	Volumen en periodos de 15 minutos $[q_{15}]$ y Tasas de flujo $[q]$, en época de clases	60

Tabla 15.	Volumen horario [Q] y volumen horario en periodos de 15 minutos [Q ₁₅] correspondiente a zonas de estudio	61
Tabla 16.	Porcentaje del volumen horario en periodos de 15 min	61
Tabla 17.	Cantidad de vehículos según el tipo, que circulan por las zonas de estudio de líquenes	62
Tabla 18.	Total, de vehículos que circularon por las zonas de estudio	63
Tabla 19.	Cronograma de análisis en microscopio electrónico de barrido de líquenes de estudio	65
Tabla 20.	Porcentaje en peso de componentes: liquen L1 - CS	66
Tabla 21.	Porcentaje en peso de componentes de los 4 líquenes en una etapa inicial	67
Tabla 22.	Porcentaje en peso de componentes: liquen L2 – GS en primera bajada	69
Tabla 23.	Porcentaje en peso de componentes de los cuatro líquenes en primera bajada	70
Tabla 24.	Porcentaje en peso de componentes: liquen L3 – PZ en segunda bajada	71
Tabla 25.	Porcentaje en peso de componentes de los cuatro líquenes en segunda bajada	72
Tabla 26.	Porcentaje en peso de componentes: liquen L4 – CN en tercera bajada	74
Tabla 27.	Porcentaje en peso de componentes de los cuatro líquenes en tercera bajada	75

Tabla 28.	Porcentaje en peso de componentes: Liquen L1 – CS en cuarta y última bajada	78
Tabla 29.	Porcentaje en peso de componentes de los cuatro líquenes en cuarta y última bajada	80
Tabla 30.	Análisis de componentes del liquen L1 - CS	81
Tabla 31.	Análisis de componentes del liquen L2 - GS	82
Tabla 32.	Análisis de componentes del liquen L3 - PZ	83
Tabla 33.	Análisis de componentes del liquen L4 - CN	84
Tabla 34.	Resumen del contenido en porcentaje de azufre en los líquenes 1er al 4to, a partir de la primera bajada	85
Tabla 35.	Valores de coeficientes de regresión para los cuatro líquenes	88
Tabla 36.	Resumen de cobertura en porcentaje de líquenes por análisis	98
Tabla 37.	Datos del experto para el juicio de color y resequead	102
Tabla 38.	Porcentaje de azufre y cobertura de líquenes 1 al 3	110
Tabla 39.	Datos del análisis factorial	112
Tabla 40.	Datos de las respuestas	112
Tabla 41.	Análisis de varianza para la respuesta azufre	113
Tabla 42.	Análisis de varianza para la respuesta cobertura	114

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Vista de un líquen de tipo folioso	16
Figura 2.	Vista de un líquen de tipo crustáceo	17
Figura 3.	Vista de un líquen de tipo fruticoloso	17
Figura 4.	Corte transversal de un talo	19
Figura 5.	Tipos de emisiones vehiculares	24
Figura 6.	Composición en porcentaje de los gases de escape emitidos por los vehículos motorizados	29
Figura 7.	Construcción básica del microscopio electrónico de barrido	42
Figura 8.	Vista física de Microscopio Electrónico ESME	43
Figura 9.	Presentación del programa CobCal v 2.1	44
Figura 10.	Entorno de trabajo del programa CobCal v 2.1	44
Figura 11.	Ubicación de la zona de recolección de líquenes	48
Figura 12.	Vista de líquenes encontrados en la zona de origen	48
Figura 13.	Ubicación de los 4 líquenes en la ciudad de Tacna	53
Figura 14.	Vista interna del domicilio de Cono Sur	54
Figura 15.	Vista exterior del domicilio en Cono Sur	54
Figura 16.	Vista exterior del domicilio en General Suarez	55
Figura 17.	Ubicación del líquen en General Suarez	55
Figura 18.	Vista del domicilio por Plaza Zela	56

Figura 19.	Vista exterior del domicilio en Cono Norte	56
Figura 20.	Número de vehículos por zona de ubicación	64
Figura 21.	Diagrama de componentes del liquen L1 - CS	66
Figura 22.	Vista de los 4 líquenes en su primera bajada	68
Figura 23.	Diagrama de componentes del liquen L2 (1ra bajada)	69
Figura 24.	Diagrama de componentes del liquen L3 (2da bajada)	71
Figura 25.	Diagrama de componentes del liquen L4 (3ra bajada)	73
Figura 26.	Contenido en porcentaje de líquenes en la 2da bajada	74
Figura 27.	Contenido en porcentaje de líquenes en la 3ra bajada	77
Figura 28.	Diagrama de componentes del liquen L1 (4ta bajada)	79
Figura 29.	Contenido en porcentaje de azufre en líquenes	86
Figura 30.	Gráfica de regresión lineal del porcentaje de azufre de Líquenes 1 y 2	87
Figura 31.	Gráfica de regresión lineal del porcentaje de azufre en líquenes 1 y 3	89
Figura 32.	Análisis 1 y 2 de cobertura del liquen L1 - CS	90
Figura 33.	Análisis 3 y 4 de cobertura del liquen L1 - GS	91
Figura 34.	Análisis 1 y 2 de cobertura del liquen L2 - GS	92
Figura 35.	Análisis 3 y 4 de cobertura del liquen L2 - CS	93
Figura 36.	Análisis 1 y 2 de cobertura del liquen L3 - PZ	94

Figura 37.	Análisis 3 y 4 de cobertura del liquen L3 - PZ	95
Figura 38.	Análisis 1 y 2 de cobertura del liquen L4 - CN	96
Figura 39.	Análisis 3 y 4 de cobertura del liquen L4 - CN	97
Figura 40.	Gráfica de regresión de porcentaje de cobertura de 4 líquenes	99
Figura 41.	Regresión de porcentaje de cobertura de líquenes 1 y 2	100
Figura 42.	Regresión de porcentaje de cobertura de líquenes 1 y 3	101
Figura 43.	Vista del color característico de la especie de líquenes "Acarospora"	102
Figura 44.	Imagen del liquen L1 – GS antes y después de ubicación en la zona de estudio	103
Figura 45.	Imagen del liquen L2 – GS antes y después de ubicación en la zona de estudio	104
Figura 46.	Imagen del liquen L3 – PZ antes y después de ubicación en la zona de estudio	105
Figura 47.	Imagen del liquen L4 – CN antes y después de ubicación en la zona de estudio	106
Figura 48.	Contenido de azufre en los tres líquenes en el tiempo	115
Figura 49.	Porcentaje de azufre en los tres líquenes en el tiempo	116
Figura 50.	Correlación de respuestas cobertura y azufre	117

RESUMEN

En la presente investigación de campo se analiza líquenes de tipo crustáceo. Para ello, lo primero que se hizo fue con asistencia de un biólogo especialista recoger líquenes de la zona alta de Calana. Luego, estos líquenes fueron distribuidos en diferentes sitios de la ciudad de Tacna, específicamente: uno en cono sur, 2 en el cercado y 1 en el cono norte; programándose luego recogerlos cada tres meses, actividad denominada: bajada 1, bajada 2, bajada 3 y bajada 4, donde; las zonas de los conos fueron considerados zonas de baja contaminación y la zona del cercado considerada zona de alta contaminación. Esto debido al nivel de flujo vehicular.

En cada bajada los líquenes se sometieron a un análisis de composición, usando un microscopio electrónico de barrido, donde se encontró, que el contenido de azufre en el liquen aumentaba de manera regular en los tres primeros líquenes y en el cuarto, el aumento era irregular. Simultáneamente, en cada bajada, los líquenes se sometían a una inspección visual por parte de un experto y se captaba las imágenes necesarias para analizar la variación de la morfología del liquen.

Lo que se encontró finalmente es que a medida que aumentaba el porcentaje de azufre en el liquen, disminuía el porcentaje de cobertura del liquen, lo que nos permitió verificar el efecto negativo del azufre.

Palabras clave: Liquen, zona contaminada, microscopio electrónico de barrido, porcentaje de azufre, morfología del liquen, porcentaje de cobertura

ABSTRACT

In this field research, crustacean-type lichens are analyzed. To do this, the first thing that was done was with the assistance of a specialist biologist to collect lichens from the upper area of Calana. Later, these lichens were distributed in different places in the city of Tacna, specifically: one in the southern cone, 2 in the enclosure and 1 in the northern cone; then scheduled to collect them every three months, activity called: drop 1, drop 2, drop 3 and drop 4, where; the cone areas were considered low contamination areas and the fencing area considered high contamination areas. This due to the level of vehicular flow.

In each drop the lichens were subjected to a composition analysis, using a scanning electron microscope, where it was found that the sulfur content in the lichen increased regularly in the first three lichens and in the fourth, the increase was irregular. Simultaneously, in each descent, the lichens were subjected to a visual inspection by an expert and the necessary images were captured to analyze the variation of the lichen's morphology.

What was finally found is that as the percentage of sulfur in the lichen increased, the percentage of coverage of the lichen decreased, which allowed us to verify the negative effect of sulfur.

Key words: Lichen, contaminated area, scanning electron microscope, sulfur percentage, lichen morphology, coverage percentage

РЕЗЮМЕ

В данном полевом исследовании анализируются лишайники ракообразного типа. Для этого первым делом с помощью специалиста-биолога был собран лишайник в верхней части Каланы. Позже эти лишайники были распространены в разных местах в городе Такна, а именно: один в южном конусе, 2 в ограде и 1 в северном конусе; затем планируется собирать их каждые три месяца, действие называется: drop 1, drop 2, drop 3 и drop 4, где; конические зоны считались зонами с низким уровнем загрязнения, а территория ограждений считалась зонами с высоким уровнем загрязнения. Это связано с интенсивностью движения автотранспорта.

Каждую каплю лишайников подвергали анализу состава с помощью сканирующего электронного микроскопа, в ходе которого было обнаружено, что содержание серы в лишайниках регулярно увеличивалось в первых трех лишайниках, а в четвертых - нерегулярно. . Одновременно с этим при каждом спуске лишайники подвергались визуальному осмотру экспертом и снимались необходимые изображения для анализа изменения морфологии лишайников.

В конечном итоге было обнаружено, что по мере увеличения процентного содержания серы в лишайнике процент покрытия лишайником уменьшался, что позволило нам проверить отрицательное влияние серы.

Ключевые слова: лишайник, загрязненная территория, растровый электронный микроскоп, процентное содержание серы, морфология лишайника, процент покрытия.

INTRODUCCIÓN

El tema de contaminación ambiental no es un tema reciente ni del siglo XX, es un tema que tiene sus inicios desde la aparición del hombre en la tierra. Desde el momento cuando fabricaba sus primeras herramientas ya generaba residuos sólidos. A medida que, la población aumentaba, aumentaba la contaminación, es decir que, están en una relación directamente proporcional. Sin embargo, su tratamiento, su control es reciente o mejor dicho la preocupación del mismo hombre por lo que ha generado años tras años es actual y preocupante.

La contaminación ambiental se manifiesta en la contaminación del aire, del agua, del suelo, puede ser contaminación sonora o contaminación social (corrupción e injusticias). Hay evidencias del perjuicio, resultado de la contaminación, como, por ejemplo: los bosques de Madre de Dios perjudicados por la minería informal.

En lo que respecta a la contaminación del aire hay muchas maneras de controlarla o medirla, utilizando equipos sofisticados. Sin embargo, también existe una manera natural de monitorear la contaminación del aire y es utilizando los líquenes, que según investigaciones a nivel mundial han dado excelentes resultados y están siendo utilizados como bioindicadores de la calidad del aire. Un aire que, por el momento es gratuito, que en mi perspectiva en el futuro pagaremos mensualmente por él.

Según Mares R. (2017), los primeros indicios de la sensibilidad de los líquenes como bioindicadores de calidad ambiental datan de finales del siglo XIX. Fue Nylander quien, tras estudiar la flora líquénica del Jardín de Luxemburgo (París) en 1866, constata su sensibilidad y propone su utilización como bioindicadores de contaminación atmosférica.

A nivel mundial se han realizado una serie de investigaciones donde se ha usado a los líquenes como bioindicadores de la calidad de aire.

A nivel nacional, también se han realizado algunos trabajos de investigación de líquenes,

En el presente trabajo durante todo el año 2018 se ha comprobado que los líquenes son realmente indicadores de la calidad del aire, indicándonos incluso que zona es óptima para vivir.

En el primer capítulo se trata aspectos de formulación del problema, donde se plantean los objetivos específicos que nos lleven a cumplir nuestro objetivo general. Asimismo, se menciona la justificación de la investigación.

En el segundo capítulo, se trata tres aspectos importantes: los antecedentes del problema, las bases teóricas y la definición de términos, los cuales nos servirán como soporte teórico fundamental de nuestra investigación.

En el tercer capítulo, se tratan los aspectos del marco filosófico, donde se describe temas como el pensamiento crítico y la investigación científica positivista

El cuarto capítulo está dedicado para el marco metodológico de la investigación, es decir una descripción detallada de las características de la investigación, la metodología, los equipos a utilizar, etc

En el quinto capítulo y el más extenso se presentan los resultados de la investigación, donde, antes de mostrar los resultados de la cobertura, color y resequeidad de los líquenes, se muestran los resultados de los análisis de líquenes en sus cuatro bajadas.

Finalmente, en el último capítulo se presenta el análisis y discusión de resultados de la investigación.

CAPÍTULO I

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Cada día en nuestro medio la calidad de aire y por consiguiente la calidad de vida de las personas empeora. Ello, está relacionado con el crecimiento poblacional, con el crecimiento del parque automotor, la influencia de las plantas industriales, a la mayor demanda de servicios culinarios y a la deficiencia de un ordenamiento territorial planificado.

Los contaminantes más comunes dentro de las ciudades son el dióxido de azufre (SO₂), los óxidos de nitrógeno (NO_x), el monóxido de carbono (CO), el ozono, las partículas en suspensión, los metales pesados y los compuestos químicos orgánicos como el benceno y los hidrocarburos aromáticos poli cíclicos (Anze *et al.*, 2007).

En una ciudad en crecimiento, como Tacna, donde los niveles de emisiones de gases contaminantes han aumentado respecto a los años anteriores, es necesario supervisar y establecer una línea base para describir las concentraciones de los diferentes contaminantes, principalmente de aquellas emitidas por el parque automotor como el CO, NO₂ y el SO₂.

Para su medición se usan costosos equipos que bien pueden ser reemplazados por los líquenes, que son organismos que resultan de la asociación simbiótica de un hongo con un organismo fotobiótico, ya sea un alga, una cianobacteria a ambas (Coutiño y Montañez, 2000). Entre las características principales es, que no tienen raíz ni sistemas de conducción y

por ello dependen únicamente de la atmosfera. No tienen epidermis o cutícula que los proteja del medio externo (Santoni y Lijteroff, 2004).

A medida que los líquenes absorben sus nutrientes, también aspiran contaminantes, los cuales se acumulan en su tejido (Kett, 2006). La absorción y acumulación de estas sustancias contaminantes y su imposibilidad para eliminarlas, retardan su crecimiento, obstruyen su reproducción y pueden provocar su muerte (Jaramillo y Botero, 2009). Por lo tanto, los líquenes son largamente usados como biomonitores, bioacumuladores o bioindicadores de la calidad del aire, especialmente en países tropicales de Europa y Norte América, con el objetivo de ayudar a preservar los bosques (Bustamante, Nájera y Gonzales 2010). Recientemente en varias investigaciones se han utilizado líquenes epifitos para estimar los niveles de contaminación atmosférica creada por el dióxido de azufre (SO₂) (Lijteroff *et al.*2005), cuya fuente de emisión son los vehículos del parque automotor y plantas industriales. Por todo ello, se formula las siguientes preguntas:

1.1.1. Problema general

¿Cuál es la influencia de las emisiones de tráfico vehicular, presente en el aire, en el desarrollo de líquenes tipo crustáceo ubicados en una zona contaminada (zona con tráfico vehicular alto) y otra zona de baja contaminación (zona con tráfico vehicular bajo) en los distritos de Tacna, 2017?

1.1.2. Problemas específicos

a) ¿Cuál es el nivel de influencia de las emisiones de tráfico vehicular presentes en el aire en la cobertura de los líquenes tipo crustáceo ubicados

en una zona contaminada (zona con tráfico vehicular alto) con respecto a otra zona de baja contaminación (zona con tráfico vehicular bajo)?

b) ¿Cuál es el nivel de influencia de las emisiones de tráfico vehicular presentes en el aire en la morfología (color y resequedad) de los líquenes tipo crustáceo ubicados en una zona contaminada (zona con tráfico vehicular alto) con respecto a otra zona de baja contaminación (zona con tráfico vehicular bajo)?

1.2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.2.1. Objetivo general

Determinar la influencia de las emisiones de tráfico vehicular presentes en el aire, en el desarrollo de líquenes tipo crustáceo, en zona contaminada (zona con tráfico vehicular alto) con respecto a una zona de baja contaminación (zona con tráfico vehicular bajo) en los distritos de Tacna, 2017.

1.2.2. Objetivos específicos

a) Comparar el nivel de influencia de las emisiones de tráfico vehicular presentes en el aire, sobre la cobertura de líquenes tipo crustáceo entre una zona contaminada (zona con tráfico vehicular alto) versus zona de baja contaminación (zona con tráfico vehicular bajo)

b) Comparar el nivel de influencia de las emisiones de tráfico vehicular presentes en el aire, sobre la morfología (color y resequedad) de líquenes tipo crustáceo entre una zona contaminada (zona con tráfico vehicular alto) versus zona de baja contaminación (zona con tráfico vehicular bajo)

1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. Hipótesis general

La presencia en el aire de las emisiones de tráfico vehicular afecta el desarrollo normal de los líquenes de tipo crustáceo ubicados en una zona contaminada (zona con tráfico vehicular alto) versus una zona de baja contaminación (zona con tráfico vehicular bajo) en los distritos de Tacna, 2017.

1.3.2. Hipótesis específicas

a) La presencia en el aire de las emisiones de tráfico vehicular, afecta la cobertura de los líquenes de tipo crustáceo ubicados en la zona contaminada (zona con tráfico vehicular) en comparación a la zona de baja contaminación (zona con tráfico vehicular bajo)

b) La presencia en el aire de las emisiones de tráfico vehicular, afecta la morfología (color y resequedad) de los líquenes tipo crustáceo ubicados en la zona contaminada (con tráfico vehicular alto) en comparación a la zona de baja contaminación (con tráfico vehicular bajo).

1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. Desde un punto de vista técnico – científico. - Los métodos desarrollados para utilizar líquenes como bioindicadores y biomonitores permiten complementar los complejos análisis químicos que permiten obtener resultados restringidos a los momentos mismos de la medición, mientras que los líquenes muestran los efectos de la contaminación durante amplios intervalos de tiempo.

1.4.2. Desde un punto de vista económico. - Se realiza la investigación porque para determinar la calidad del aire de Tacna se utiliza estaciones de monitoreo de gases M; sin embargo, estos son caros y muchas instituciones no la tienen. En nuestra ciudad, el gobierno regional Tacna (GRT) es la única entidad que posee una estación de monitoreo. Por lo que, el uso de líquenes como bioindicadores se justifica.

1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación está limitada geográficamente en la ciudad de Tacna. Específicamente, en los conos y en centro de la ciudad. Un líquen ubicado en cono sur, Un segundo líquen ubicado en el cercado de la ciudad con tráfico vehicular de taxis y vehículos particulares. El tercer líquen en el centro de Tacna con tráfico de taxis, vehículos particulares y vehículos del sistema de transporte urbano. Y un cuarto líquen en el cono norte.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

A nivel mundial se ha realizado un sin número de investigaciones respecto al comportamiento de los líquenes bajo el efecto de la contaminación del aire. Algunos de ellos, se mencionan a continuación:

En una investigación realizada en la ciudad de Lima, se comprobó la ausencia de líquenes en zonas densamente pobladas, zonas industriales, parques y avenidas con gran tránsito vehicular. En cambio, se encontró líquenes en lugares menos pobladas y de bajo flujo vehicular (Tovar, 1994).

La investigación realizada en la ciudad de Juana Koslay, San Luis (Argentina), donde se estudió la comunidad de líquenes, asumiendo la disminución en la frecuencia de especies a medida que aumenta la contaminación del aire y que por ello se consideraban bioindicadores de la calidad del aire de la zona. El método comparó un área urbana de crecimiento poblacional rápido, con fuentes fijas y móviles de contaminación, versus dos áreas testigo sin fuentes de contaminación y donde se utilizó el método del Índice de Pureza Atmosférica (IPA), como variable de análisis para determinar la existencia de contaminación aérea. Los resultados obtenidos muestran que las tres áreas evaluadas no presentaban diferencias estadísticamente significativas en los valores de IPA ni en los valores de diversidad. Los resultados indican homogeneidad

en los ambientes estudiados, a pesar de las diferencias que tienen en cuanto al uso del suelo (área urbana vs. áreas naturales (Santoni, 2006).

Por otro lado, cerca de una refinería de fosfato en el noreste de Pocatello Idaho, EEUU, se encontró que la concentración de Cd, Cr, Zn, Pb, B, Mn, K, Mg, Ca, P, Cu encontrados en el líquen presenta diferencias significativas en relación con la distancia y dirección de la refinería (Dillman, 1996).

Méndez y Monge (2011) en su investigación tras revisar literatura publicada a nivel mundial, concluyen que el dióxido de azufre y el dióxido de nitrógeno son los principales contaminantes presentes en la atmósfera y ellos influyen en el crecimiento, distribución y salud de los líquenes. Asimismo, en el trabajo se presenta una serie de estudios que se realizaron a nivel mundial, donde se utilizan a los líquenes como bioindicadores y bioacumuladores de los contaminantes del aire. Por nombrar, algunos trabajos:

En otro momento, Cristofolini et al. (2008) en su investigación realizada en una fábrica de cemento y en carreteras urbanas cerca al valle Prealps, Trentino al norte de Italia, se encontró como resultado que el efecto sinérgico por alta correlación entre el SO₂ y NO_x era negativo. De otro lado, Daniel Antonio Andrés (2000), en Rosario, Argentina, observó bajas concentraciones de CO, SO₂ y NO_x en zonas suburbanas y altas concentraciones en zonas cercanas a la mayor actividad comercial, encontrándose que las concentraciones de los contaminantes tienden a disminuir durante el fin de semana. Esto debido a la poca circulación de vehículos por la zona (Andrés et al., 2000).

También se mencionan trabajos, donde a veces los efectos hacia los líquenes de la contaminación fuera de la ciudad son contundentes, tal como se muestra en una investigación en León, Asturias y Valencia (España), donde se concluyó que las muestras trasplantadas de líquenes en zonas aledañas a las centrales térmicas, no sobrevivieron más de 15 o 16 semanas producto de los contaminantes SO_2 y óxidos de nitrógeno (NO_x) (Fernández – Salegui, 2002), muy por el contrario en la ciudad, la desaparición de líquenes se debe a contaminantes gaseosos como el dióxido de azufre, fluoruros, ozono, óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono y otros contaminantes gaseosos que emanan los automóviles por combustión (Hawksworth, 2005), sin embargo en Juana Koslay, San Luis, en Argentina se encontró que no existen diferencias significativas entre la cobertura de líquenes y la calidad del aire en el área contaminada (combustión de hornos que queman leña y combustible para la cocción de ladrillos – emisiones de SO_x y NO_x) y las dos áreas no contaminadas (Santoni y Lijteroff, 2006). En un estudio, se concluyó que el dióxido de azufre y el dióxido de nitrógeno son los principales contaminantes presentes en la atmósfera y ellos influyen en el crecimiento, distribución y salud de los líquenes (Estrada, 2011).

Específicamente, tratando el tema de cobertura liquenácea se podría mencionar que en un estudio realizado en Sevilla - España se encontró que, en zonas residenciales con alto tráfico vehicular emisores de SO_2 y NO_2 presentan menor cantidad de cobertura de líquenes (Cepeda y García, 1998), asimismo, en un estudio realizado en la ciudad de San José Costa Rica, se encontró un deterioro en la cobertura de líquenes después de 1976 y una mejora a partir de 1986, al disminuir la cantidad de plomo en la gasolina y mejorarse los patrones de tránsito (Monje – Nájera, 2002); sin embargo, en una investigación realizada en las Islas Galápagos, Santa Cruz se encontró que los sitios muy cercanos a la zona de quema reciben todo el humo; en ellos

la cobertura de líquenes es muy baja inclusive llega a cero por ciento (Vergara, 2005). Dos años más tarde, en La Paz, El Alto Bolivia, se encontró que la distribución y cobertura de los líquenes y el IPA (Índice de Pureza Atmosférica) parecen responder a tres factores: contaminación atmosférica por el tráfico vehicular y otras fuentes de emisión (quema de basura a cielo abierto), dispersión de los contaminantes por brisas de viento en plazas y avenidas anchas y la extensión de las áreas con vegetación (Anze, 2007).

Por otro lado, en el año 2011, se evaluó la calidad del aire en la ciudad de La Paz, usando el Índice de Pureza Atmosférica (IAP), obteniendo como resultados que, en áreas de alta intensidad vehicular, consecuentemente más contaminadas, existe menor diversidad de líquenes, además de valores bajos de presencia y cobertura. Las áreas con menor contaminación registraron mayor diversidad liquenácea y valores mayores de cobertura y presencia (Canseco, 2011).

2.2. BASES TEÓRICAS O CONCEPTUALES

2.2.1. Teoría de la contaminación ambiental

La contaminación ambiental es la introducción o presencia de sustancias, organismos o formas de energía en ambientes o sustratos a los que no pertenecen o en cantidades superiores a las propias de dichos sustratos, por un tiempo suficiente, y bajo condiciones tales, que esas sustancias interfieren con la salud y la comodidad de las personas, dañan los recursos naturales o alteran el equilibrio ecológico de la zona. Martínez (2004) manifiesta que la contaminación atmosférica puede tener carácter local, cuando los efectos ligados al foco se sufren en las inmediaciones del mismo,

o planetario, cuando por las características del contaminante, se ve afectado el equilibrio del planeta y zonas alejadas a las que contienen los focos emisores

La contaminación ambiental puede ser de varios tipos:

- a) Contaminación del aire
- b) Contaminación del agua
- c) Contaminación del suelo,
- d) Contaminación acústica
- e) Contaminación social (corrupción e injusticias)

2.2.2. Teoría de la calidad del aire

El aire es una mezcla compleja de varias sustancias. Sus principales constituyentes son el nitrógeno, oxígeno, y vapor de agua. En menor cuantía presenta dióxido de carbono, metano, hidrógeno, argón y helio. Los contaminantes del aire pueden agruparse en dos categorías: los contaminantes primarios, que se emiten directamente a la atmósfera; y los contaminantes secundarios, que se forman en la atmósfera a partir de precursores primarios debido a reacciones químicas tales como hidrólisis, oxidación y reacciones fotoquímicas.

Se consideran contaminantes primarios: las partículas totales en suspensión (PTS), el monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO₂), dióxido de nitrógeno (NO₂) y como contaminante secundario se considera al ozono (O₃) (Matus C. P., 2002). El mismo autor indica que los contaminantes atmosféricos que no están en forma de gas se denominan con el nombre genérico de partículas. Comprenden compuestos químicos

en forma sólida o de gotitas líquidas y en función a su tamaño se clasifican en dos grupos, a) las partículas de mayor tamaño que en condiciones normales se depositan por acción de la gravedad, y constituyen la materia sedimentable o polvo; y b) las partículas de diámetro menor que no sedimentan fácilmente y forman en el aire suspensiones estables dotadas de movimiento *browniano*. Se denominan con el nombre de partículas en suspensión o aerosoles. Las partículas se forman de dos maneras: por subdivisiones o roturas de fragmentos mayores de materia y por aglomeración o reunión de fragmentos pequeños incluyendo moléculas. Por otro lado, el ozono es un gas que se forma mediante una serie de complejas reacciones, antes mencionadas, en la atmósfera. La concentración de ozono existente en una determinada localidad depende de varios factores, entre los que destacan la cantidad de NO₂, cantidad y tipo de COV, intensidad de la radiación solar y otras condiciones climáticas. Cabe recordar que el ozono producido naturalmente en la estratósfera (capa más externa de la atmósfera, > 10 000 msnm), cumple con la función de proteger a la tierra y sus seres vivos de las radiaciones ultravioletas provenientes del sol; por lo que, su beneficio para la protección de la salud de las personas y el medio ambiente resulta indiscutible. El ozono que produce efectos en la salud es el que se encuentra al nivel de la tropósfera (Matus C. P., 2002).

2.2.3. Teoría de líquenes. Caracterización y clasificación

A – Caracterización: Los líquenes son organismos simbióticos compuestos por una parte fúngica (el micobionte) y otra, u otras, fotosintéticas (el fotobionte o el ficobionte), que normalmente corresponde a un alga verde o a una cianobacteria. Por ello, se puede considerar a los

líquenes como un ejemplo del mutualismo, en el que todos los componentes se benefician de la asociación. Sin embargo, algunos investigadores consideran que se trata de un parasitismo controlado ya que, el hongo parece que obtiene la mayoría de los beneficios, mientras que el fotobionte parece que crece más despacio en la asociación liquénica que en su forma libre de vida (Mares, 2017).

Los líquenes son organismos que no necesitan grandes cantidades de nutrientes o agua, y son particularmente resistentes a los extremos hídricos y térmicos. Ecológicamente son importantes colonizadores de zonas áridas y se adaptan a cualquier tipo de superficie, sea esta corteza de árboles, suelo, rocas, o construcciones humanas. Son organismos fisiológicamente fotosintéticos y autótrofos, por lo que dependen de la luz para su funcionamiento (Mares, 2017).

En el mundo se han identificado aproximadamente veinte mil especies de líquenes. Los líquenes se caracterizan principalmente por la forma de su talo, el cual posee cuatro capas denominadas corteza superior, capa formada por algas, médula y corteza inferior (figura 4).

B – Clasificación: Generalmente a los líquenes, se les ha dividido en tres grupos morfológicos principales: foliosos, crustáceos, y fruticulosos. Sin embargo, hay numerosos tipos especiales aparte, como los líquenes gelatinosos, que junto a otros se pueden integrar dentro de los tres grupos mencionados anteriormente.

- **Líquenes foliosos**, que se asemejan a hojas (Barreno, 2003).

Sus características principales son: Es dorsalmente aplanado; presenta aspecto como roseta; tiene diferencia de color entre la superficie

superior y la inferior. Se fija a la superficie de forma laxa; son muy abundantes, pueden crecer en el suelo como en epifitas. Algunas son comunes en la selva y muchas crecen en zonas alteradas. Son de tipo heterómero. Una vista del líquen se visualiza en la figura 1.



Figura 1. Vista de un líquen de tipo folioso

Fuente: Judkevich, M., Medina, W. y Salas, R. (2012)

- **Líquenes crustáceos**, los cuales tienen forma de costra (Barreno, 2003).

Sus características son: Es imposible separarlo del sustrato.

Se observa en forma de manchas grisáceas o verdosas sobre rocas o troncos. Son de tipo heterómero.



Figura 2. Vista de un líquen de tipo crustáceo
Fuente: Recolección propia

- **Líquenes fruticulosos**, cuyos talos adquieren diferentes formas de pequeños arbustos (Barreno, 2003).
Sus características son: Tienen forma de pequeño arbusto. Se fijan al sustrato mediante un disco de fijación (lóbulos alargados y estrechos que se sujetan al sustrato por la mínima superficie). Sobresalen mucho del sustrato y pueden ser erectos o colgantes. Dependen de la humedad relativa del aire para su hidratación



Figura 3. Vista de un líquen de tipo fruticoloso
Fuente: Judkevich, M., Medina, W. y Salas, R. (2012)

De acuerdo al tipo de sustrato en que crecen se pueden clasificar en:

- Cortezas de árboles (arbóreos o epifloedicos)
- Suelo (edáficas o epiedáficas),
- Rocas (epilíticas) y
- Hojas (epifilos)

Como se desarrollan en todos los tipos de sustratos y de ambientes, se les denomina ubicuistas, sin embargo, cada especie vive en un rango determinado de condiciones físicas (estenoicos). Por lo que, son buenos bioindicadores de la contaminación y en el mundo existe una variedad de especies que para su correcta identificación se requiere de especialistas en la materia (Judkevich, 2012).

2.2.4. Los líquenes como bioindicadores

Tal como se mencionó en la parte introductoria del presente trabajo, fue en 1866 cuando se propone la utilización de los líquenes como bioindicadores de la contaminación atmosférica. Por ello, a nivel mundial el avance de la liquenología ha sido muy extenso en los últimos años. Conti y Cecchetti (2001) presentaron un resumen sobre el estado del conocimiento de los líquenes como indicadores biológicos para estimar la contaminación del aire, e indican que en pocos años se han publicado alrededor de 2000 artículos sobre el análisis de los líquenes. Se cita como estrés ambiental a todos los componentes químicos que se vierten a la atmósfera por el resultado de la actividad humana y que causan daño a los organismos vivientes.

Son muchos los parámetros morfológicos, metabólicos y fisiológicos de los líquenes que pueden ser usados para evaluar el daño ambiental en

los líquenes, como el contenido y degradación de la clorofila, cambios en los procesos fotosintéticos, la producción de etileno, las variaciones en los niveles de respiración, la conductividad eléctrica y los parámetros antioxidantes, entre otros.

2.2.5. Morfología de líquenes

Lo que se observa comúnmente de un líquen es su estructura básica o el talo, el cual tiene formas muy diversas (Umaña, 2002).

Al hacer un corte transversal de un talo (figura 4) se observa sus principales partes: la corteza superior, la corteza inferior, ambas formadas por filamentos (hifas) del hongo, una capa interna superior que contiene células del alga e hifas del hongo, llamada capa formada por algas, y una capa interna inferior formada por hifas del hongo, llamada **médula**.

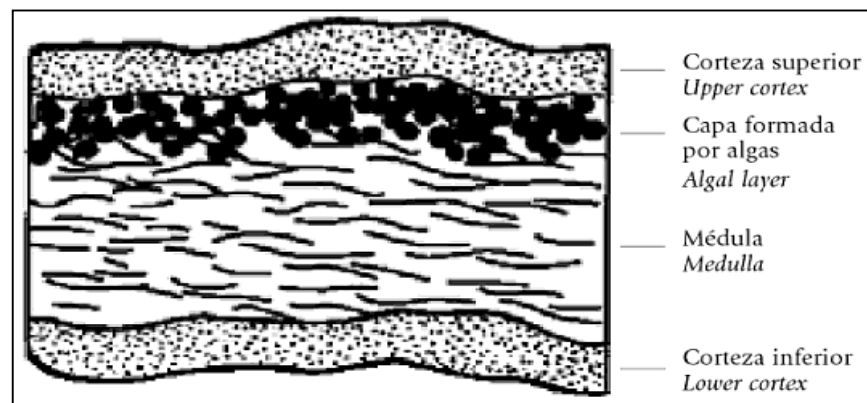


Figura 4. Corte transversal de un talo

Fuente: Umaña, Loengrin, Sipmann, Harrie "Líquenes de Costa Rica" (2002)

2.2.6. Factores que influyen en el desarrollo de líquenes

De acuerdo con Umaña y Sipman (2002), los factores principales que determinan su desarrollo son:

- **El agua.** Los líquenes no tienen órganos especiales para absorber o conservar el agua del sustrato en que viven. Dependen de la lluvia y el rocío para obtener agua. Crecen más en lugares con humedad frecuente.
- **La temperatura.** Para su óptimo crecimiento, los líquenes requieren temperaturas que varían entre 288 y 298 K (15 y 25 °C.) Los líquenes también son muy resistentes en estado seco, cuando se detiene su proceso de crecimiento.
- **La luz.** La mayoría de los líquenes prefieren un hábitat con mucha luz.
- **El sustrato.** Los líquenes pueden vivir y crecer en una gran variedad de superficies o sustratos, como rocas, madera, tierra, hojas y corteza. Muchas especies de líquenes pueden crecer únicamente sobre superficies específicas. Los que habitan en bosques húmedos generalmente viven sobre corteza (cortícolas). Un ejemplo de éstos es la especie *Lobaria pallida*, la cual en el mundo se distribuye en las montañas neotropicales desde México hasta Bolivia; en Costa Rica, tiene amplia distribución en las montañas altas de Cartago (Volcán Irazú) y San José (Cerro de la Muerte y Parque Nacional Chirripó). Los que habitan en zonas frías o desiertos generalmente están sobre el suelo (terricolas) o rocas (saxícolas) y los que crecen sobre hojas (folícolas) sólo se encuentran en climas similares a los de los bosques tropicales húmedos y en bosques templados con alta precipitación.

- **La contaminación ambiental.** Los líquenes se ven afectados por la contaminación atmosférica, la cual interfiere con su distribución, degradándolos y reduciendo su cobertura en el sustrato.

2.2.7. Los líquenes y el dióxido de azufre

Una gama de trabajos de investigación realizados en todo el mundo, certifican que los líquenes responden al dióxido de azufre (SO₂). De ellos se ha comprobado que la exposición a SO₂ durante un periodo de tiempo largo puede causar interferencias en el flujo de algunos nutrientes, como carbohidratos, causando daño en la simbiosis. Además, el SO₂ causa un aumento de los azúcares reducidos y una disminución de los no reducidos, efecto que probablemente se deba a una rotura de polisacáridos ricos en azúcares reducidos.

Una evidencia palpable de tal respuesta es la recolonización de zonas de toda Inglaterra por parte de especies de líquenes que habían desaparecido al descender los niveles de SO₂ troposférico, y se observó la menor presencia de la especie *Lecanora conizaeoides* (Mares 2017).

2.2.8. Los líquenes y los compuestos nitrogenados

Los líquenes no responden directamente a los niveles de compuestos nitrogenados presentes en la atmósfera. No obstante, Van Dobben y Ter Braak demostraron en 1998 que el crecimiento de las especies nitrófilas de líquenes está favorecido por un pH alto presente en las cortezas de los árboles, que a su vez está relacionado con los niveles elevados de NH₃ en el medio. Por tanto, existe una correlación positiva

entre líquenes que crecen en medios ricos en nitrógeno y concentraciones de NH₃ atmosférico, aunque la respuesta siempre es mayor al SO₂

De acuerdo a los resultados de investigaciones se detectó que altas concentraciones de NO_x procedentes de las emisiones de los vehículos afectan negativamente a la presencia de líquenes en el medio (Mares 2017).

2.2.9. Los líquenes y el ozono

El principal efecto del O₃ sobre los líquenes es el daño a las membranas celulares, pero se ha documentado también que daña el aparato fotoquímico. Ross y Nash estudiaron en 1983 como *Flavoparmelia caperata* disminuía un 50 % su fotosíntesis neta tras ser fumigada con O₃ en periodos breves. Más recientemente, en el año 2000, Zambrano y Nash mostraron como *Usnea ceratina* también veía notablemente reducida su fotosíntesis neta al ser fumigada 6 horas al día durante 5 días con O₃

2.2.10. Los líquenes y los metales pesados

Los metales pesados, por lo general, se encuentran disueltos en forma de iones y la manera de que estos tengan contacto con el talo de los líquenes es a través de las lluvias, las aguas superficiales y la difusión pasiva desde el sustrato. La cantidad de cada ion metálico que se acumula en el talo del líquen depende de:

- a) Característica de absorción de cada especie
- b) Cantidad disponible en el medio de iones metálicos

Se han estudiado las respuestas de muchas especies de líquenes a metales pesados como: Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sn, V y Zn. Uno de ellos fue, P. Bosch-Roig et ál. (2013) quienes estudiaron el contenido de los metales pesados mencionados en tres especies de líquenes de tipo crustáceo, pues generalmente se utilizan líquenes epifitos.

Finalmente, Conti, (2001), menciona que se han realizado muchos intentos en ampliar los conocimientos sobre la interacción entre líquenes y metales pesados utilizando técnicas analíticas como: resonancia magnética nuclear; resonancia paramagnética electrónica y luminiscencia.

2.2.11. Emisiones de vehículos automotores

Los vehículos automotores que, en general son propulsados por motores de combustión interna (motocicletas, vehículos de pasajeros, camiones y autobuses) que circulan por pistas y vialidades producen tres tipos de emisiones:

- a) Emisiones evaporativas
- b) Emisiones por el sistema de escape
- c) Emisiones de partículas debido al desgaste de frenos y neumáticos.

Tal como se muestra en la figura 5.

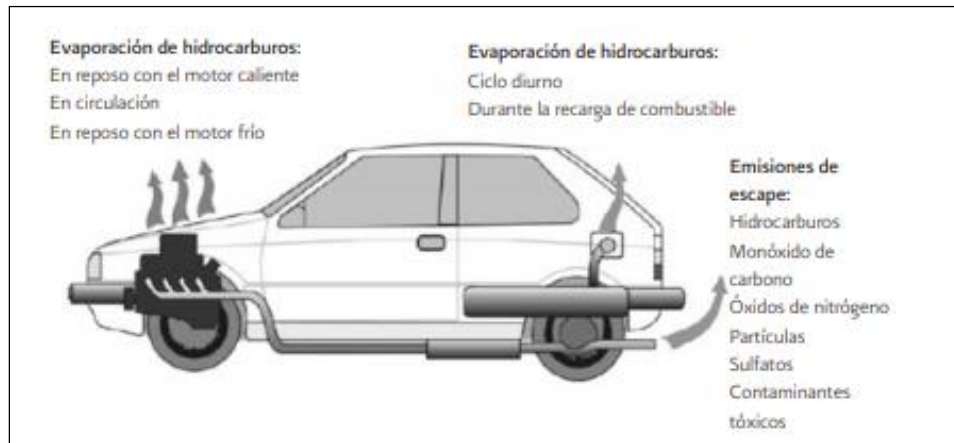


Figura 5. Tipos de emisiones vehiculares

Fuente: INE – SERMANAT, 2005 (<http://www2.inecc.gob.mx>)

Las emisiones de un solo vehículo comparadas con las emisiones de una chimenea industrial son muy bajas, pero si consideramos a todos los vehículos que circulan a diario por una vía, las emisiones son considerables.

A – Emisiones evaporativas – Son causadas por la evaporación de combustible, que puede ser: gasolina, diésel, gas licuado, gas natural o biocombustibles y pueden ocurrir tanto cuando el vehículo está estacionado o cuando está en movimiento. Su magnitud depende de los siguientes aspectos:

- a) Características del vehículo
- b) Factores geográficos y meteorológicos, como la altura y la temperatura ambiente
- c) Presión del vapor de combustible

B – Emisiones por el sistema de escape – Estas emisiones resultan del proceso de combustión de cualquiera de los combustibles mencionados arriba, los cuales son:

- a) Monóxido y bióxido de carbono, [CO] y [CO₂]
- b) Hidrocarburos, [HC_x]
- c) Los óxidos de nitrógenos, [NO_x]
- d) Las partículas
- e) Contaminantes presentes en el combustible: como el azufre (motores diésel) y como el plomo (motores gasolineros)

Su magnitud depende de los siguientes aspectos:

- a) Características del vehículo
- b) Tecnología del vehículo
- c) Estado de mantenimiento y
- d) Su sistema de control de emisiones

Si el proceso de combustión fuera perfecto, el oxígeno del aire convertiría todo el hidrogeno del combustible en H₂O y todo el carbono en CO₂. Pero en la práctica esto no sucede, por lo que los vehículos automotores emiten contaminantes que los podemos agrupar tal como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1

Contaminantes emitidos por el vehículo

Tipo de emisión	Contaminantes emitidos
Emisiones evaporativas	Hidrocarburos
Emisiones por el sistema de escape	Hidrocarburos, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, bióxido de carbono, bióxido de azufre, plomo (motores gasolineros), amoniaco, metano y partículas.

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 2 se detalla una descripción en tres aspectos: características principales, formación y su impacto en la salud y el medio ambiente de cada una de las emisiones por el sistema de escape:

Tabla 2

Descripción detallada de los contaminantes principales

N°	EMISION	ASPECTOS
1	Monóxido de Carbono [CO]	Características. - Es un gas inodoro, incoloro y sin sabor Formación. - Combustión incompleta del combustible en el motor y ocurre cuando el carbono en el combustible se oxida parcialmente Impacto a la salud. - Es altamente tóxico y peligroso. Se adhiere con facilidad a la hemoglobina de la sangre y reduce el flujo de oxígeno en el torrente sanguíneo, ocasionando alteraciones en el sistema nervioso y cardiovascular

Continuación de la tabla 2

N°	EMISION	ASPECTOS
2	Hidrocarburos, [HC]	<p>Características. - Conocidos como los (COV), compuestos orgánicos volátiles son los precursores del “Ozono”.</p> <p>Formación. - Resultan de la mala combustión del combustible y por los depósitos de carbón en las superficies de la cámara, cuando la mezcla es comprimida</p> <p>Impacto a la salud. - Son altamente tóxicos para el ser humano</p>
3	Óxidos de Nitrógeno, [NOx]	<p>Características. - Es un gas inodoro, incoloro y sin sabor. Al igual que los hidrocarburos, son precursores del ozono. Con la presencia de la humedad en la atmosfera se convierte en ácido nítrico, que origina al fenómeno conocido como “lluvia acida”</p> <p>Formación. - Se forman bajo las condiciones de alta temperatura y presión. Cuando sobrepasa los 2 500 °F.</p> <p>Impacto a la salud. – Genera la disminución de defensas contra infecciones respiratorias.</p>
4	Bióxido de Azufre, [SO ₂]	<p>Características. - Es un gas incoloro de fuerte olor. Mientras menos porcentaje de azufre contenga el combustible, menor serán los porcentajes de emisiones de SO₂.</p> <p>Formación. - Se forma generalmente en los motores diésel, debido a la combustión de los compuestos de azufre</p> <p>Impacto a la salud. – Es un gas irritante para los ojos, nariz y garganta y agrava los síntomas del asma y la bronquitis. Su exposición prolongada reduce el funcionamiento pulmonar y causa enfermedades respiratorias.</p>

Continuación de la tabla 2

N°	EMISION	ASPECTOS
5	Partículas, [PM]	<p>Características. - Conocido como “Carbonilla” partículas emitidas al aire y “Hollín” partículas emitidas al aceite.</p> <p>Formación. - Son producto de los procesos de combustión, cuando se produce la desintegración de los hidrocarburos. Especialmente cuando estos son hidrocarburos aromáticos</p> <p>Impacto a la salud. - Asociado con un aumento de síntomas de enfermedades respiratorias como: reducción de la función pulmonar, agravamiento de asma y muertes prematuras por cáncer a los pulmones.</p>
6	Dióxido de Carbono [CO ₂]	<p>Características. - Es un gas incoloro, inodoro y con un ligero sabor ácido, es aproximadamente 1,5 veces más denso que el Aire.</p> <p>Formación. - Se forma generalmente en los catalizadores de los vehículos, por acción de los elementos Paladio y Rubidio</p> <p>Impacto a la salud. – No es dañino a la salud humana, pero es un gas que contribuye seriamente con el calentamiento global</p>

Fuente: Elaboración propia, con asistencia de INE – SERMANAT, 2005. México y A. Pari. Tesis UNJBG 2010

En la figura 6 se muestra gráficamente los porcentajes de emisiones de los gases descritos en la tabla 2.

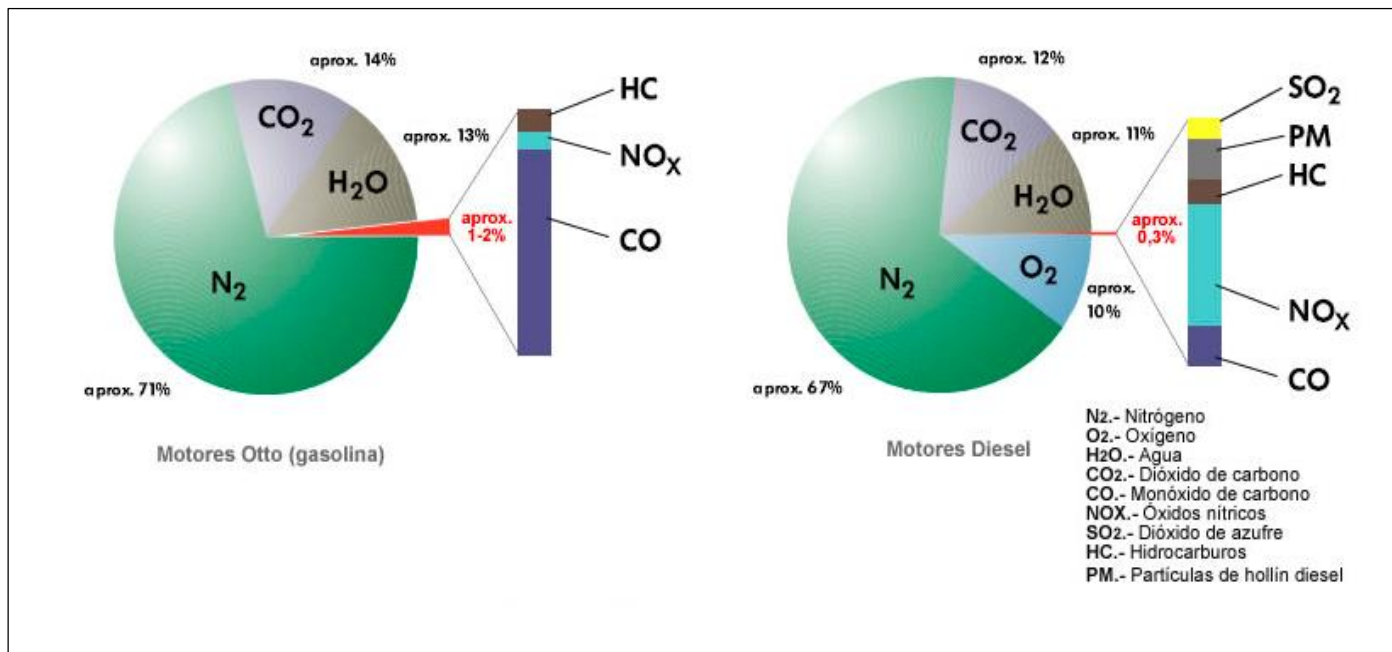


Figura 6. Composición en porcentaje de los gases de escape emitidos por los vehículos motorizados

Fuente: <http://www.aficionadosalamecanica.net>

2.2.12. Análisis del flujo vehicular

Realizar un análisis de los elementos de flujo vehicular, nos permite comprender las características y el comportamiento del tránsito y como resultado de este análisis se puede describir la forma cómo circulan los vehículos en cualquier tipo de vía.

Para llevar a cabo dicho análisis se han desarrollado:

- **Modelos microscópicos**, los cuales caracterizan la interacción de los vehículos dentro del tráfico vehicular. Los parámetros son: Intervalo [h] y Espaciamiento [s]
- **Modelos macroscópicos**, los cuales expresan las características de las corrientes vehiculares dentro de la estructura vial. Los parámetros son: Volumen o Flujo [q], velocidad [V] y densidad [k].

Estos modelos sirven de base para el desarrollo de los conceptos de capacidad y niveles de servicio de cualquier estructura vial (Vargas, 2012).

A – Volumen [Q] e Intensidad o tasa de flujo [q]

Son dos parámetros que cuantifican la cantidad de vehículos que pasan por un punto o una sección de una vía, en un intervalo de tiempo concreto. El volumen es un número real de vehículos observados, mientras que la intensidad o tasa de flujo representa el número de vehículos que pasan en un intervalo menor a una hora, generalmente 15 minutos.

La tasa de flujo se calcula para cada periodo de 15 minutos con la siguiente fórmula:

$$q = \frac{q_{15}}{15 \text{ min}} \cdot \left(\frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} \right) = \frac{q_{15}}{15} \cdot 60 = q_{15} \cdot 4 \quad [1]$$

El volumen horario [Q] se determina sumando cuatro periodos consecutivos de volúmenes de 15 minutos

$$Q = \sum_{i=1}^N q_{15} ; [\text{Veh/h}] \quad [2]$$

$$Q_{15} = Q \cdot \frac{\text{Veh}}{h} \cdot \left(\frac{0,25 \cdot h}{15 \text{ min}} \right) ; [\text{Veh/15 min}] \quad [3]$$

Dónde: Q_{15} – Volumen referido a un periodo de 15 minutos.

B – Variables relacionadas con la velocidad

Las variables son: velocidad media; velocidad temporal y velocidad espacial, velocidad de operación, velocidad de diseño, velocidad de marcha y velocidad de recorrido. (Vargas, 2012).

C - Variables relacionadas con la densidad

a) Densidad o concentración (k)

Se define como el número de vehículos que ocupan un tramo de longitud dado de un carril o una vía, en un instante concreto. La densidad se promedia en el tiempo. Se expresa en vehículos por kilómetro [veh/km] y se calcula por la expresión siguiente:

$$k = \frac{N}{d} \quad [4]$$

donde:

K – Densidad; [Veh/km]

N – Numero de vehículos

d – Distancia en km

b) Espaciamiento simple (s_i)

Distancia de paso entre dos vehículos consecutivos expresada en metros y medida entre parachoques posteriores

sustancias proporcionando de este modo información del medio ambiente en el que se encuentran (Canseco, 2006).

Bioindicación. - Es un proceso biológico, que se puede utilizar para evaluar la calidad del medio ambiente y su evolución con el medio ambiente (Mares, 2017). Aunque, los términos bioindicación y biomonitorización en el lenguaje común son sinónimos, en el lenguaje científico adquieren significados diferentes.

Biomonitores. - Son organismos, partes de organismos o una comunidad de ellos que permiten “cuantificar” la calidad atmosférica mediante comparación de rangos o en relación a un nivel considerado de “background”. Su comportamiento muestra una relación lineal en términos dosis- respuesta ya sea con la concentración de un polutante en el aire, con la combinación de ellos y/o con el tiempo de exposición. La respuesta en forma de una reacción específica o la acumulación de ciertos contaminantes, idealmente debe ser fácilmente medible, con una metodología de bajo costo y debe diferenciarse de reacciones sobre factores naturales (Anze, R., Franken, M. y Zavalla, M., 2007).

Bioacumuladores. - Organismos que acumulan sustancias particulares dentro de sus tejidos, cuyas concentraciones se determinan mediante métodos químicos.

Biomarcadores. - Cambios fisiológicos o bioquímicos ocasionados por compuestos químicos en un organismo

Biomonitoreo. - Es la utilización de biomonitores en series definidas de medición con la finalidad de evaluar la calidad del aire en un sitio determinado, para un contaminante específico o un grupo de polutantes presentes en dicha zona. Cuando los biomonitores que se utilizan son

aquellas especies que se encuentran presentes en los ecosistemas a evaluar, entonces se habla de biomonitoreo pasivo (Anze et al., 2007).

Especies Indicadoras. - Son aquellas que por sus características (sensibilidad a perturbación o contaminantes, distribución, abundancia, dispersión, éxito reproductivo, entre otras) pueden ser utilizadas como estimadoras de los atributos o estatus de otras especies o condiciones ambientales de interés que resultan difíciles, inconvenientes o costosos de medir directamente (Isasi, 2011).

Las especies indicadoras de biodiversidad. - Son aquellas cuyos patrones de distribución están relacionados con áreas de alta riqueza de especies (Isasi, 2011).

Talos liquenáceos. - Los talos liquenáceos son sistemas emergentes que generan una gran variedad de estructuras vegetativas, formas de crecimiento, reproducción y biotipos especiales (Barreno, 2003).

Índice de Pureza Atmosférica (IPA).- Método que analiza los efectos sobre las comunidades de líquenes debido a la contaminación, con el fin de evaluar la calidad del aire de un lugar determinado (Canseco, 2006).

Vehículo. - Es un medio que permite el traslado de un lugar a otro. Cuando traslada a personas es llamado **vehículo de transporte de pasajeros**, y cuando traslada objetos es llamado **vehículo de transporte de carga**. Los vehículos más comunes son los terrestres, esto debido a su versatilidad, economía, accesibilidad y asequibilidad (Vargas, 2012).

Flujo Vehicular. - Es una serie de decisiones individuales de los usuarios de la red vial y puede producirse en un momento y lugar determinado. Cada

usuario decide cómo y cuándo recorrer lo que considera la mejor ruta para llegar a su destino (Lozano, 2003).

Zona de baja contaminación. – Zona por donde el tráfico vehicular es bajo, y que puede ser el paradero final de una ruta o las periferias de un distrito alejado del centro de la ciudad.

Zona contaminada. – Zona por donde el tráfico vehicular es alto, y por donde circulan tanto vehículos particulares como vehículos del Sistema de Transporte Masivo Urbano. Es una zona ubicada en el centro de la ciudad.

CAPÍTULO III

MARCO FILOSÓFICO

3.1. PENSAMIENTO CRÍTICO

Una de las más importantes definiciones de “pensamiento crítico” es la de Matthew Lipman, con vigencia a partir del año 1980. Se sintetiza de la manera siguiente: el pensamiento crítico es una herramienta útil para combatir opiniones no fundamentadas (pensamiento no crítico) y acciones irreflexivas.

Según Carlos Saiz (2009): “El pensamiento crítico es la actividad intelectual que nos permite conseguir nuestros fines de la manera más eficaz. Unos años más tarde (2017), el mismo autor afirma: “Pensar críticamente simplemente es pensar bien. Dicho de otro modo, el pensamiento crítico es un proceso de búsqueda de conocimiento, a través de habilidades de razonamiento, de solución de problemas y de toma de decisiones, que nos permite lograr, con la mayor eficacia, los resultados deseados”. E integrando los componentes: “Pensar críticamente es razonar y decidir para resolver problemas (o lograr nuestras metas)”. Y así se llega a la esencia del pensamiento crítico según este autor: “Pensar críticamente es alcanzar la mejor explicación para un hecho, fenómeno o problema, con el fin de saber resolverlo eficazmente.

“Tener sentido crítico, en fin, significa lo mismo que ser una persona de criterio: conocer las normas que aseguran el camino de la razón hacia la verdad y ponderar con arreglo a ellas las deliberaciones y las decisiones” (Barrio Maestro, 2010).

Analizando las definiciones anteriores, podemos afirmar que el pensamiento crítico nos permite plasmar nuestros objetivos con criterio. Y es así, como los ingenieros aplican el criterio para la solución de problemas.

3.2. INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA POSITIVISTA

Existen diversos paradigmas y pensamientos filosóficos, los cuales de diferentes maneras tratan de buscar la verdad y en ocasiones entran en conflicto con los postulados ideológicos vigentes. Entre estos paradigmas se encuentra el positivismo (Pérez Villanueva, 2015).

El termino positivismo fue utilizado por primera vez por el filósofo y matemático francés Auguste Comte (1798 – 1857), quien se interesó por la reorganización de la vida social para el bien de la humanidad a través del conocimiento científico, y por esta vía, del control de las fuerzas naturales.

Una expresión más reciente sobre positivismo es la de Díaz (2014), quien indica que no existe otro conocimiento que el que proviene de la experiencia, por tanto, niega la posibilidad de que la teoría puede ser una fuente de conocimiento y, es más, niega la posibilidad de que la filosofía pueda contribuir al conocimiento científico

Por ello, Pérez (2015), menciona que, el positivismo es una epistemología híbrida que combina el racionalismo con el empirismo y la lógica deductiva con la lógica inductiva, también ha sido denominado hipotético deductivo, cuantitativo, empírico-analista y racionalista. Es decir, el hecho es la única realidad científica, y la experiencia y la inducción, los métodos exclusivos de la ciencia.

Hoy en día, se reconoce que los fenómenos no son aislados, el investigador no es objetivo ni los resultados son certeros. Existe relatividad

e incertidumbre en todos los fenómenos observados, y el mundo se percibe como un gran caos de partículas que interactúan sin orden preestablecido (Casal y Vilorio, 2002).

CAPÍTULO IV

MARCO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN

4.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

El tipo de investigación se refiere al grado de profundidad con la que se aborda el estudio; por lo que, el presente estudio es una investigación “Descriptiva explicativa”, dado que se describirá y explicará los cambios de los líquenes en lo que se refiere a su composición, cobertura y otros.

4.2. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

El diseño de investigación es la estrategia que adopta el investigador para responder al problema planteado, por lo que el diseño de investigación del presente estudio es “Investigación de campo”.

4.3. POBLACIÓN Y MUESTRA

4.3.1. Población

Está compuesta por los líquenes que se encuentran en zonas altas de los distritos de Alto de la Alianza, Calana, Pachía o Calientes, por recomendación del biólogo Cesar Nicolás Cáceres Musaja, ex docente de la UNJBG.

4.3.2. Muestra

La muestra de estudio está conformada por cuatro líquenes, los que serán seleccionados y debidamente recogidos en sobres de papel manteca

4.4. VARIABLES DE ESTUDIO

4.4.1. Variable independiente

- Zona contaminada (zona con altas emisiones de gases vehiculares)
- Zona de baja contaminación (zona con bajas emisiones de gases vehiculares)
- Tiempo de permanencia del liquen

4.4.2. Variable dependiente

- Presencia de azufre en la estructura del liquen
- Porcentaje de Cobertura del liquen
- Color y resequedad del liquen

4.4.3. Operacionalización de variables - Se visualizan en las tablas 3 y 4 siguientes:

Tabla 3

Descripción de la variable independiente

NOMBRE DE LA VARIABLE	INDICADOR
Zona contaminada	Flujo vehicular alto
Zona de baja contaminación	Flujo vehicular bajo
Tiempo de permanencia	3 meses (90 días)

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4

Descripción de la variable dependiente

NOMBRE DE LA VARIABLE	INDICADORES	MÉTODO DE MEDICIÓN
Presencia de azufre en la estructura del líquen	% de volumen de azufre	Análisis en microscopio electrónico de barrido
Cobertura del líquen	% de cobertura	Aplicación del programa especializado Cob Cal
Color del líquen	Decoloración	Observación visual
Resequedad del líquen	Pérdida de vigor	Observación visual

Fuente: Elaboración propia

4.5. EQUIPOS Y PROCESOS DE MEDICIÓN

4.5.1. Equipos

El equipo a usar es un microscopio electrónico de barrido “MEB” que pertenece al laboratorio de microscopía de la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica y sus detalles se muestran en la tabla 5.

El principio de funcionamiento del MEB se basa en que, este explora la superficie de la imagen punto por punto, y recorre la muestra con un **haz muy concentrado de electrones**. Cada punto leído de la muestra corresponde a un píxel en el monitor. A medida que el haz de electrones barre la muestra, se presenta la imagen de ésta en el monitor

Tabla 5

Detalles del microscopio electrónico de barrido

DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO	MARCA	MODELO	FABRICACIÓN
Microscopio Electrónico de Barrido			
Está compuesto por la columna y un procesador de datos.	TESCAN	VEGA LMD	Checoslovaquia

Fuente: Elaboración propia

Una vista esquemática del principio de funcionamiento del MEB se muestra en la figura 7, donde se emplean fuentes de emisión termoiónica de un filamento de Tungsteno (alambres de 100 μm de diámetro) calentado a temperaturas por encima de 2700 K. Y en la figura 8 se muestra una vista en 3D del equipo MEB.

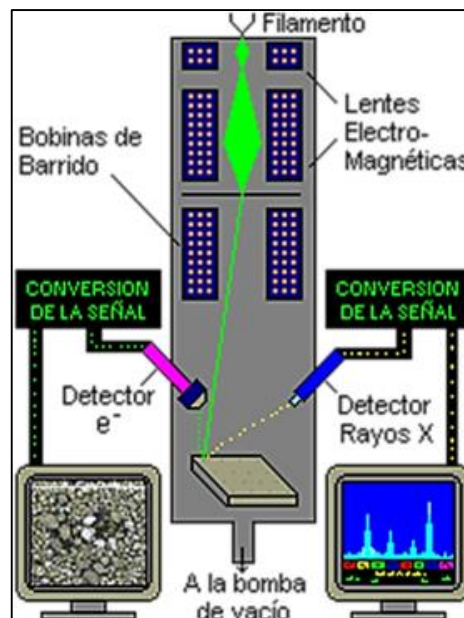


Figura 7. Construcción básica del microscopio electrónico de barrido

Fuente: Elaboración propia



Figura 8. Vista física de microscopio electrónico ESME.

Fuente: Recolección propia

4.5.2. Procesos de medición

Se realizará un análisis antes de ubicar los líquenes en las zonas contaminadas y no contaminadas. Luego se analizarán aproximadamente cada tres meses en un total de cuatro procesos de análisis. Como son 4 líquenes tendremos en total 20 análisis.

4.6. PROCEDIMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

4.6.1. Para el primer objetivo específico

Para cumplir el presente objetivo se aplicará el programa “CobCal versión 2.1. Es un software que permite calcular de forma rápida, sencilla y eficazmente el porcentaje y la superficie. Y está basado en el principio de la colorimetría, utilizando como entrada fotos digitales de la superficie muestreada. La aplicación fue desarrollada por el Grupo de Mecanización

Agrícola de la Estación Experimental Agropecuaria del INTA de Concepción del Uruguay, Técnico Martín Ferrari, Ing. Hernán Ferrari e Ing. María Cecilia Ferrari.

Una vista de presentación del programa se visualiza en la figura 9.



Figura 9. Presentación del programa CobCal v 2.1

Fuente: Grupo de Mecanización Agrícola, Ferrari M.

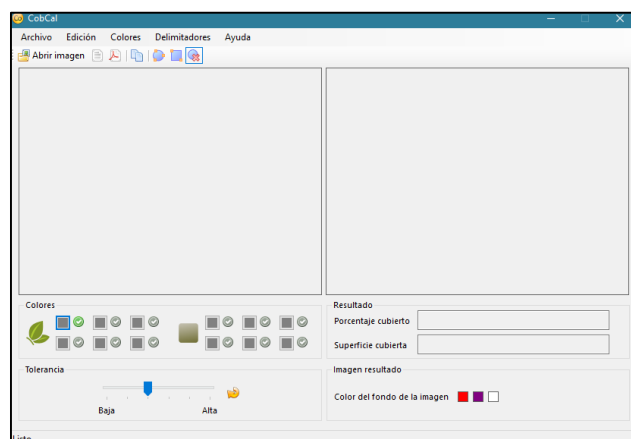


Figura 10. Entorno de trabajo del programa CobCal v 2.1

Fuente: Grupo de Mecanización Agrícola, Ferrari M.

De la figura 10, el cuadro de la parte izquierda se usa para mostrar la imagen del líquen y la parte derecha visualiza el procedimiento de la imagen

Antes de aplicar el programa, se desarrollarán las actividades siguientes:

- a) Se describirá el lugar de origen de los líquenes y los lugares de traslado, donde permanecerán los líquenes por el espacio de 01 año.
- b) Se describirá la taxonomía de los líquenes, teniendo en cuenta el Código Internacional de Nomenclatura Botánica.
- c) Se determinará el flujo vehicular de las zonas donde permanecerán los líquenes, para fundamentar el tipo de flujo vehicular de la zona (zona de alto flujo vehicular) y (zona de bajo flujo vehicular) y con ello, se asegura la existencia de emisiones vehiculares.
- d) Se recogerá los líquenes de los lugares de estudio cada 3 meses, en 4 oportunidades, haciendo un total de 1 año. Ello, nos permitirá realizar un análisis de componentes en el microscopio electrónico de barrido. A cada recogida de líquenes se le denominará “Bajada 1” “Bajada 2”, etc.
- e) En cada bajada se les tomará imágenes, para posteriormente realizar el análisis de cobertura aplicando el software Cob Cal 2.1.

Se debe agregar que, para el traslado de los líquenes a las zonas de estudio, se construyeron cajitas especiales, de tal manera que los líquenes se mantengan seguros, de agentes de rapiña.

4.6.2. Para el segundo objetivo específico

Para cumplir el segundo objetivo específico, se utilizará todos los pasos descritos en el objetivo específico anterior, es decir con las imágenes recolectadas de los líquenes, se aplicará la metodología del juicio de expertos (Escobar, P. y Cuervo M. 2007) para determinar el cambio de color y resequedad.

4.7. PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS DE DATOS

Se aplicará la estadística necesaria como una regresión lineal, para el procesamiento y análisis de datos. Así como para obtener una visualización óptima de los resultados.

La aplicación de la regresión lineal nos permitirá hallar una ecuación de la forma: $\hat{y} = b + a.x$, que se detallará más adelante.

4.8. VALOR DE CORTE DE ZONA CON BAJO Y ALTO TRÁFICO VEHICULAR

Los líquenes recogidos de la zona de origen Calana, se ubicaron en 4 zonas de la ciudad de Tacna. Dos de ellas ubicada en los conos de la ciudad (cono norte y cono sur), correspondiente a una zona de bajo tráfico vehicular y denominada "**Zonas de baja contaminación**". Y los dos restantes fueron ubicados en el mercado de la ciudad, teniendo en cuenta que todas las rutas de Transporte Masivo Urbano pasan por el centro de Tacna, por lo que son zonas con alto tráfico vehicular, denominadas "Zonas **contaminadas**".

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en trabajos de campo del curso "Ingeniería Automotriz" de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la UNJBG, el valor de corte será de 100 vehículos. Es decir: zonas con menos de 100 vehículos de tráfico, se considera "Zona con bajo tráfico vehicular". Y zonas con más de 100 vehículos de tráfico, se considera "Zona con alto tráfico vehicular".

CAPÍTULO V

PRESENTACIÓN DE RESULTADOS DEL ESTUDIO

5.1. CARACTERIZACIÓN DE LÍQUENES Y DE LOS LUGARES DE LA INVESTIGACIÓN

5.1.1. Caracterización del lugar de origen de líquenes

La zona de recolección de los líquenes tipo crustáceo se ubicará en la zona precordillerana de la comuna de Miculla zona de Calientes. Es una zona limpia, libre de contaminación. Los líquenes se desarrollan en rocas ubicadas entre dos cerros. Una vista aérea del lugar se visualiza en la figura siguiente:

Los líquenes como se mencionó en el marco teórico no tienen raíces, se desarrollan en las cortezas de los árboles, en las rocas, etc. Se alimentan de los componentes del aire. Es por ello que, se desarrollan en las zonas consideradas libres de contaminación. Por tal razón, los líquenes en la ciudad no se desarrollan con normalidad, simplemente porque son zonas contaminadas.

En la figura 11 se visualiza el lugar de origen de los líquenes.



Figura 11. Ubicación de la zona de recolección de líquenes

Fuente: Recolección propia

En la figura 12, se visualiza 2 líquenes tal como fueron encontrados en el lugar de origen mencionado y mostrado en la figura 11.

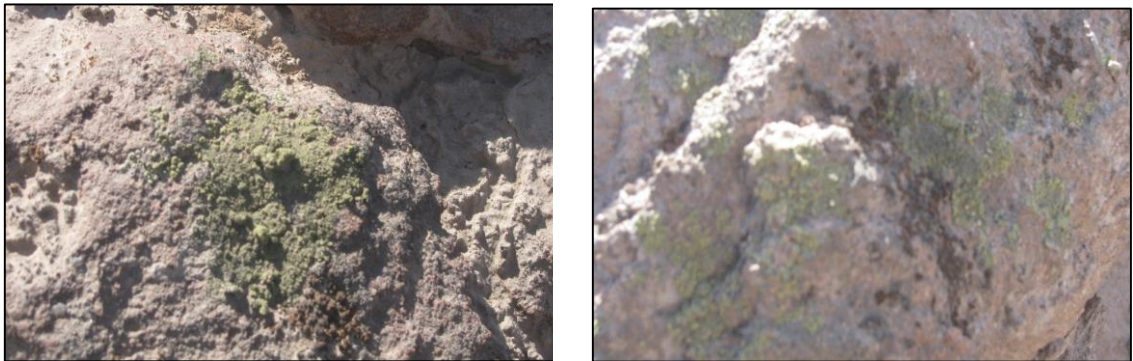


Figura 12. Vista de líquenes encontrados en la zona de origen

Fuente: Recolección propia

5.1.2. Caracterización de líquenes

Los líquenes materia del presente estudio son de tipo crustáceo, es decir se caracterizan por tener forma de costra (Barreno, 2003).

Por lo que, el Talo crustoso-areolado a escumulosolobulado, forma costras circulares o irregulares sobre el sustrato, de 3-5 cm de diámetro o disperso sobre el sustrato, escamas ligeramente imbricadas. Superficie superior verde claro, con pruina blanca. Apotecios inmersos poco notorios similares a peritecios. Ascas globulares hialianas, numerosas ascosporas hialianas, simples, elipsoidales a esféricas. Fotobionte asociado *Trebouxia* sp. Especie saxícola, frecuente, hallada en rocas en lugares expuestos. Reacciones de color: K -, C -, KC - (Ramos D. y col. 2013)

La taxonomía de los líquenes se presenta en la tabla 6.

Tabla 6

Taxonomía de líquenes analizados

TRATAMIENTO	DESCRIPCIÓN
Phylum	ASCOMYCOTA
Subphylum	PEZIZOMYCOTINA
Clase	LECANOROMYCETES
Subclase	ACAROSPOROMYCETIDAE
Orden	ACAROSPORALES
Familia	ACAROSPORACEAE
Género	<i>Acarospora</i>
Especie	<i>Acarospora</i> sp

Fuente: Brendan P. Hodkinson 2012

5.1.3. Caracterización de los lugares de ubicación de líquenes

Se debe mencionar que fue difícil ubicar zonas de plena confianza. Zonas, donde se mantendrán un año sin inconvenientes.

Por lo que, se tomó la decisión de llevar la investigación con 4 líquenes, 2 correspondientes a zonas de bajo tráfico vehicular (1er. y 4to. liquen) y 2 zonas con alto tráfico vehicular (2do. y 3er. liquen):

Tabla 7*Datos de la ubicación de los 4 líquenes de estudio*

N° Liquen	Código	Ubicación	Persona Responsable
1	L1 - CS	Asociación 8 de julio. Referencia Frontera sur. Distrito de Gregorio Albarracín (Cono sur)	Relly Cana Cel. 943222806
2	L2 - GS	Calle Gral Suarez 5ta Siles B – 2. Altura Av. Miraflores Cercado	Carina Pinto Cel. 952310947
3	L3 - PZ	Av. San Martín. Altura de la Plaza Zela - Cercado	Claire Cuadros Cel. 952690880
4	L4 - CN	Comité 21 Mz 211 Lt 17. Distrito de Ciudad Nueva (Cono norte)	Edson Pari Cel 966990086

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 8 se detalla datos geográficos del lugar de origen de los líquenes: coordenadas, altitud y fecha de expedición. Mientras que en la tabla 9 se detalla los mismos datos para los lugares de trasplante o de estudio; asimismo, se menciona si la zona es contaminada o de baja contaminación.

Tabla 8

Detalles de la zona de exploración y ubicación de origen de líquenes

Detalle de la zona	Coordenadas de Ubicación	Altitud [m]	Fecha de expedición	Observaciones
Zona de Ubicación de líquenes. Distrito de Calana	19373367E 8017068N	1037	09/08/17	Paradero de Calana
Zona de exploración	19372724E 8017068N	1133	09/08/17	Quebrada a la altura del cementerio de Calana

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9

Detalles de las zonas de ubicación de líquenes en la ciudad de Tacna

N° de Liquen	Código del liquen	Coordenadas de Ubicación	Altitud [m]	Fecha de ubicación del liquen	Observaciones
1	L1 - CS	19369679E 8003453N	474	21/08/2017	Zona no contaminada (Poca circulación vehicular)
2	L2 - GS	19368531E 8007183E	575	21/08/2017	Zona contaminada (Circulación de vehículos particulares livianos y pesados)
3	L3 - PZ	19368099E 8008240N	586	23/08/2017	Zona contaminada (Circulación de vehículos particulares livianos y Transporte Masivo Urbano)
4	L4 - CN	1936955E 8011420N	675	23/08/2017	Zona no contaminada (Poca circulación vehicular)

Fuente: Elaboración propia

En la figura 13 con la asistencia del programa abierto “Google Earth” se visualiza de acuerdo a las coordenadas, la posición del lugar de origen de los líquenes y la posición de los cuatro puntos de ubicación de los 4 líquenes.

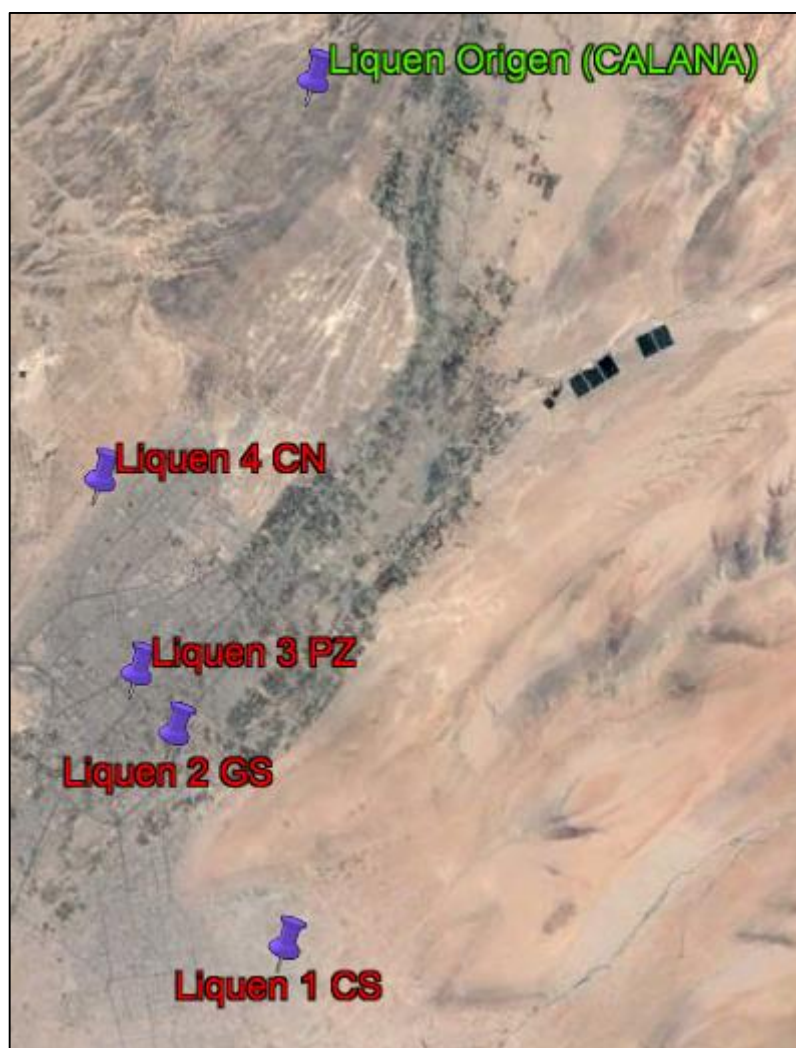


Figura 13. Ubicación de los 4 líquenes en la ciudad de Tacna
CS – Cono sur; GS – General Suarez; PZ – Plaza Zela;
CN – Cono norte

Fuente: Elaboración propia con asistencia de Google Earth

En las figuras 14, 16, 18 y 19 se muestran los lugares vistos en la tabla 7.

A – Imágenes del lugar de ubicación del líquen de código “L1 - CS”

La zona corresponde al paradero final de la línea de transporte 202. Allí, el líquen se ubicó en el techo de una vivienda de un piso, que pertenece a una asociación de vivienda en crecimiento.

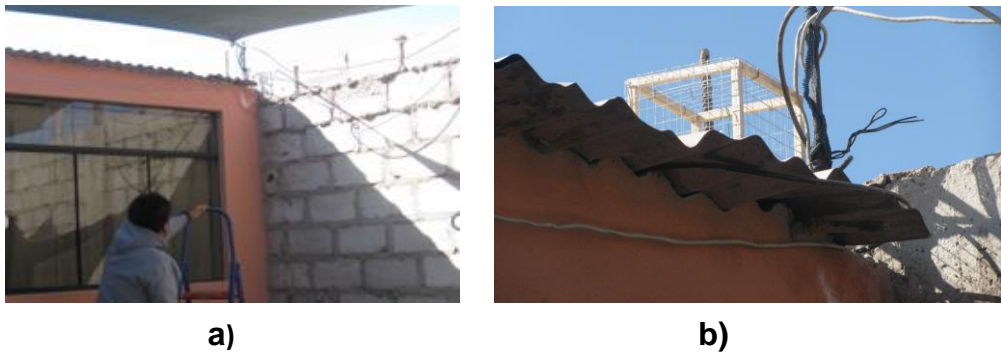


Figura 14. Vista interna del domicilio de Cono Sur: a) Acceso al lugar y b) Vista de la ubicación final

Fuente: Recolección propia

En la figura 14, se muestra la fachada externa de la vivienda



Figura 15. Vista exterior del domicilio en cono sur

Fuente: Recolección propia

B – Imágenes del lugar de ubicación del líquen de código “L2 - GS”



Figura 16. Vista exterior del domicilio en la calle General Suarez;
a) Fachada principal y b) Vista de la ubicación final del líquen

Fuente: Elaboración propia



Figura 17. Ubicación del líquen en General Suarez

Fuente: Elaboración propia

Se eligieron estos lugares debido a la confianza de los propietarios de las viviendas. En la mayoría de los casos las viviendas corresponden a familiares directos del investigador.

C – Imágenes del lugar de ubicación del líquen de código “L3 - PZ”

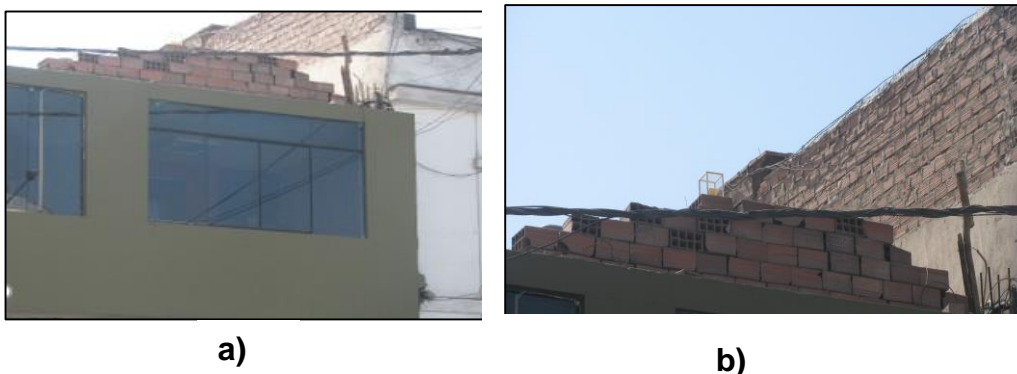


Figura 18. Vistas del domicilio por Plaza Zela; a) Vista exterior del predio; b) Vista de ubicación del líquen

Fuente: Recolección propia

D – Imágenes del lugar de ubicación del líquen de código “L4 - CN”

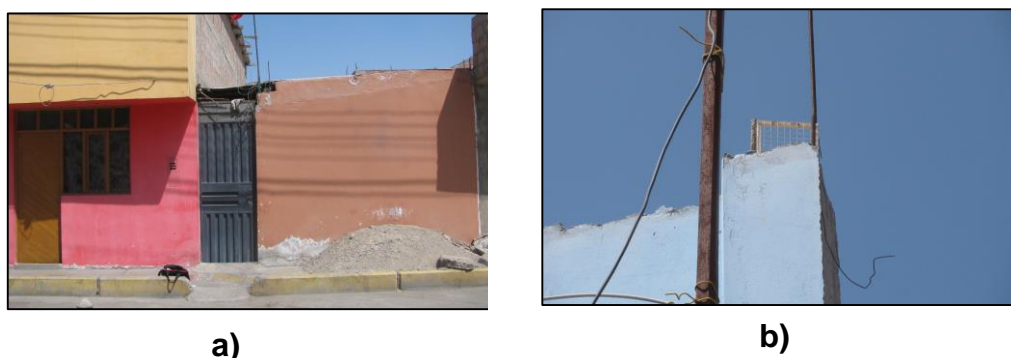


Figura 19. Vista exterior del domicilio en cono norte; a) Vista exterior del predio y b) Ubicación dentro del predio del líquen

Fuente: Elaboración propia

5.2. DETERMINACIÓN DEL FLUJO VEHICULAR DE LAS ZONAS DONDE SE ENCUENTRAN LOS LÍQUENES EN ESTUDIO

Se determina el flujo vehicular para demostrar que las zonas de ubicación de los líquenes son zonas de bajo o alta tráfico vehicular y en base ello se les ha denominado zonas contaminadas y zonas no contaminadas.

Para ello, aplicaremos la teoría del Análisis del Flujo Vehicular, según Vargas (2012), determinando el volumen horario [Q]. Es decir: sumamos cuatro periodos consecutivos de volúmenes de 15 minutos. Esto lo calculamos para dos épocas: Época de vacaciones y época escolar para analizar su variación.

5.2.1. Flujo vehicular en época de vacaciones

Para una zona de baja contaminación, determinamos el volumen en periodos de 15 minutos [q_{15}] y la tasa de flujo [q], cuyos resultados se muestran en la tabla 10.

Tabla 10

Volumen [q_{15}] y Tasas de flujo [q] correspondiente para la zona cono sur (época de vacaciones)

Tiempo [min]	PERIODO		Volumen , [q_{15}]	TASA DE FLUJO, [q]
15	08: 00	08:15	15	60
30	08: 15	08:30	21	84
45	08: 30	08:45	21	84
60	08: 45	09:00	18	72

Fuente: Elaboración propia

Luego, determinamos las tasas de flujo para cada periodo de 15 minutos:

$$q = q_{15} \cdot 4 = 15, 4 = 60$$

Los resultados se muestran en la tabla 10.

Para el resto de zonas de estudio, los resultados se presentan en la tabla 11.

Tabla 11

Volumen en periodos de 15 minutos [q₁₅] y Tasas de flujo [q] correspondiente a épocas de vacaciones

PERIODO	ZONA NO CONTAMINADA				ZONA CONTAMINADA			
	L1 – CS		L4 - CN		L2 - GS		L3 - PZ	
	[q ₁₅]	[q]	[q ₁₅]	[q]	[q ₁₅]	[q]	[q ₁₅]	[q]
8.00 – 8.15	15	60	13	52	59	236	376	1504
8.15 – 8.30	21	84	12	48	61	244	349	1396
8.30 – 8.45	21	84	9	36	68	272	404	1616
8.45 – 9.00	18	72	13	52	78	312	349	1369
TOTAL	75		47		266		1478	

Fuente: Elaboración propia

Con los datos de la tabla 11, determinamos el volumen horario [Q], y el volumen referido a un periodo de 15 minutos [Q₁₅], sumando cuatro periodos consecutivos de volúmenes de 15 minutos para la zona de cono sur.

$$Q = \sum_{i=1}^N q_{15} = 15 + 21 + 21 + 18 = 75$$

$$Q_{15} = 0,25 \cdot Q = 0,25 \cdot 75 = 18,75 \text{ veh/15 min}$$

Para el resto de zonas de estudio, los resultados se presentan en la tabla 12.

Tabla 12

Volumen horario $[Q]$ y volumen horario en periodos de 15 minutos $[Q_{15}]$ en épocas de vacaciones

ZONA NO CONTAMINADA				ZONA CONTAMINADA			
L1 - CS		L4 - CN		L2 - GS		L3 - PZ	
$[Q]$	$[Q_{15}]$ [Veh/15min]	$[Q]$	$[Q_{15}]$ [Veh/15min]	$[Q_{15}]$ [Veh/15min]	$[Q]$	$[Q_{15}]$ [Veh/15min]	$[Q_{15}]$ [Veh/15min]
75	18,75	47	11,75	266	66,5	1478	369,5

Fuente: Elaboración propia

5.2.2. Flujo vehicular en época de labores académicas (clases)

En forma similar determinamos el volumen en periodos de 15 minutos $[q_{15}]$ y la tasa de flujo $[q]$.

Tabla 13

Volumen $[q_{15}]$ y Tasas de flujo $[q_{15}]$ correspondiente para la zona cono sur (época de clases)

Tiempo [min]	PERIODO		Volumen , $[q_{15}]$	TASA DE FLUJO, $[q]$
15	08: 00	08:15	25	100
30	08: 15	08:30	21	84
45	08: 30	08:45	22	88
60	08: 45	09:00	17	68

Fuente: Elaboración propia

De la misma forma, determinamos las tasas de flujo para cada periodo de 15 minutos:

$$q = q_{15} \cdot 4 = 25 \cdot 4 = 100$$

Los resultados se muestran en la tabla 13.

Para el resto de zonas los resultados se ofrecen en la tabla 14.

Tabla 14

Volumen en periodos de 15 minutos [q₁₅] y Tasas de flujo [q] en épocas de clases

PERIODO	ZONA NO CONTAMINADA				ZONA CONTAMINADA			
	L1 - CS		L4 - CN		L2 - GS		L3 - PZ	
	[q ₁₅]	[q]	[q ₁₅]	[q]	[q ₁₅]	[q]	[q ₁₅]	[q]
8.00 – 8.15	25	100	20	80	84	336	451	1804
8.15 – 8.30	21	84	24	96	80	320	343	1372
8.30 – 8.45	22	88	18	72	68	272	334	1336
8.45 – 9.00	17	68	17	68	70	280	319	1276
TOTAL	85		79		302		1447	

Fuente: Elaboración propia

Con los datos de la tabla 8, determinamos el volumen horario [Q], y el volumen referido a un periodo de 15 minutos [Q₁₅], sumando cuatro periodos consecutivos de volúmenes de 15 minutos para la zona de cono sur.

$$Q = \sum_{i=1}^N q_{15} = 25 + 21 + 22 + 17 = 85$$

$$Q_{15} = 0,25 \cdot Q = 0,25 \cdot 85 = 21,25 \text{ veh/15 min}$$

Los resultados para el resto de líquenes se muestran en la tabla 15.

Tabla 15

Volumen horario [Q] y volumen horario en periodos de 15 minutos [Q₁₅] correspondiente a zonas de estudio

ZONA NO CONTAMINADA				ZONA CONTAMINADA			
L1 – CS		L4 - CN		L2 - GS		L3 - PZ	
[Q]	[Q ₁₅] [Veh/15min]	[Q]	[Q ₁₅] [Veh/15min]	[Q]	[Q ₁₅] [Veh/15min]	[Q]	[Q ₁₅] [Veh/15min]
85	21,25	79	19,75	302	75,50	1447	361,75

Fuente: Elaboración propia

Una interpretación del volumen horario en periodos de 15 minutos en porcentajes se muestra en la tabla 16.

Tabla 16

Porcentaje del volumen horario en periodos de 15 min

LÍQUEN	PERIODO			
	ÉPOCA DE VACACIONES		ÉPOCA DE CLASES	
	Q ₁₅	[%]	Q ₁₅	[%]
L1 – CS	18,75	4,02	21,25	4,44
L2 – GS	66,50	14,26	75,50	15,79
L3 – PZ	369,50	79,21	361,75	75,64
L4 - CN	11,75	2,51	19,75	4,13
TOTAL	466,50	100,00	478,25	100,00

Fuente: Elaboración propia

5.2.3. Tipos de vehículos que circulan por las zonas de estudio

Los tipos de vehículos que circulan por las zonas de estudio se visualiza en la Tabla 17.

Tabla 17.

Cantidad de vehículos según el tipo que circulan por las zonas de estudio de Líquenes

ZONA	VEHÍCULOS LIVIANOS			VEHÍCULOS PESADOS		VEHÍCULOS DEL TMU			VEHÍCULOS ESPECIALES	VEH. MEN.
	Particular	Taxis	Camionetas Todoterreno	Mini camión, Furgoneta	Camión, Volquete, Furgón	Combi	Coaster	Mini bús	Basurero, Policiales, etc	Moto
L1 - CS	5	3	2	3	16	0	20	2	2	22
L2 - GS	107	104	32	1	1	0	0	0	8	13
L3 - PZ	515	676	48	8	1	27	90	55	3	55
L4 - CN	16	12	5	4	1	0	0	0	0	9

Fuente: Elaboración propia (TMU – Transporte masivo Urbano)

5.2.4. Análisis de resultados

Haciendo un resumen ejecutivo de totales de vehículos, tanto en época de vacaciones como en época de clase (ver tabla 18).

Tabla 18

Total, de vehículos que circularon por las zonas de estudio

ZONA	LIQUEN	PERIODO VACACIONES	PERIODO CLASES	PROM.
TRÁFICO VEHICULAR BAJO	L1 - CS	75	85	80
	L4 -CN	47	79	64
TRÁFICO VEHICULAR ALTO	L2 - GS	266	302	284
	L3 - PZ	1478	1447	1 462,5

Fuente: Elaboración propia

De los resultados obtenidos se observa que el mayor flujo vehicular se visualiza en las zonas: calle General Suarez y Plaza Zela. Y no hay una diferencia significativa entre época de vacaciones con época de labores académicas.

Las diferencias de número de vehículos se visualizan en la figura 20, donde se observa claramente la diferencia entre una zona con bajo y alto tráfico vehicular. Estos datos corroboran el valor de corte de 100 vehículos como límite. Y es justamente por ello, la denominación “zona de baja y alta contaminación”. Es decir:

- Zona con menos de 100 vehículos = Zona de baja contaminación
- Zona con más de 100 vehículos = Zona contaminada

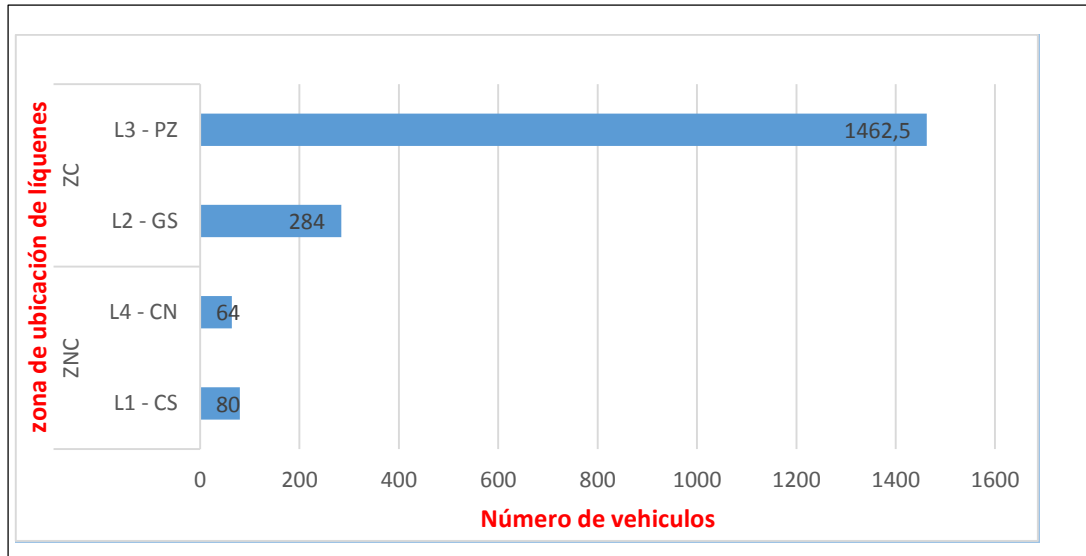


Figura 20. Número de vehículos por zona de ubicación

Fuente: Elaboración propia

5.3. RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LÍQUENES EN LABORATORIO POR BAJADAS

El análisis de los líquenes se llevó a cabo **en el laboratorio de microscopia de la Escuela Profesional de Ingeniería Metalurgia**. Para ello, se debe cargar el equipo, con hidrógeno y preparar las muestras de acuerdo al protocolo del laboratorio.

Primero, se llevó un análisis inicial antes que los líquenes sean ubicados en las zonas de estudio, según el cronograma que se muestra en la tabla 15, cuyas fechas se quiso mantener un intervalo aproximado de 3 meses por cada análisis o por bajada como se denominó la actividad. Sin embargo, siempre ha habido circunstancias de ubicación de los dueños de los inmuebles, quienes en algunos casos viajaban fuera de la ciudad.

Tabla 19

Cronograma de análisis en microscopio electrónico de barrido de líquenes de estudio

N°	ANÁLISIS	FECHA
1	Inicial	4 de setiembre del 2017
2	Primera bajada	21 de noviembre del 2017
3	Segunda bajada	04 de abril del 2018
4	Tercera bajada	10 de julio del 2018
5	Cuarta bajada	30 de octubre del 2018

Fuente: Elaboración propia

5.3.1. Resultados de análisis de líquenes etapa inicial

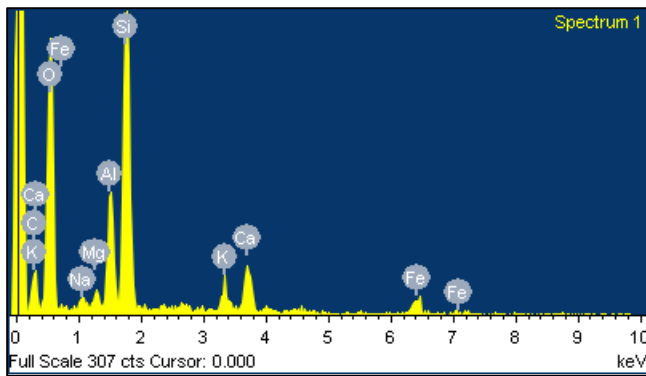
Presentamos los resultados correspondientes al liquen 1 ubicado en el cono sur, incluido su imagen en aumento real (ver figura 21).

Tabla 20

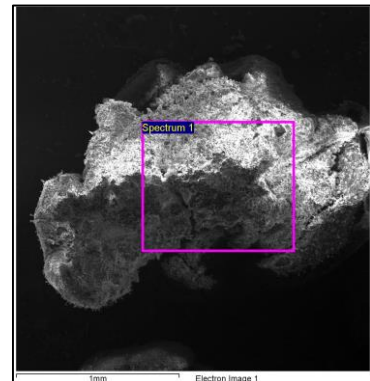
Porcentaje en peso de componentes: líquen L1 – CS

Elemento	% en Peso
C	14,81
O	54,32
Mg	1,06
Al	5,47
Si	18,58
K	1,83
Ca	0,95
Fe	2,98
TOTAL	100,00

Fuente: Elaboración propia



a)



b)

Figura 21. Diagrama de componentes del líquen L1 – CS, a) Diagrama de componentes del líquen en etapa inicial; b) Vista en aumento real de líquen

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 20 se evidencia la no presencia de azufre, en el contenido del líquen. Los resultados de los demás líquenes de manera similar como el líquen L1 – CS, se muestran en la tabla 21.

En la tabla 21, se visualiza que ningún líquen contiene porcentaje alguno de azufre, incluido el líquen 3, que fue el líquen que se encontraba en una zona alta de contaminación, con bastante flujo vehicular, tal como se muestra en la figura 20.

Tabla 21

Porcentaje en peso de los componentes de los 4 líquenes en una etapa inicial

Elemento	L1 -CS	L2 - GS	L3 - PZ	L4 - CN
C	14,81	23,72	19,97	36,80
O	54,32	54,04	50,04	52,82
Mg	1,06	0,88	0,86	0,39
Al	5,47	0,87	0,83	1,42
Si	18,58	3,76	5,12	3,20
K	1,83	11,58	15,42	0,48
Ca	0,95	1,25	1,48	4,16
Fe	2,98	1,74	3,28	0,74
TOTAL	100,00	100,00	100,00	100,00

Fuente: Elaboración propia

5.3.2. Resultados de análisis de líquenes en su primera bajada

Visualmente los líquenes después de la primera bajada (después de 3 meses) se muestran en la figura 22, donde se observa poca variación en lo que respecta a coloración y resequeidad.

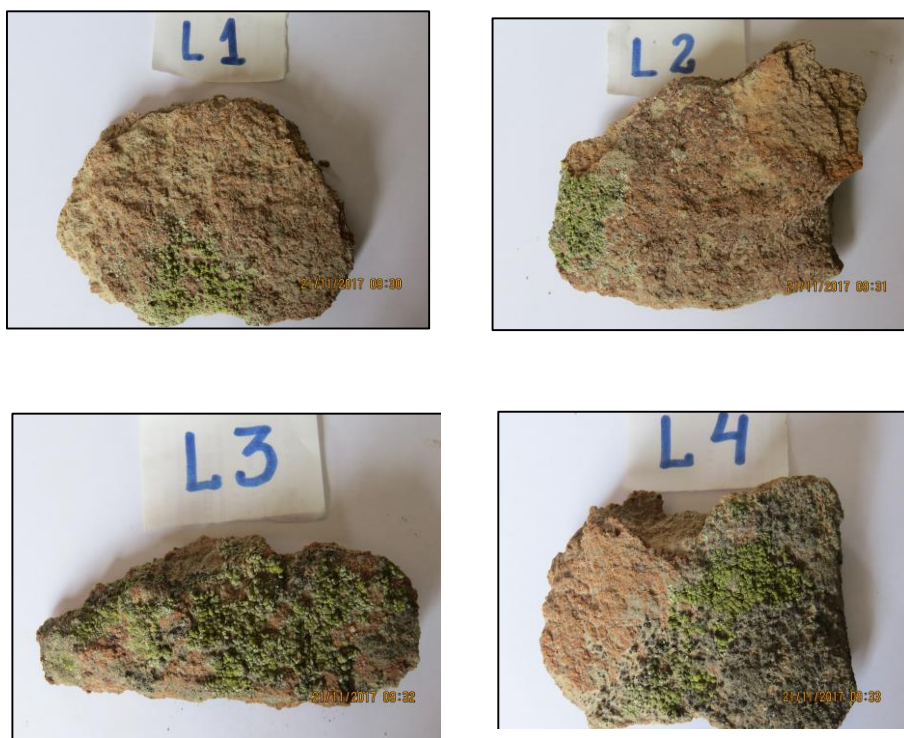


Figura 22. Vista de los 4 líquenes en su primera bajada

Fuente: Elaboración propia

Se verifico la poca variación comparando las imágenes presentadas con las imágenes iniciales de los líquenes.

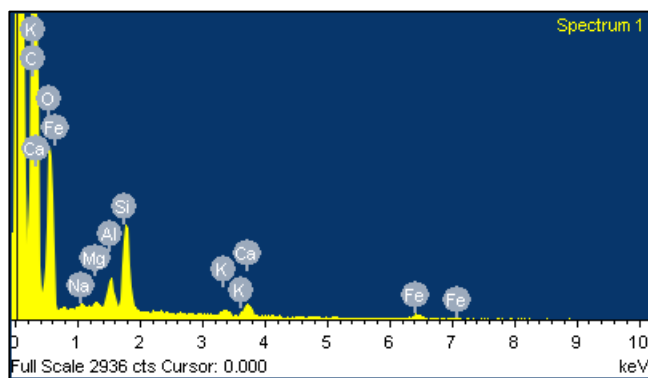
A continuación, se presenta en detalle el análisis del liquen L2 - GS. Tabla 22 y figura 23.

Tabla 22

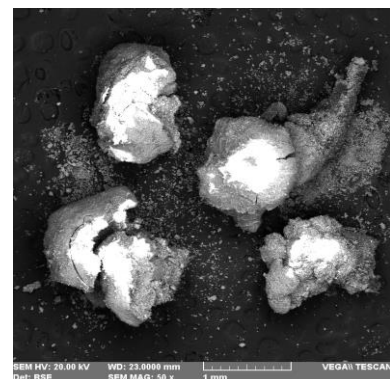
Porcentaje en peso de los componentes: liquen L2 – GS en primera bajada

Elemento	% en Peso
C	56,73
O	36,70
Na	0,27
Mg	0,19
Al	1,06
Si	3,25
K	0,31
Ca	0,77
Fe	0,72
TOTAL	100,00

Fuente: Elaboración propia



a)



b)

Figura 23. Diagrama de componentes del liquen L2 (1ra bajada)

- a) Diagrama de componentes del liquen en etapa inicial
- b) Vista en aumento real del liquen

Fuente: Elaboración propia

Los resultados de los demás líquenes de manera similar como el líquen L2 – GS, se muestran en la tabla 23.

Tabla 23

Porcentaje en peso de los componentes de los cuatro líquenes en primera bajada

Elemento	L1 -CS	L2 - GS	L3 - PZ	L4 - CN
C	60,27	56,73	62,01	59,98
O	32,44	36,70	33,57	36,29
Na	-	0,27	-	0,22
Mg	-	0,19	-	-
Al	1,21	1,06	0,20	0,57
Si	3,65	3,25	0,68	1,84
K	0,35	0,31	2,13	0,14
Ca	0,99	0,77	0,96	0,62
Fe	1,08	0,72	0,45	0,35
TOTAL	100,00	100,00	100,00	100,00

Fuente: Elaboración propia

5.3.3. Análisis de resultados de la primera bajada

Como se observa en la tabla 23, no se observa la presencia de azufre, en ninguno de los líquenes. Ello indica que su contenido en porcentaje es sumamente pequeño aún, o su porcentaje está cercano a los valores medibles por el equipo.

5.3.4. Resultados de análisis de líquenes en su segunda bajada

Los resultados del análisis en la segunda bajada presentamos en detalle para el líquen L3 – PZ en la tabla 24 y figura 24.

Tabla 24

Porcentaje en peso de los componentes del liquen L3 – PZ

Elemento	% en Peso
O	65,49
Na	1,27
Mg	0,99
Al	5,50
Si	16,01
S	0,51
K	1,77
Ca	5,21
Fe	3,25
TOTAL	100,00

Fuente: Elaboración propia

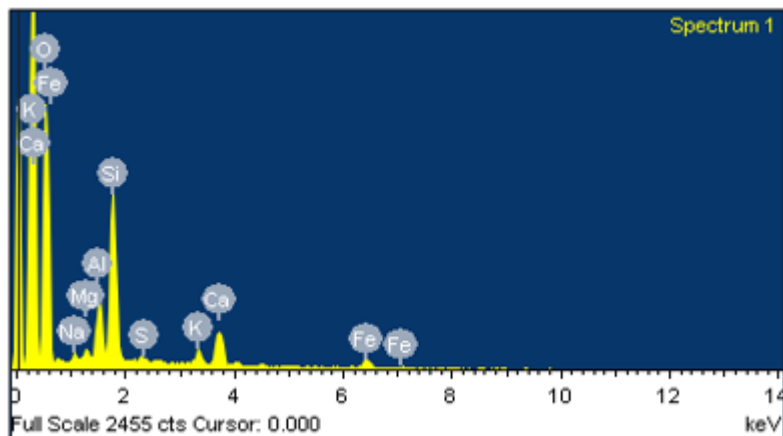


Figura 24. Diagrama de componentes del liquen L3 (2da. bajada)

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 26 para el liquen L3 – PZ, ubicado en la Plaza Zela, (zona con tráfico vehicular alto), se muestra la presencia de azufre (S), que nos

indicaría presencia en la zona de vehículos con motores de combustión interna diésel.

Los resultados de los demás líquenes de manera similar como el líquen L3 – PZ, se muestran en la tabla 25.

Tabla 25

Porcentaje en peso de los componentes de los cuatro líquenes en segunda bajada

Elemento	L1 -CS	L2 - GS	L3 - PZ	L4 - CN
O	66,10	66,59	65,49	69,24
Na	-	1,22	1,27	1,58
Mg	1,18	1,23	0,99	-
Al	5,22	5,93	5,50	4,08
Si	14,39	17,19	16,01	11,83
S	0,26	0,50	0,51	0,79
Cl	-	-	-	0,98
K	1,58	1,88	1,77	1,70
Ca	6,72	1,90	5,21	7,15
Fe	4,54	3,55	3,25	2,66
TOTAL	100,00	100,00	100,00	100,00

Fuente: Elaboración propia

5.3.5. Opinión de resultados de la segunda bajada

En la segunda bajada, es decir después de aproximadamente más de seis meses, se nota que el contenido en porcentaje de azufre, ha aumentado sustancialmente.

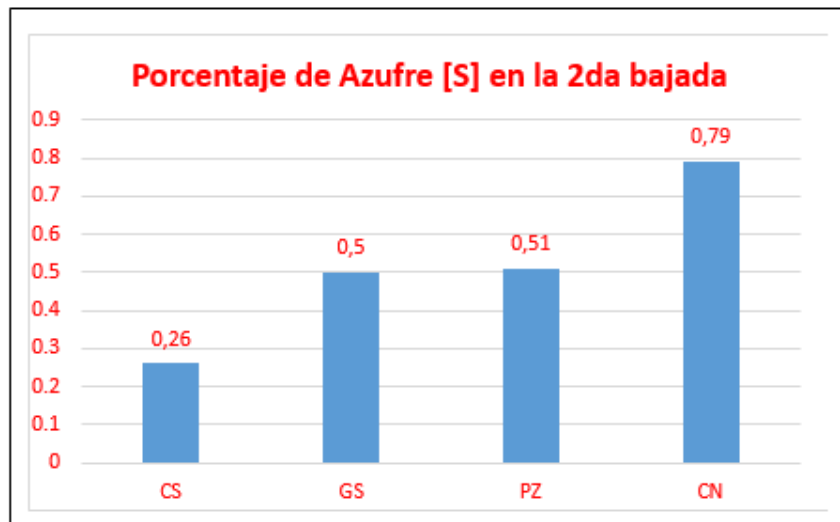


Figura 25. Contenido en porcentajes de líquenes en la 2da. bajada

Fuente: Elaboración propia

5.3.5. Resultados de análisis de líquenes en su tercera bajada

Para esta tercera bajada presentamos los resultados en detalle para el líquen L4 – CN y se muestran en la tabla 26 y figura 25.

Tabla 26

Porcentaje en peso de componentes: líquen L4 – CN en tercera bajada

Elemento	% en Peso
O	61,35
Na	1,89
Mg	1,20
Al	5,94
Si	17,02
S	0,52
Cl	1,88
K	1,98
Ca	4,58
Fe	3,64
TOTAL	100,00

Fuente: Elaboración propia

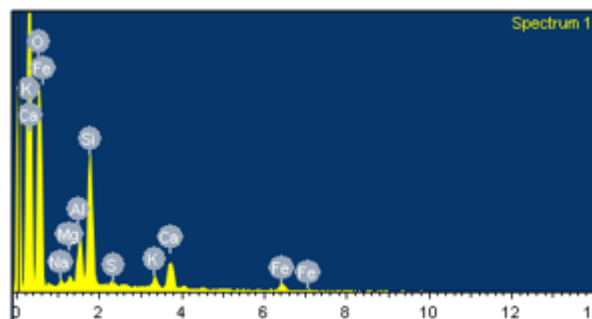


Figura 26. Diagrama de componentes del líquen L4 (3ra. bajada)

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a los resultados mostrados para el líquen cuarto L4 – CN, se mantiene la presencia de azufre, esto podría explicarse no tanto por la presencia de vehículos con motor diésel, si no por el flujo de gases de la ciudad hacia parte más elevada, producido por la corriente del viento.

Los resultados de los demás líquenes de manera similar, se muestran en la tabla 27.

Tabla 27

Porcentaje en peso de componentes de los cuatro líquenes en tercera bajada

Elemento	L1 -CS	L2 - GS	L3 - PZ	L4 - CN
O	64,46	67,70	64,24	61,35
Na	0,79	1,19	1,10	1,89
Mg	0,92	1,11	1,00	1,20
Al	3,77	3,87	3,96	5,94
Si	11,84	11,65	12,49	17,02
S	0,39	0,82	0,80	0,52
Cl	1,24	0,79	1,23	1,88
K	13,95	1,22	1,53	1,98
Ca	2,63	9,33	10,25	4,58
Fe	64,46	2,32	3,41	3,64
TOTAL	100,00	100,00	100,00	100,00

Fuente: Elaboración propia

5.3.7. Opinión de los resultados de la tercera bajada

En la tabla 27, se visualiza el aumento progresivo del contenido en porcentaje de azufre en los líquenes 1, 2 y 3. Sin embargo, el cuarto líquen muestra un descenso en cuanto al contenido de azufre. Pueden ser muchos los factores que explican la variación irregular del 4to. Líquen. Entre ellos se pueden mencionar los siguientes:

- a) Poco flujo del viento para elevar los gases al cono norte
- b) Líquen híper resistente a agentes externos
- c) Error en los resultados de análisis
- d) Manipulación deficiente del líquen en lo que respecta a su bajada y reposición en el lugar de análisis.

Respecto, a los factores indicados, se puede agregar que la 4ta alternativa puede ser la más aceptable, por cuanto el recojo y la reposición del líquen estuvo a cargo de una persona familiar denominada “de confianza”. Situación muy diferente con la manipulación de los líquenes 1, 2 y 3, ya que recogidos y repuestos directamente por el investigador.

En la figura 27 se muestran gráficamente los resultados de porcentaje de azufre en la tercera bajada

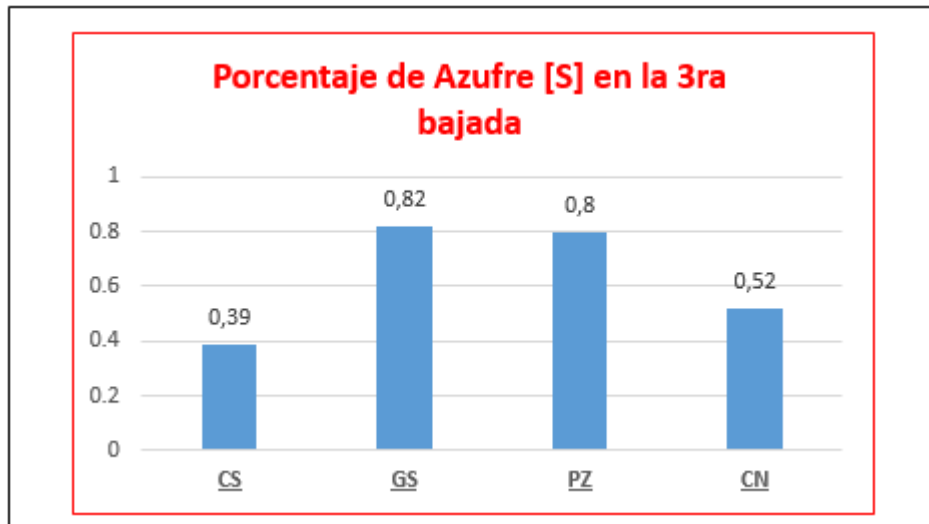


Figura 27. Contenido en porcentajes de líquenes en la 3ra. bajada

Fuente: Elaboración propia

5.3.8. Resultados de análisis de líquenes en su cuarta y última bajada

La cuarta y última bajada tuvo un cierto retraso por motivos de fuerza mayor. Sin embargo, se mantuvo los líquenes sin deterioro alguno.

En la tabla 28 se muestra el contenido en porcentaje de peso de componentes del líquen 1 – CS. Y en la figura 28 se muestra su diagrama correspondiente, indicando gráficamente los picos de los componentes.

En la tabla 28, se observa el porcentaje de azufre, en una cantidad mayor respecto la tercera bajada, lo cual nos indica la retención de azufre por parte del líquen de manera gradual.

Tabla 28

Porcentaje en peso de componentes: Líquen L1 – CS en cuarta y última bajada

Elemento	% en Peso
O	41,56
Na	1,19
Mg	1,06
Al	5,42
Si	21,25
S	0,74
K	1,70
Ca	19,47
Fe	7,60
TOTAL	100,00

Fuente: Elaboración propia

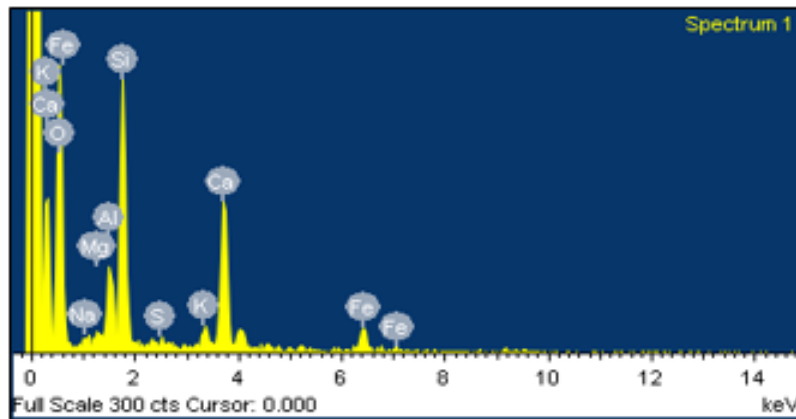


Figura 28. Diagrama de componentes del líquen L1 (4ta bajada)

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a los resultados mostrados en el líquen L1 – CS (zona con tráfico vehicular bajo), se mantiene la presencia de azufre, esto podría explicarse por la zona como paradero final de la línea 202, vehículos con motores diésel.

Asimismo, se puede mencionar que cerca al paradero funciona una cantera de materiales de construcción. Ello, explica la presencia de vehículos volquetes que cumplen funciones de carga y descarga de agregados en periodos prolongados.

Los resultados de los demás líquenes de manera similar como el líquen L1 – Cs, se muestran en la tabla 29.

Tabla 29.

Porcentaje en peso de los componentes de los cuatro líquenes en cuarta y última bajada

Elemento	L1 -CS	L2 - GS	L3 - PZ	L4 - CN
O	41,56	46,75	43,64	42,35
Na	1,19	1,93	1,79	1,66
Mg	1,06	1,27	1,15	2,86
Al	5,42	7,42	6,84	6,73
Si	21,25	27,14	22,36	21,91
S	0,74	1,97	1,41	0,86
K	1,70	3,18	-	4,26
Ca	19,47	10,33	18,25	20,24
Fe	7,60	-	4,55	-
TOTAL	100,00	100,00	100,00	100,00

Fuente: Elaboración propia

5.3.9. Análisis de resultados de la cuarta bajada

En esta última bajada, luego de aproximadamente 1 año, se observa que los valores de contenido en porcentaje de azufre, ha aumentado progresivamente para los tres primeros líquenes. Lo que no sucedió con el 4to. liquen al igual como en su 3ra. bajada.

5.4. RESULTADOS DE ANÁLISIS EN LABORATORIO POR LÍQUENES

5.4.1. Presentación de resultados

Luego de haber presentado los resultados de análisis en laboratorio por bajadas, presentamos los resultados de análisis para cada liquen: L1 –

CS; L2 – GS; L3 – PZ; L4 – CN, teniendo en cuenta las diferentes bajadas realizado en el periodo correspondiente. Por ello, usaremos el término “bajada” para designar: 1ra B = primera bajada; 2da B = segunda bajada y así sucesivamente. Así de esta manera, en la tabla 30, se observará la variación del componente principal azufre (S) de acuerdo a los periodos mencionados.

Tabla 30

Análisis de componentes del líquen: L1 – CS

Componente	A Inicial	1ra B	2da B	3ra B	4ta B
C	14,81	60,27	-	-	-
O	54,32	32,44	66,10	64,46	41,56
Na	-	-	-	0,79	1,19
Mg	1,06	-	1,18	0,92	1,06
Al	5,47	1,21	5,22	3,77	5,42
Si	18,58	3,65	14,39	11,84	21,25
S	-	-	0,26	0,39	0,74
K	1,83	0,35	1,58	1,24	1,70
Ca	0,95	0,99	6,72	13,95	19,47
Fe	2,98	1,08	4,54	2,63	7,60
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Fuente: Elaboración propia

En la tabla anterior se visualiza como el contenido azufre en el líquen L1 – CS aumenta a partir de la segunda bajada. De la misma manera en la tabla 32 se visualiza la variación del contenido de azufre para el líquen L2 – GS, que a diferencia del líquen 1, este se ubica en una zona con alto tráfico vehicular.

Tabla 31*Análisis de componentes del líquen: L2 – GS*

Componente	A Inicial	1ra. B	2da. B	3ra. B	4ta. B
C	23,72	56,73	-	-	-
O	54,04	36,70	66,59	67,70	46,75
Na	-	0,27	1,22	1,19	1,93
Mg	0,88	0,19	1,23	1,11	1,27
Al	0,87	1,06	5,93	3,87	7,42
Si	3,76	3,25	17,19	11,65	27,14
S	-	-	0,50	0,82	1,97
Cl	-	-	-	0,79	-
K	11,58	0,31	1,88	1,22	3,18
Ca	1,25	0,77	1,90	9,33	10,33
Fe	1,74	0,72	3,55	2,32	-
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 32 se visualiza la variación del contenido de azufre en el líquen L3 – PZ, ubicado en una zona contaminada es decir en una zona con alto tráfico vehicular. En esta tabla se visualiza el aumento del porcentaje de azufre a partir de la segunda bajada

Los resultados se corroboran con el flujo en la zona de vehículos, tanto privados como vehículos pertenecientes al sector “Transporte Masivo Urbano”, es decir, vehículos taxis, combis y Coaster. Y son justo, estos vehículos accionados por motores de combustión interna diesel. Y sabemos que los motores diesel emiten azufre al medio ambiente.

Tabla 32*Análisis de componentes del líquen: L3 – PZ*

Componente	A Inicial	1ra. B	2da. B	3ra. B	4ta. B
C	19,97	62,01	-	-	-
O	50,04	33,57	65,49	64,24	43,64
Na	-	-	1,27	1,10	1,79
Mg	0,86	-	0,99	1,00	1,15
Al	0,83	0,20	5,50	3,96	6,84
Si	5,12	0,68	16,01	12,49	22,36
S	-	-	0,51	0,80	1,41
Cl	-	-	-	1,23	-
K	15,42	2,13	1,77	1,53	-
Ca	1,48	0,96	5,21	10,25	18,25
Fe	3,28	0,45	3,25	3,41	4,55
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Fuente: Elaboración propia

De la misma manera en la tabla 33 se visualiza la variación del porcentaje de azufre para el líquen L4 – CN, en donde se observa una variación irregular, dado que, en la tercera bajada en lugar de aumentar, este disminuye y en la cuarta bajada vuelve a subir; lo cual, nos indica la influencia de otros factores que se explicaron líneas arriba.

Con estos resultados para el líquen 4, se corrobora la deficiente manipulación del líquen. Ello se tendrá en cuenta más adelante, cuando se realice el análisis estadístico.

Tabla 33*Análisis de componentes del líquen: L4 – CN*

Componente	A Inicial	1ra. B	2da. B	3ra. B	4ta. B
C	36,80	59,98	-	-	-
O	52,82	36,29	69,24	61,35	42,35
Na	-	0,22	1,58	1,89	1,66
Mg	0,39	-	-	1,20	2,86
Al	1,42	59,98	4,08	5,94	6,73
Si	3,20	36,29	11,83	17,02	21,91
S	-	-	0,79	0,52	0,82
Cl	-	-	0,98	1,88	-
K	0,48	0,14	1,70	1,98	4,26
Ca	4,16	0,62	7,15	4,58	20,24
Fe	0,74	0,35	2,66	3,64	-
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Fuente: Elaboración propia**5.4.2. Análisis de resultados por líquenes**

Se observa que los líquenes 1, 2 y 3 aumentan gradualmente en cada bajada, sin embargo, lo mismo no sucede con el líquen 4 ubicado en el cono norte. Esto lo visualizamos en la tabla siguiente:

Tabla 34

Resumen del contenido en porcentaje de azufre en los líquenes 1 al 4to., a partir de la primera bajada

LÍQUEN	RESULTADOS, [%]			
	1er. Análisis	2do Análisis	3er. Análisis	4to. Análisis
L1 - CS	0,00	0,26	0,39	0,74
L2- GS	0,00	0,50	0,82	1,97
L3- PZ	0,00	0,51	0,80	1,41
L4- CN	0,00	0,79	0,52	0,82

Fuente: Elaboración propia

En la figura siguiente se visualiza un diagrama estadístico, donde se muestra los resultados de análisis de los 4 líquenes en un diagrama de barras, donde, se visualiza claramente el aumento gradual en el tiempo de azufre en los líquenes 1, 2 y 3. Lo contrario sucede con el liquen 4, por las razones ya explicadas.

El liquen 2 en la cuarta bajada presenta un porcentaje de azufre mayor a todos. Esto se explica debido al flujo vehicular proveniente del cono sur al centro de la ciudad. Flujo de vehículos comerciales y vehículos taxis en gran cantidad. Y se sabe que, los vehículos comerciales, como furgones, combis, camiones, etc, son accionados por motores de combustión interna diesel.

Se visualiza, el aumento gradual del liquen 1, a pesar de haberse encontrado en una zona de bajo tráfico vehicular, sin embargo, ese bajo tráfico vehicular como se mencionó líneas arriba estuvo compuesto por vehículos accionados con motores diesel.

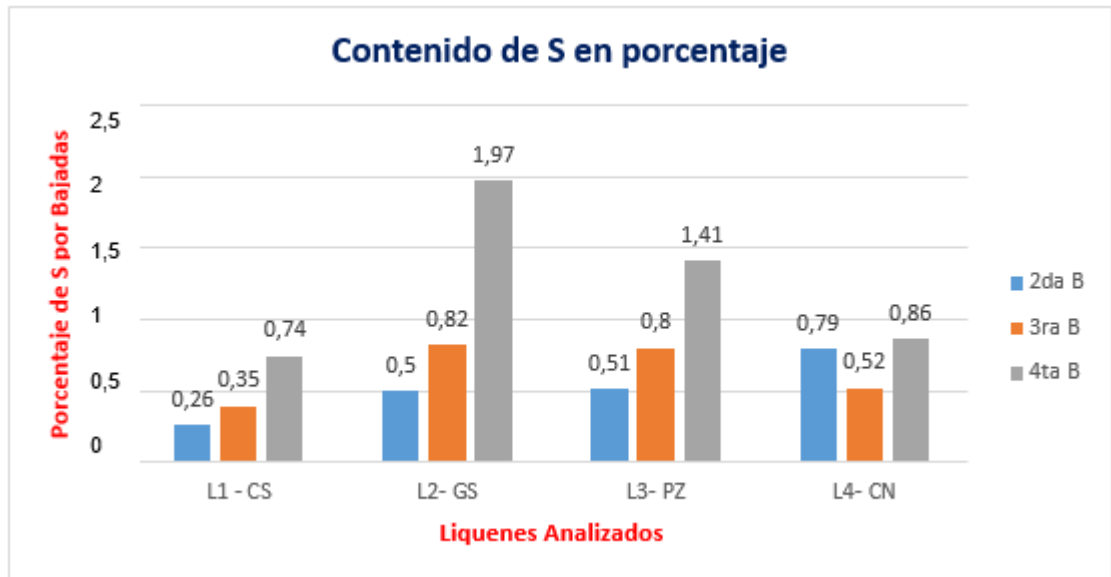


Figura 29. Contenido en porcentaje de azufre en líquenes

Fuente: Elaboración propia

5.4.3. Construcción de gráficas del porcentaje de azufre por líquenes

En las siguientes gráficas se muestra la tendencia del porcentaje en función de tiempo. La representamos mediante una regresión lineal, estimando una ecuación de la forma:

$$\hat{y} = b + a.x; \text{ donde:}$$

\hat{y} – y estimada; b – intercepto y a – pendiente

Para encontrar los valores de los coeficientes a y b, aplicamos el método de los mínimos cuadrados. Donde:

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}; \text{ y } b = \bar{y} - a.\bar{x}$$

Teniendo en cuenta la ecuación y las expresiones dadas y los valores de la tabla 36, obtenemos los valores para a y b para cada liquen:

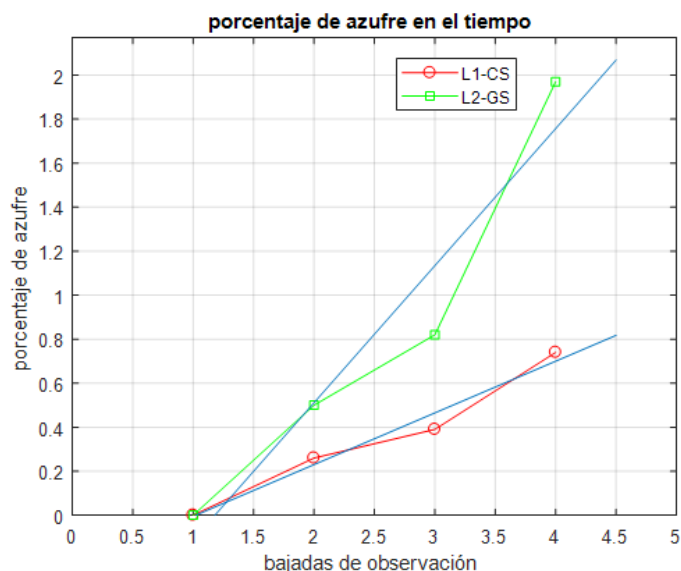


Figura 30. Gráfica de regresión lineal del porcentaje de azufre en liquen 1 y 2

Fuente: Elaboración propia

Los resultados de los valores de a y b se muestran en la tabla 35.

Tabla 35

Valores de coeficientes de regresión para los cuatro líquenes

Liquen	a	b
L1 - CS	0,5	0,7
L2 - GS	0,7	0,85
L3 - PZ	0,95	1,2
L4 - CN	1,1	0,6

Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto, para el liquen 1, 2, 3, la ecuación de regresión será:

$$L1 - CS : y = 0,7 + 0,5.x$$

$$L2 - GS : y = 0,85 + 0,7.x$$

$$L3 - PZ : y = 0,2 + 0,95.x$$

$$L4 - CN : y = 0,6 + 1,1.x$$

En la figura 30 se muestra el gráfico de la tendencia lineal del porcentaje de azufre en los líquenes L1 – CS en comparación con el liquen L2 – GS.

En la figura 31 se muestra el gráfico de la tendencia lineal del porcentaje de azufre en los líquenes L1 – CS en comparación con el liquen L3 – PZ.

Se muestra la comparación de 1 y 2; 1 y 3, dado que 1 corresponde a un liquen ubicado en una zona de baja contaminación, mientras que el 2 y 3 corresponden a una zona contaminada.

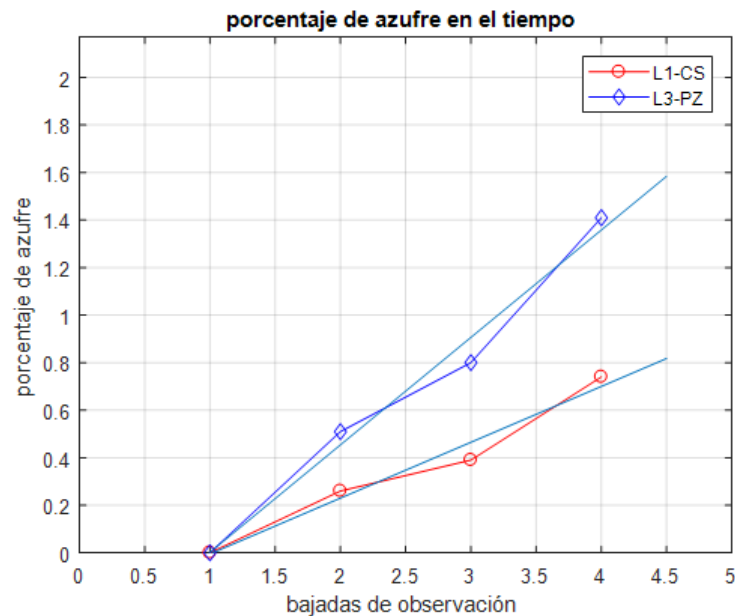


Figura 31. Gráfica de regresión lineal del porcentaje de azufre en líquen 1 y 3

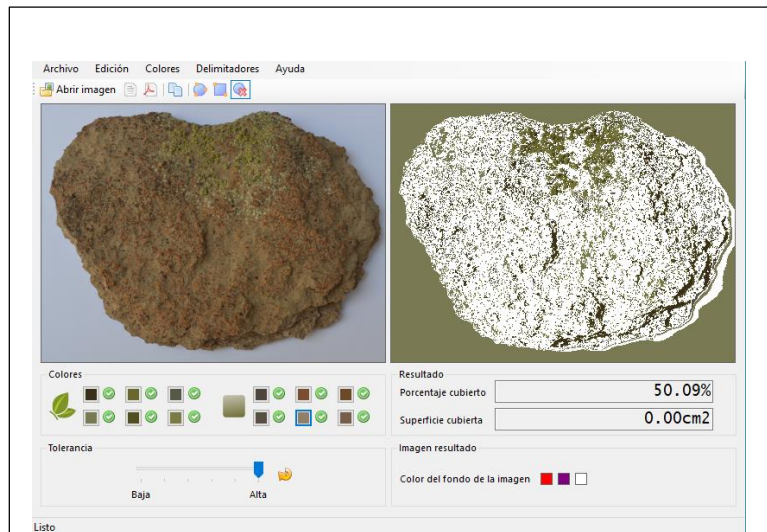
Fuente: Elaboración propia

5.5. RESULTADOS DE ANÁLISIS DE COBERTURA DE LÍQUENES

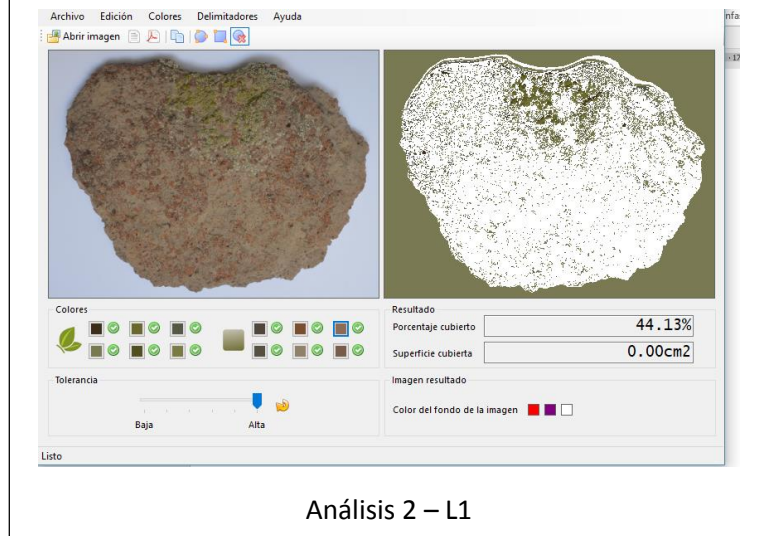
5.5.1. Cobertura en porcentaje de *Acarospora* sp. Líquen L1 – CS

A cada bajada se le denominó *Análisis 1*, *Análisis 2*, *Análisis 3* y *Análisis 4*, correspondiente a cada líquen. Por lo cual, para cada líquen se tuvo resultados, correspondiente a cada bajada, donde en la parte izquierda se muestra la imagen original y en la parte derecha se muestra la imagen procesada con el resultado numérico de porcentaje de cobertura.

Entonces, los resultados de porcentaje de cobertura para el líquen 1 se visualiza en la figura 32 para los análisis 1 y 2.



Análisis 1 – L1

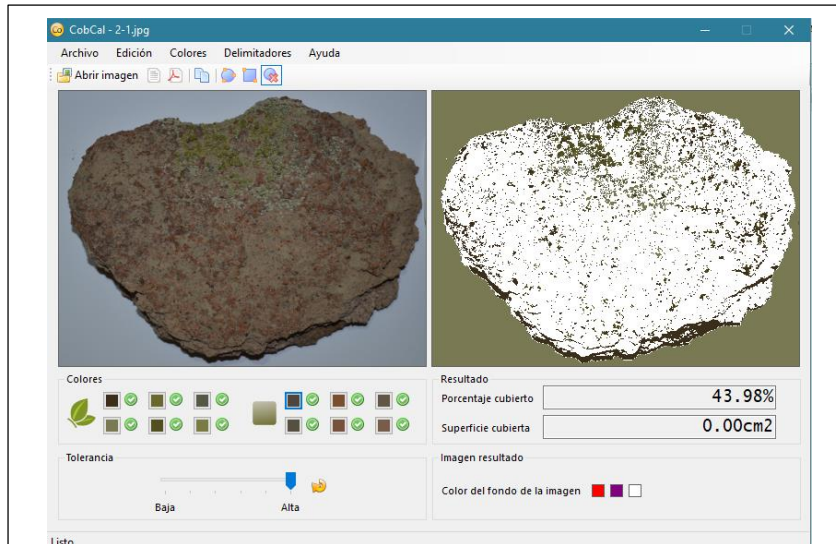


Análisis 2 – L1

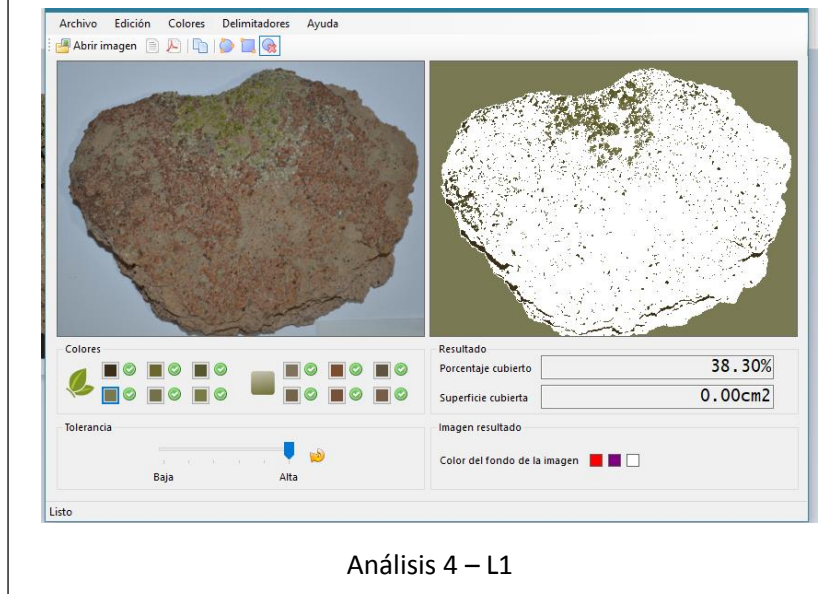
Figura 32. Análisis 1 y 2 de cobertura del líquen L1 – CS

Fuente: Elaboración propia

Se continua, con los análisis 3 y 4 del líquen 1; L1 – CS y este se visualiza en la figura 33.



Análisis 3 – L1



Análisis 4 – L1

Figura 33. Análisis 3 y 4 de cobertura del liquen L1 – CS

Fuente: Elaboración propia

4.5.2. Cobertura en porcentaje de *Acarospora* sp. Liquen L2 - GS

Los resultados de los análisis 1 y 2 del liquen 2, L2 – GS se visualizan en la figura 34.

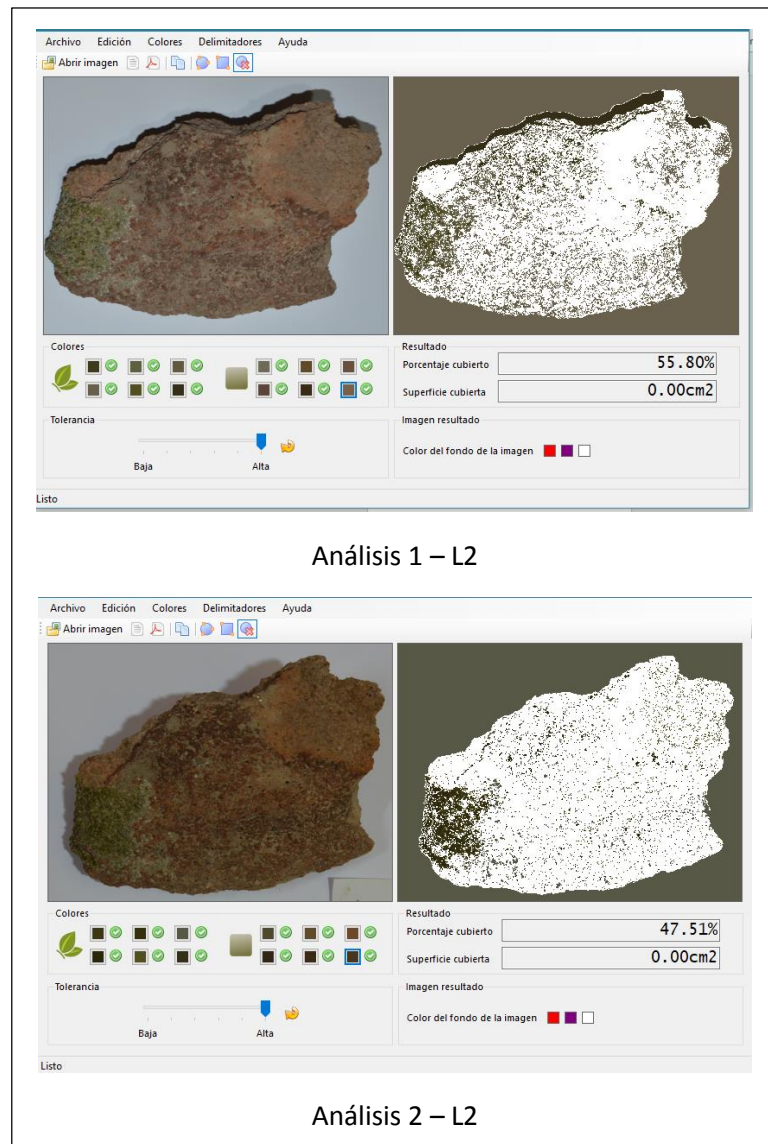


Figura 34. Análisis 1 y 2 de cobertura del liquen L2 – GS

Fuente: Elaboración propia

Los análisis 3 y 4 del líquen 2, L2 – GS, se visualiza en la figura 35.

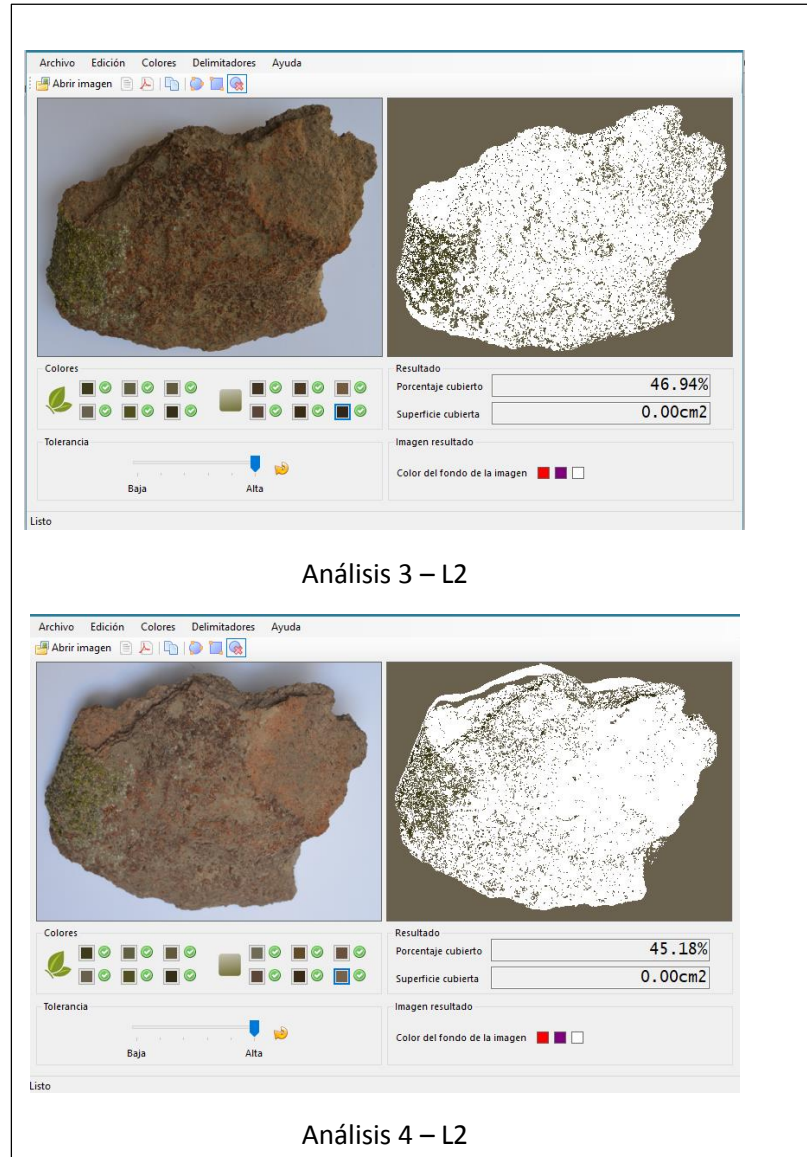


Figura 35. Análisis 3 y 4 de cobertura del líquen L2 – GS

Fuente: Elaboración propia

5.5.3. Cobertura en porcentaje de *Acarospora* sp. “Liquen L3 - PZ”

Los resultados de los análisis 1 y 2 del liquen 3, L3 – PZ, se visualiza en la figura 36.

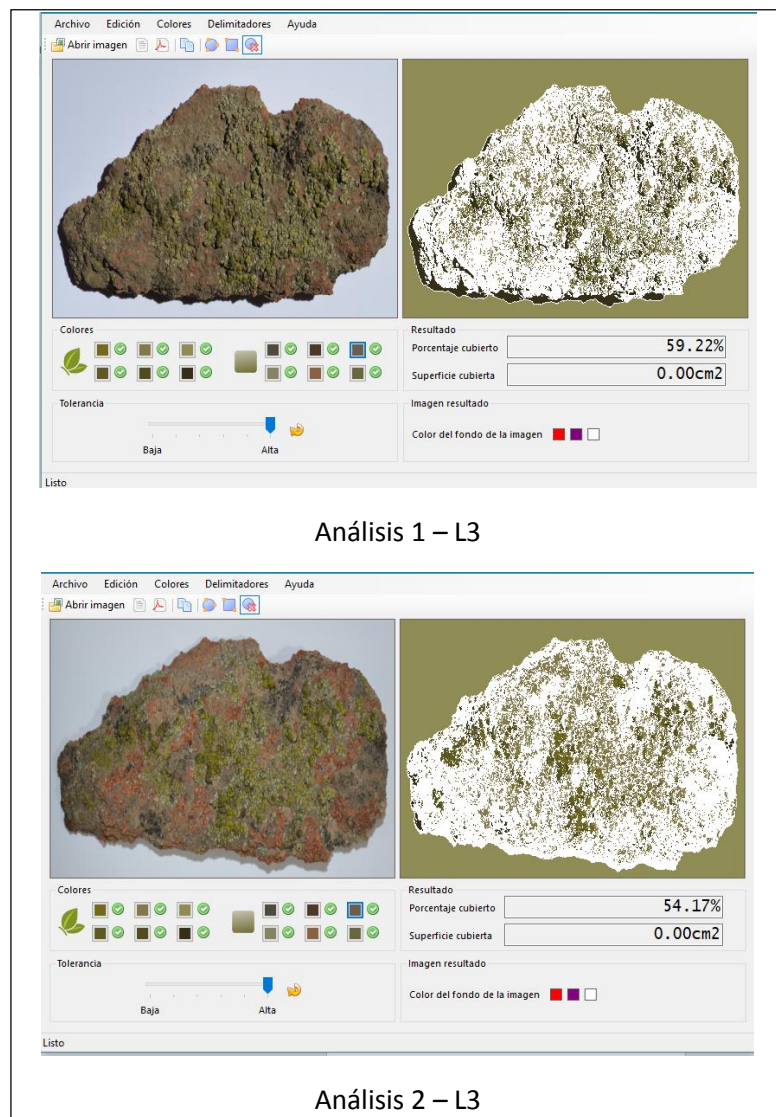


Figura 36. Análisis 1 y 2 de cobertura del liquen L3 – PZ

Fuente: Elaboración propia

En la figura 37 se muestra los resultados de los análisis 3 y 4 del líquen 3 L3 – PZ.

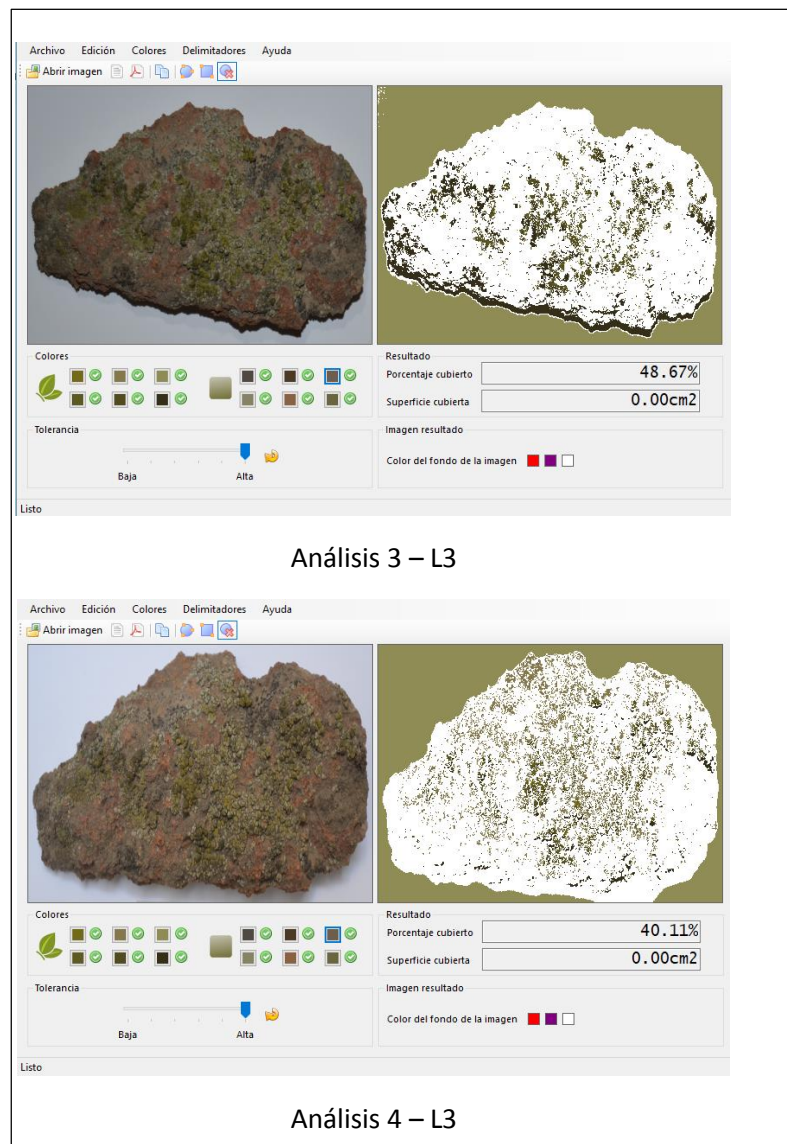


Figura 37. Análisis 3 y 4 de cobertura del líquen L3 – PZ

Fuente: Elaboración propia

5.5.4. Cobertura en porcentaje de *Acarospora* sp. “Liquen L4 - CN”

La cobertura del liquen se visualiza en la figura 38.

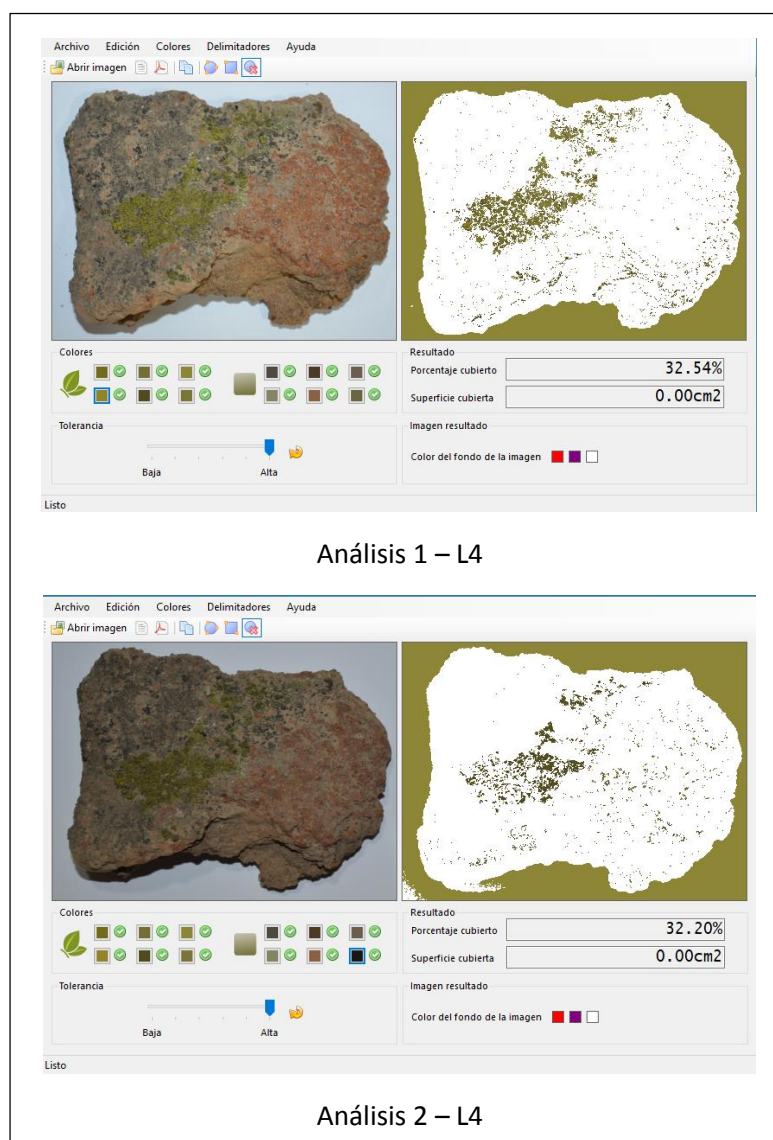


Figura 38. Análisis 1 y 2 de cobertura del liquen L4 – CN

Fuente: Elaboración propia

En la figura 39 se muestra los resultados de los análisis 3 y 4 del líquen 4 L4 – CN zona de poco tráfico vehicular.

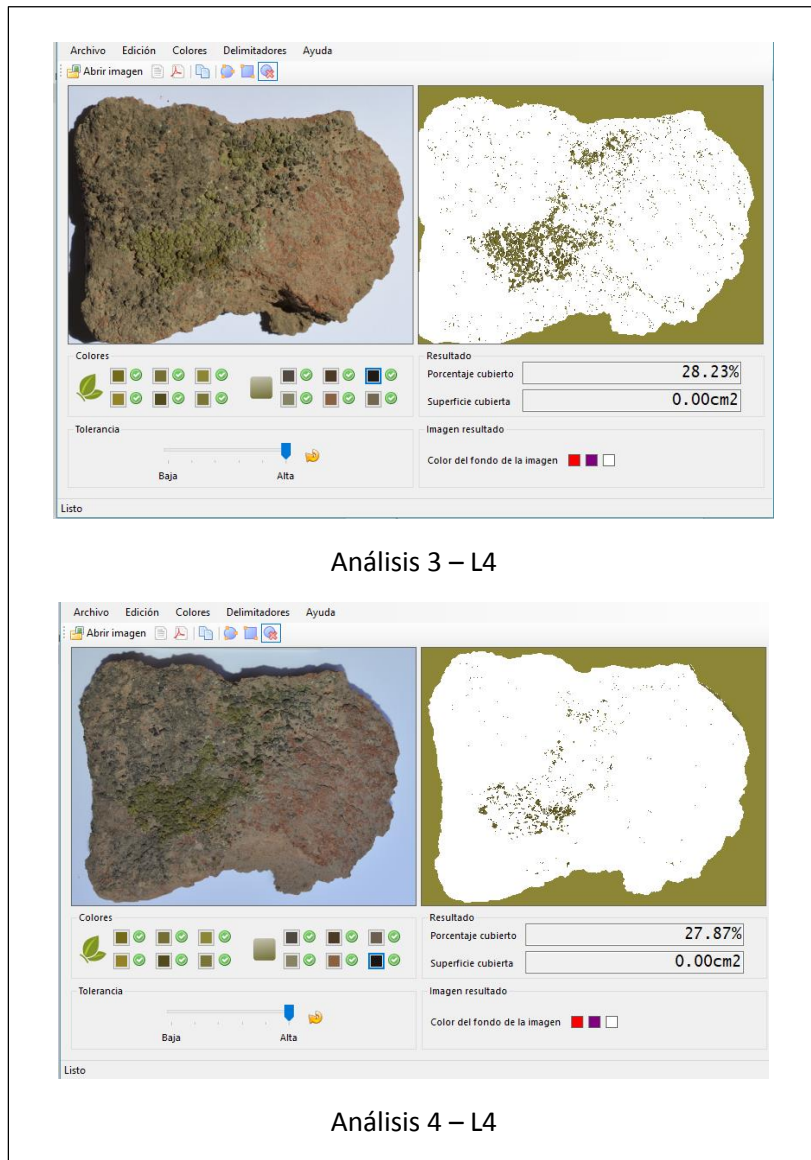


Figura 39. Análisis 3 y 4 de cobertura del líquen L4 – CN
Fuente: Elaboración propia

5.5.5. Resumen de resultados

Con los resultados obtenidos y mostrados en las figuras 32 al 39, aplicando el programa CobCal v 2.1 elaboramos la tabla 36.

Tabla 36

Resumen de cobertura en porcentaje de líquenes por análisis

Análisis	L1 - CS	L2 - GS	L3 - PZ	L4 - CN
Análisis 1	50,09	55,80	59,22	32,54
Análisis 2	44,13	47,52	54,17	32,20
Análisis 3	43,98	46,94	48,67	28,23
Análisis 4	38,30	45,18	40,11	27,87

Fuente: Elaboración propia

5.5.6. Descripción de resultados

De los resultados en la tabla 36, se visualiza que el tercer líquen L3 – PZ presenta mayor disminución de cobertura $(59,22 - 40,11) = 19,11 \%$. Esto se relaciona con el hecho que el líquen se encuentra en una “Zona denominada Contaminada” (flujo vehicular alto).

Mientras tanto, lo contrario sucede con el cuarto líquen L4 – CN, donde se visualiza una menor disminución de cobertura $(32,54 - 27,87) = 4,67 \%$. Este resultado concuerda con la zona denominada “Zona no Contaminada” con flujo vehicular bajo.

5.5.7. Elaboración de gráficos de resultados

Para visualizar la tendencia a disminuir o aumentar el porcentaje de cobertura, en base a los resultados de la tabla 36, aplicando el programa

MatLab, obtenemos el gráfico de regresión de los 4 líquenes mostrados en la figura 40, donde se observa claramente la tendencia a disminuir en el tiempo, teniendo en cuenta que cada bajada de líquenes para su análisis es equivalente aproximadamente a tres meses.

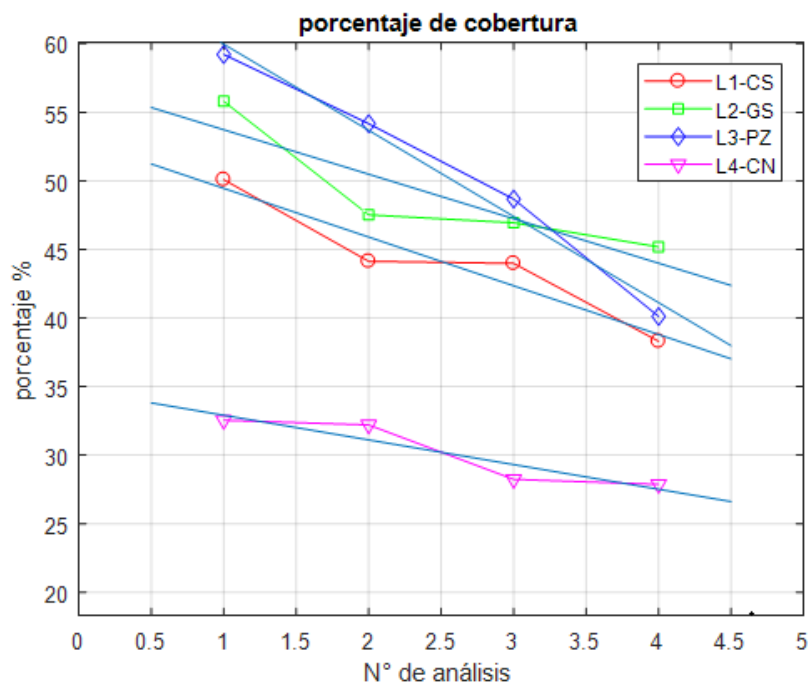


Figura 40. Gráfica de regresión de porcentaje de cobertura de 4 líquenes

Fuente: Elaboración propia

Con el objetivo de comparar los resultados obtenidos de un líquen ubicado en una zona de baja contaminación con los resultados de un líquen ubicado en una zona contaminada, se presenta las figuras 41 y 42 correspondiente a la regresión de porcentajes de cobertura de los líquenes 1 con 2 y 1 con 3 respectivamente.

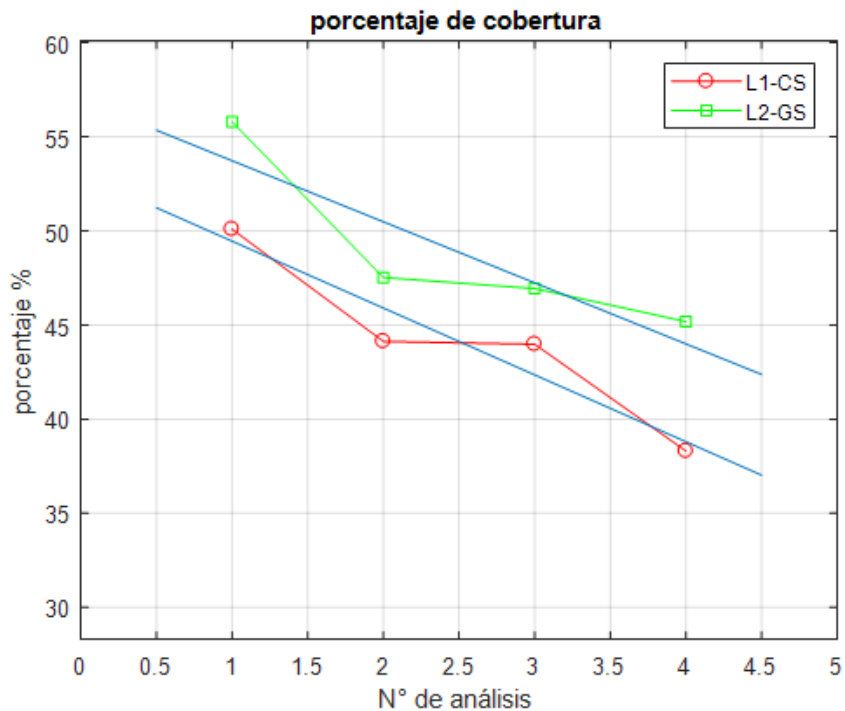


Figura 41. Regresión de porcentaje de cobertura de líquenes 1 y 2

Fuente: Elaboración propia

En la figura 41 se observa la tendencia del líquen a disminuir su cobertura debido a que el aire sustento del líquen está contaminado con elementos que el líquen retiene. Uno de esos componentes es el “Azufre”. Y el azufre se encuentra en el SO_2 emitido por los motores de combustión interna de los vehículos.

Asimismo, la evidente tendencia se considera que se debe a la estructura heterómera del líquen y a la característica del líquen, es decir a lo que su apotecio es circular, cóncavo, inmerso en el talo (Ramírez y Cano, 2005)

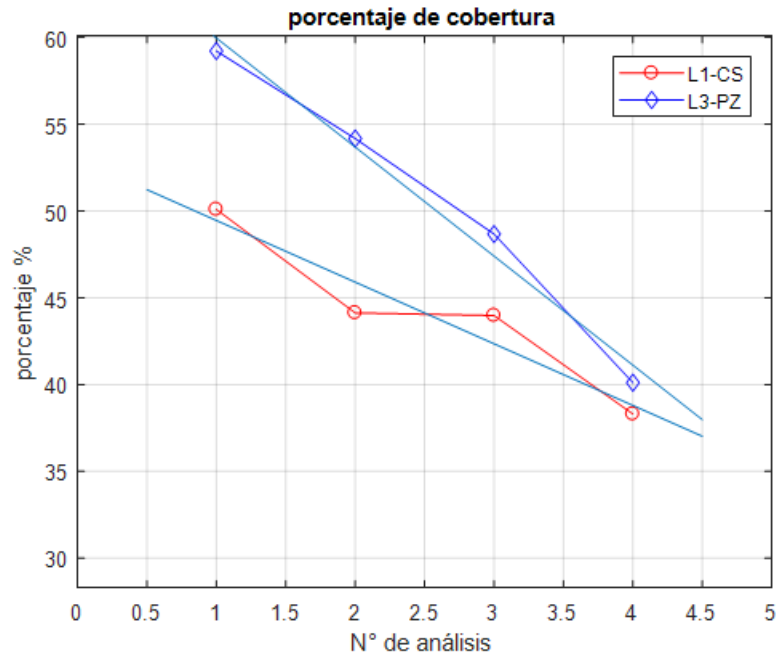


Figura 42. Regresión de porcentaje de cobertura de líquenes 1 y 3

Fuente: Elaboración propia

En la figura 42, se observa gráficamente la tendencia a disminuir del porcentaje de cobertura a medida que el líquen permanece más tiempo en el lugar de estudio del líquen 1 L1 – CS (zona de baja contaminación) en comparación con el líquen 2 L2 – PZ (zona contaminada).

5.6. RESULTADOS DE ANÁLISIS DE COLOR Y RESEQUEDAD DE LÍQUENES

Para el análisis de color y resequeadad de líquenes, recurrimos a la metodología del juicio de expertos, por lo que se invitó a un experto para que opine sobre el cambio de color y resequeadad de líquenes. Para ello, se le proporcionará las imágenes antes de la primera bajada y después de la cuarta bajada.

Tabla 37

Datos del experto para el juicio de color y resequedad

DATOS DEL EXPERTO: (Escobar P. J. 2008)	DETALLES
Nombres y apellidos del experto	CESAR NICOLAS CACERES MUSAJA
Formación académica	BIÓLOGO
Área de experiencia	BOTÁNICA TROPICAL
Tiempo de experiencia	10 años
Cargo actual	ESPECIALISTA EN ORDENAMIENTO TERRITORIAL
Institución	GOBIERNO REGIONAL TACNA

Fuente: Elaboración propia

Según Ramos D. y otros (2013), los líquenes de especie “Acarospora”, presentan un color característico, mostrado en la figura siguiente:



Figura 43. Vista del color característico de la especie “Acarospora”

Fuente: Ramos y otros (2013)

Por lo que, se tomará solo como verificación del color de la especie en estudio. Así, el resultado de variación de color y resequedad quedara íntegramente a juicio del experto.

5.6.1. Análisis de color y resequead del liquen L1 – CS

Para el juicio usamos las imágenes mostradas en las figuras siguientes:



Figura 44. Imágenes del liquen L1 – CS antes y después de la ubicación en la zona de estudio

Fuente: Elaboración propia

Luego de aplicar el método científico de la observación se tiene:

A) COLOR: Se observa que no hay mucha variación en cuanto al color. El color verdoso se mantiene, siendo notorio la pérdida de cobertura.

B) RESEQUEDAD: Presenta ligera variación en cuanto a resequedad, especialmente en la parte inferior de la imagen.

5.6.2. Análisis de color y resequedad del líquen L2 – GS

Gráficamente, se visualiza en la figura siguiente



Figura 45. Imagen de líquen L2 – GS antes y después de ubicación en la zona de estudio

Fuente: Elaboración propia

A) COLOR: La variación de color es notoria. En la primera imagen se muestra un verdoso compacto, mientras que en la segunda imagen se nota el reemplazo del color compacto por un color plomizo.

B) RESEQUEDAD: Se nota la resequedad del liquen, especialmente por los cantos de la zona cubierta del liquen, lo que hace notorio el cambio de color y por ende la pérdida de cobertura.

5.6.3. Análisis de color y resequedad del liquen L3 – PZ

Gráficamente, se visualiza en la figura siguiente



Figura 46. Imágenes del liquen L3 – PZ antes y después de Ubicación en la zona de estudio

Fuente: Elaboración propia

Luego de aplicar el método científico de la observación se tiene los resultados siguientes:

A) COLOR: Al igual como el caso anterior, la variación de color verdoso compacto es notoria. Antes de su ubicación el líquen presenta un verdoso compacto, mientras que después de la ubicación se nota la pérdida del color compacto, muestreando puntos plumizos.

B) RESEQUEDAD: Se nota inicios de resequeidad en las partes interiores de los líquenes, lo que conduce finalmente a una pérdida de cobertura.

5.6.4. Análisis de color y resequeidad del líquen L4 – CN



Figura 47. Imagen de líquen L4 – CN antes y después de ubicación en la zona de estudio

Fuente: Elaboración propia

De igual manera, para el líquen 4 L4 – CN (ubicado en una zona de baja contaminación se tiene los resultados siguientes:

A) COLOR: El presente líquen, a pesar de haber estado ubicado en una zona de poco tráfico vehicular es el que más variación de color presenta,

ya que del color verdoso compacto en una parte específica del líquen se nota un cambio de color oscuro. Hay que resaltar que la cobertura no varía mucho, se mantiene ya que no presenta zonas o puntos internos de color plomizo como los dos casos anteriores

B) RESEQUEDAD: La resequedad generalmente se manifiesta por el color plomizo, lo que este líquen no presenta resequedad notoriamente.

CAPÍTULO VI

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN GLOBAL DE LA INVESTIGACIÓN

Uno de las observaciones más trascendentales de la presente investigación es que no se observa líquenes en la ciudad de Tacna, principalmente en las cortezas de los árboles como en otras ciudades a nivel nacional (Machu Picchu - Cuzco - Perú) e internacional (Valle de Aburra – Medellín Colombia) por nombrarlos como ejemplos. Debido a ello, se optó por recomendaciones de expertos a buscarlos por las quebradas aledañas a las zonas de Calana. Luego de ubicarlos en diferentes puntos de la ciudad de Tacna, se analizan los siguientes resultados:

Según los datos obtenidos para determinar el flujo vehicular de las zonas de estudio de líquenes (tabla 18), se observa que en promedio el flujo vehicular de la zona con alto tráfico es aproximadamente 12 veces más el flujo vehicular de la zona con bajo tráfico vehicular. Ello, nos indica la presencia de emisiones vehiculares como: CO, SO₂ y NO_x. en bajas y altas concentraciones. Estos datos se corroboran con los resultados de una investigación realizada en San Luis, Argentina en un Centro Comercial, donde se observó bajas concentraciones de CO, SO₂ y NO_x en zonas suburbanas (bajo tráfico vehicular) y altas concentraciones en zonas cercanas a la mayor actividad comercial (alto tráfico vehicular) (Andrés et ál., 2000).

Los resultados del análisis de líquenes en el microscopio electrónico de barrido muestran a partir de la segunda bajada un aumento progresivo

de porcentaje de azufre [S] en los líquenes L1 – CS; L2 – GS y L3 – PZ; sin embargo, la variación del líquen L4 – CN no es uniforme. Ello puede ser porque se encuentra en la parte alta de la ciudad de Tacna, además por la dirección de los vientos de la ciudad. Tema que no es materia de la presente investigación.

De acuerdo a los resultados, los líquenes presentan cierta variación o disminución de cobertura, especialmente los líquenes L2 – GS y L3 – PZ por encontrarse en zona de alto tráfico vehicular. Lo que indica presencia de las emisiones SO₂, CO y NO_x. ello en un periodo de 1 año calendario. Esto se corrobora con la investigación realizada en Sevilla, España, donde se encontró que, en zonas residenciales con alto tráfico vehicular emisores de SO₂ y NO₂ presentan menor cantidad de cobertura de líquenes (Cepeda y García, 1998). Sin embargo, no se menciona el tiempo de permanencia de los líquenes en la zona.

En lo que respecta al color y resequedad, los resultados nos indican que en la zona de alto tráfico vehicular la variación de color de líquenes es notorio con respecto a los líquenes ubicados en zonas de bajo tráfico vehicular. Estos resultados se corroboran con los resultados de la investigación realizada por Analía Bárdelas de la Universidad Nacional de General Sarmiento, quien encontró diversidad de colores de líquenes en una zona de bajo tráfico vehicular y poca diversidad de colores de líquenes en una zona de alto tráfico vehicular (los Polvorines) en Argentina.

6.2. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS

De acuerdo a nuestros resultados obtenidos en la investigación, a medida que los líquenes permanecen más tiempo en las zonas de alto y

bajo tráfico vehicular se ha notado que el porcentaje de azufre aumenta, representando a la contaminación en el aire por el tráfico vehicular. Simultáneamente, en el mismo tiempo, el porcentaje de cobertura en los líquenes disminuye, esto debido al efecto de la presencia de azufre en el liquen. Esto se puede visualizar en las tablas 36 y 38.

Por ello, para la comprobación de la hipótesis se utilizará la prueba estadística paramétrica “Anova Multifactorial” para analizar todas las variables involucradas. Una de ellas, es el porcentaje de contenido de azufre en los líquenes y la otra será los datos de porcentaje de cobertura en los líquenes. Ambas relacionadas con el tiempo.

Asimismo, se menciona que, se trabajará la contrastación con tres líquenes, ya que el cuarto liquen (cono norte) tiene sus valores irregulares. Por ello, de las tablas 34 y 36 se deduce la tabla 38, donde se observa para cada liquen el incremento de azufre y la disminución de cobertura, lo cual no sucede para el liquen 4, por ello, no lo consideramos.

Tabla 38

Porcentaje de azufre y cobertura de líquenes 1 al 3

ANÁLISIS	LIQUEN 1		LIQUEN 2		LIQUEN 3	
	Azufre [%]	Cobertura [%]	Azufre, [%]	Cobertura [%]	Azufre, [%]	Cobertura [%]
1er	0	50,09	0	55,80	0	59,22
2do	0,26	44,13	0,50	47,52	0,51	54,17
3er	0,39	43,98	0,82	46,94	0,80	48,67
4to	0,74	38,30	1,97	45,18	1,41	38,30

Fuente: Elaboración propia

6.2.1 Contrastación de hipótesis sobre cobertura

“La presencia en el aire de las emisiones de tráfico vehicular, afecta la cobertura de los líquenes de tipo crustáceo ubicados en la zona contaminada (zona con tráfico vehicular alto) en comparación a la zona no contaminada (zona con tráfico vehicular bajo)”. En base a ello planteamos las hipótesis nula y alterna:

Ho: La presencia en el aire de las emisiones de tráfico vehicular, no afecta la cobertura de los líquenes de tipo crustáceo y el tiempo ubicados en la zona contaminada (zona con tráfico vehicular alto) en comparación a la zona no contaminada.

H1: La presencia en el aire de las emisiones de tráfico vehicular, afecta la cobertura de los líquenes de tipo crustáceo y el tiempo ubicados en la zona contaminada (zona con tráfico vehicular alto) en comparación a la zona con baja contaminación (zona de tráfico vehicular bajo).

Para ello, aplicaremos el programa *Statgraphic Centurion* versión 17, que primero nos informa los datos siguientes:

- Tipo de diseño: Categórico multifactorial
- Nombre del archivo: Contrastación de hipótesis

Para ello, las características del diseño base será:

- Número de factores experimentales (Number of experimental factors): 2
- Numero de respuestas (Number of responses): 2
- Número de corridas (Number of runs): 24
- Error de grados de libertad (Error degrees of freedom): 12

- Aleatoriedad (Randomized): No

Los factores y respuestas indicadas, se visualizan en las tablas siguientes:

Tabla 39.

Datos del análisis factorial

Factores	Niveles	Unidades
Tiempo	4	trimestres
Liquen	3	unidades

Fuente: Elaboración propia

Tabla 40

Datos de las respuestas

Respuestas	Unidades
Azufre	%
Cobertura	%

Fuente: Elaboración propia

Automáticamente, el programa crea un diseño experimental que estimará los efectos de 2 factores categóricos. El diseño es una factorial estándar, que consiste en todas las combinaciones de los niveles de los factores. Hay un total de 24 corridas en el diseño.

Así, se obtiene los análisis correspondientes a las respuestas azufre y cobertura en las tablas siguientes:

Tabla 41*Análisis de varianza para el azufre*

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Tiempo	5,92243	3	1,97414	59224,33	0,0000
B:Líquén	0,954758	2	0,477379	14321,37	0,0000
INTERACTIONS					
AB	0,880942	6	0,146824	4404,71	0,0000
RESIDUAL	0,0004	12	0,0000333333		
TOTAL (CORRECTED)	7,75853	23			

All F-ratios are based on the residual mean square error

Fuente: Elaboración propia

La tabla ANOVA descompone la variabilidad de azufre en contribuciones debido a varios factores. Dado que se han elegido sumas de cuadrados de Tipo III (el valor predeterminado), la contribución de cada factor se mide eliminando los efectos de todos los demás factores. Los valores P prueban la significancia estadística de cada uno de los factores. Dado que los valores de 3P son inferiores a 0,05, estos factores tienen un efecto estadísticamente significativo sobre azufre con un nivel de confianza del 95 %.

Por lo tanto, la interacción del tiempo y líquén influyen en el porcentaje de azufre.

De la misma manera, se presentan los resultados del análisis para la cobertura, tal como se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 42*Análisis de varianza para la cobertura*

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Tiempo	638,783	3	212,928	1452,61	0,0000
B:Líquén	157,266	2	78,6331	536,44	0,0000
INTERACTIONS					
AB	118,709	6	19,7849	134,97	0,0000
RESIDUAL	1,759	12	0,146583		
TOTAL (CORRECTED)	916,518	23			

All F-ratios are based on the residual mean square error

Fuente: Elaboración propia

La tabla ANOVA descompone la variabilidad de la cobertura en contribuciones debido a varios factores. Dado que se han elegido sumas de cuadrados de Tipo III (el valor predeterminado), la contribución de cada factor se mide eliminando los efectos de todos los demás factores. Los valores P prueban la significancia estadística de cada uno de los factores. Dado que los valores de 3P son inferiores a 0,05, estos factores tienen un efecto estadísticamente significativo en la cobertura al nivel de confianza del 95 %

Por lo tanto, la interacción del tiempo y líquén influyen en la cobertura.

Una vista de la interacción de los parámetros mencionados para el azufre y cobertura se muestra en las figuras 48 y 49 respectivamente. Y la correlación de las respuestas de análisis azufre y cobertura se muestra en la figura 50.

En la figura 48, se observa en el gráfico que a mayor tiempo que permanece los líquenes el porcentaje de azufre aumenta en forma directamente proporcional.

En la figura 48, se observa, además, que los líquenes 2 y 3 presentan mayor porcentaje de azufre en relación al liquen 1. Esto es correcto, en tanto los líquenes 1 y 2 corresponden a una zona con alto tráfico vehicular mientras el liquen 1 corresponde a una zona de bajo tráfico vehicular.

Obsérvese además que, el liquen 1 a pesar que se encuentra en una zona con bajo tráfico vehicular también presenta aumento del porcentaje de azufre, pero moderadamente, tal como se visualiza en la figura.

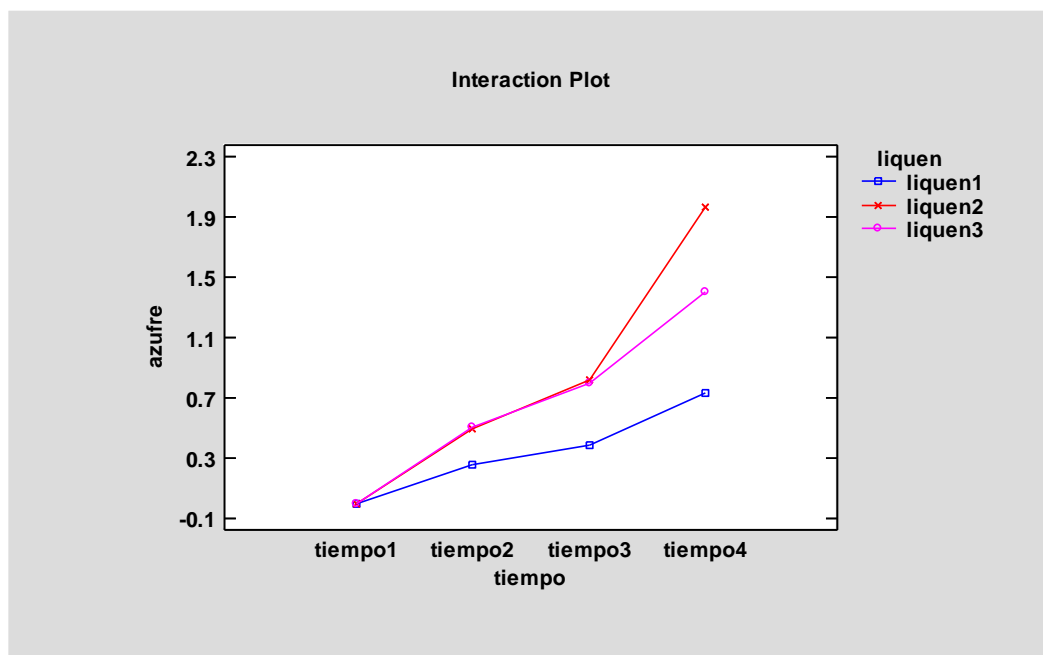


Figura 48. Contenido de azufre en los tres líquenes en el tiempo

Fuente: Elaboración propia

En la figura 49 se observa en el gráfico, que a menor tiempo que permanecen los líquenes el porcentaje de la cobertura disminuye en forma

inversamente proporcional. Esto debido al efecto de la composición del aire, donde el azufre es parte de ella.

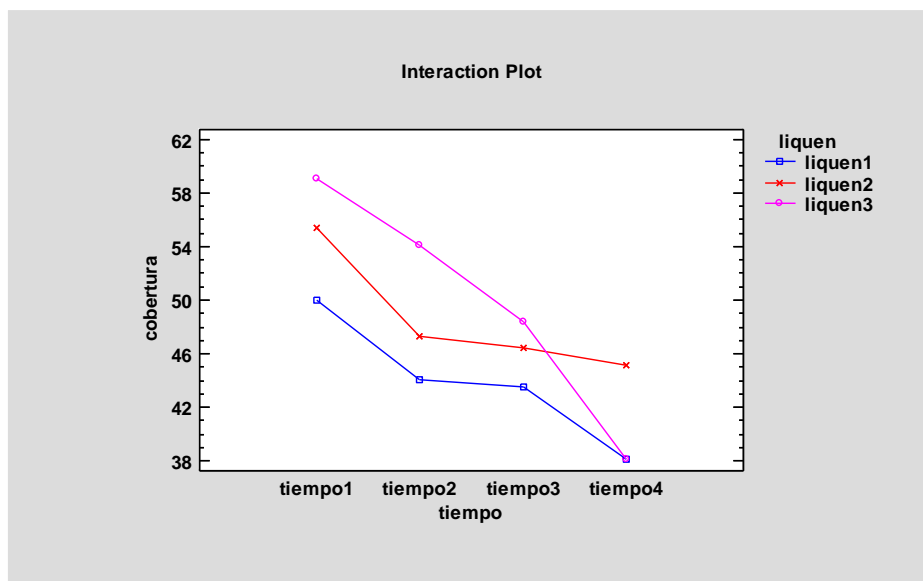


Figura 49. Porcentaje de cobertura en los tres líquenes en el tiempo

Fuente: Elaboración propia

Una representación de la relación cobertura en función del azufre se muestra en la figura 50, en donde se visualiza claramente que a medida que aumenta el porcentaje de azufre en el liquen producto del aire contaminado, el porcentaje de cobertura disminuye. Por lo que, el coeficiente de correlación entre las dos variables es negativa (-0.57182), valor obtenido en el programa en inglés (*Correlation Coefficient = -0.57182*), tal como se muestra en la figura.

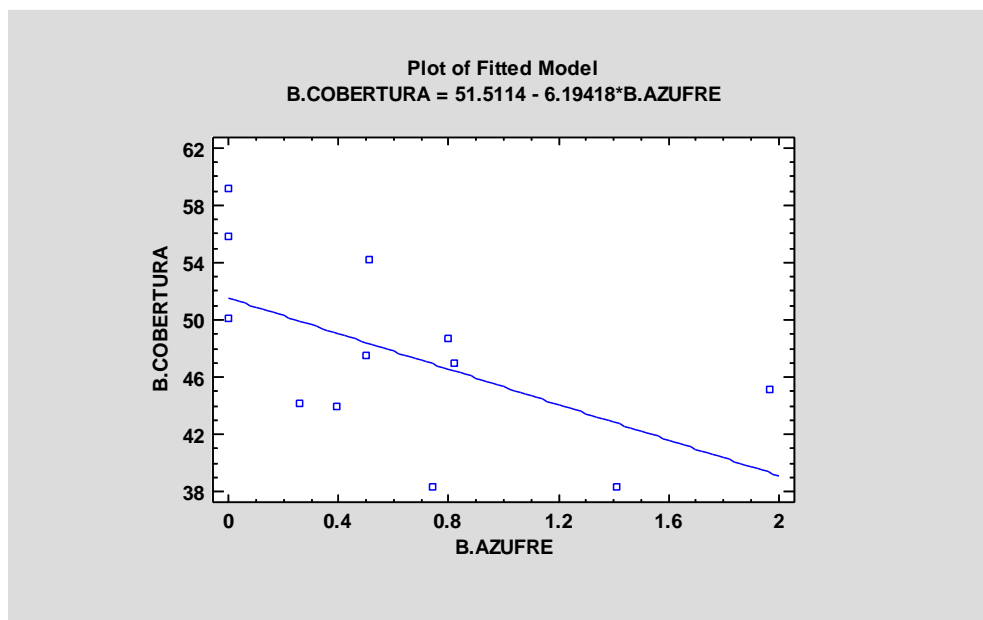


Figura 50. Correlación de respuestas cobertura y azufre

Fuente: Elaboración propia

Haciendo la interpretación de los resultados se acepta la hipótesis alterna sobre la presencia en el aire de las emisiones de tráfico vehicular, afecta la cobertura de los líquenes de tipo crustáceo y el tiempo ubicados en la zona contaminada (zona con tráfico vehicular alto) en comparación a la zona no contaminada.

6.2.2. Contrastación de la hipótesis secundaria sobre color y resequeidad

Dado que la variación del color y la resequeidad de los líquenes están relacionadas con la disminución de cobertura, y como estos parámetros fueron determinados aplicando el juicio de expertos, realizamos el contraste de hipótesis de acuerdo a los resultados obtenidos.

“La presencia en el aire de las emisiones de tráfico vehicular, afecta la morfología (color y resequedad) de los líquenes tipo crustáceo ubicados en la zona contaminada (zona con tráfico vehicular alto) en comparación a la zona no contaminada (zona con tráfico vehicular bajo)”.

Ho” = La presencia en el aire de las emisiones de tráfico vehicular, no afecta la morfología (color y resequedad) de los líquenes tipo crustáceo ubicados en la zona contaminada (zona con tráfico vehicular alto) en comparación a la zona no contaminada (zona con tráfico vehicular bajo).

Ha” = La presencia en el aire de las emisiones de tráfico vehicular, afecta la morfología (color y resequedad) de los líquenes tipo crustáceo ubicados en la zona contaminada (zona con tráfico vehicular alto) en comparación a la zona no contaminada (zona con tráfico vehicular bajo).

En concordancia con los resultados obtenidos se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternante.

CONCLUSIONES

1. Durante el desarrollo de la presente investigación, se demostró que los líquenes son sensibles a cualquier cambio de ambiente y a su vez son resistentes a la contaminación ambiental.
2. Para la aplicación de la investigación, se aplicó la metodología “Trasplante de Líquenes a lugares específicos”, en un total de 4 puntos. Dos de bajo y dos de alto tráfico vehicular, siendo el punto “Plaza Zela” el que presenta un volumen horario de flujo vehicular alto de 361,75 veh/15 min en relación a los demás puntos.
3. Los líquenes se bajaron de los lugares de estudio para su análisis correspondiente cada 3 meses aproximadamente con un ajuste de 15 días, haciendo un total de 4 bajadas, es decir un año y 2 meses aproximadamente.
4. Se comprobó la presencia de las emisiones vehiculares: CO, SO₂ y NO_x determinando el flujo vehicular de las zonas, tanto en periodos de clases como en periodos de vacaciones escolares. A su vez notándose que no existe diferencia significativa en ambos periodos.
5. El contenido en porcentaje de azufre en los líquenes aumenta progresivamente a partir de la segunda bajada en los líquenes 1, 2 y 3. Lo mismo no sucede con el liquen 4, debido a algunos factores que serían materia de investigación.

6. Se determinó con la asistencia del programa “CobCal” que la variación de cobertura de los líquenes (L2 – GS y L3 – PZ) ubicados en la zona de alto tráfico vehicular es mayor con relación a la variación de la cobertura en líquenes (L1 – GS y L4 – PZ) ubicados en zonas consideradas de bajo tráfico vehicular.

7. Se observó que la variación de color y resequedad de los líquenes (L2 – GS y L3 – PZ) ubicados en la zona considerada de alto tráfico vehicular es de consideración con relación a la variación de la cobertura en líquenes (L1 – GS y L4 – PZ) ubicados en zonas consideradas de bajo tráfico vehicular.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda a los futuros investigadores de líquenes aumentar el número de líquenes a un número de 10 como mínimo, teniendo en cuenta las experiencias de la presente investigación y distribuirlos en diferentes puntos de la ciudad de Tacna, de tal manera que su ubicación sea territorialmente proporcional.
2. Los investigadores de líquenes para determinar el porcentaje de algún componente en el líquen: azufre, nitrógeno, etc., deben aplicar dos metodologías, para dar más consistencia a los resultados obtenidos por una sola metodología.
3. En futuras investigaciones con bioindicadores, elaborar protocolos administrativos y logísticos, para evitar contratiempos.
4. Se sugiere a los futuros investigadores de líquenes como bioindicadores de la calidad del aire, tomar las imágenes de líquenes en una resolución determinada y en una sola posición y a una distancia adecuada, para facilitar la metodología “Juicio de expertos”.
5. La Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica de la UNJBG., específicamente en el curso de Ingeniería Automotriz, debe realizar una caracterización de las zonas de alto y bajo tráfico vehicular de la ciudad de Tacna, para facilitar futuras investigaciones de líquenes como bioindicadores de la calidad del aire.
6. Se exhorta analizar los líquenes, en equipos especializados para analizar su estructura y así determinar el efecto aparte de la cobertura y su morfología.

7. Corresponde a la Escuela de Posgrado de la UNJBG incentivar a los egresados de la maestría “Gestión Ambiental y Desarrollo Sostenible” a participar en investigaciones de bioindicación de la calidad del aire, bioremediación del agua, del suelo, entre otras aplicaciones, de tal manera, que se reemplacen métodos tradicionales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andrés et al. (2000). ***Efectos sobre la contaminación del aire debido a perturbaciones en el flujo vehicular en una calle de la ciudad de Rosario***. Universidad Tecnológica Nacional. Rosario Argentina.
- Anze, R., Franken, M. y Zavalla, M. (2007). ***Bioindicadores en la detección de la contaminación atmosférica en Bolivia***. Revista virtual REDESMA, 1 (1), 53-74.
- Bardelás, A. (2012). ***Desarrollo y puesta a prueba de un nuevo método para utilizar líquenes como bioindicadores de contaminación***. Universidad Nacional de General Sarmiento. Los Polvorines - Argentina.
- Barreno, E., Sancho, L., Crespo, A. y Bueno, A. (1981). ***Establecimiento de una red de valoración de pureza atmosférica en la provincia de La Coruña (España) mediante bioindicadores liquénicos***. Lazaroa(3), 289-313.
- Barrio, J. (2010). ***Elementos de antropología pedagógica***. Madrid, España: Ediciones RIALP S.A
- Brendan, P. (2012). ***An evolving phylogenetically based taxonomy of lichens a allied fungi***. *Opuscula Philolichenum*, 11: 4 - 10.
- Budka, D., Mesjasz-Przybyłowicz, J., y Przybyłowicz, W. (2004). ***Environmental pollution monitoring using lichens as bioindicators: a micro-PIXE study***. *Radiation Physics and*

Chemistry, 71(3–4), 783-784. doi:
<http://dx.doi.org/10.1016/j.radphyschem.2004.04.090>

Bustamante, E. (2010). ***Líquenes como bioindicadores de la contaminación atmosférica en la zona urbana de San José.***

Canseco, A., Anze, R. y Franken, M. (2011). ***Comunidades de líquenes: indicadores de la calidad del aire en la ciudad de La Paz, Bolivia.*** Revista Acta Nova, 3 (2).

Cepeda, J. y García, J. (1998). ***The effect of air pollution from nitrogen dioxide (NO₂) on epiphytic lichens in Seville, Spain.*** *Aerobiología*, 14, 241–247.

Conti, M. y Cecchetti, G. (2001). ***Biological monitoring: lichens as bioindicators of air pollution assessment— a review.*** *Environmental Pollution*, 114 (3), 471-492. doi:
[http://dx.doi.org/10.1016/S0269-7491\(00\)00224-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0269-7491(00)00224-4)

Coutiño, B. y Montañez, A. (2009). ***Los líquenes.*** Ciencias (059).

Cristofolini et al. (2008). ***La respuesta de los líquenes epífitos a la contaminación del aire y subconjuntos de predictores ecológicos: un caso del estudio de los Pre Alpes. Italianos.***

Díaz, N. (2014). ***El concepto de ciencia como sistema, el positivismo, neopositivismo y las investigaciones cuantitativas y cualitativas.*** Universidad de San Sebastián. Barranquilla Colombia.

Dillman, K. (1996). ***Use of the lichen Rhizoplaca melanophthalma as a monitor in relation to phosphate refineries near Pocatello, Idaho. Great Britain.*** Environmental Pollution, 92, 91–96.

Escobar, P. y Cuervo, M. (2008). ***Validez de contenido y juicio de expertos: Una aproximación a su utilización.*** Revista "Avances en medición, 6, 27 - 36 - Colombia.

Estrada, V. y Nájera, J. (2011) ***El uso de líquenes como biomonitores para evaluar el estado de la contaminación atmosférica a nivel mundial.***

Fernández, A. y Terrón, A. (2003). ***Biomonitorización de la calidad del aire en los alrededores de La Robla (León).***

France, D. M. y otros. ***¿Qué es el pensamiento dialógico crítico?***. Cito en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/peredu/v25n102/v25n102a3.pdf>, revisado el 21 de marzo del 2019.

Gamarra, A., Rivera, E., Wong, G. y Pujay, A. (2015). ***Estadística e Investigación con aplicaciones de SPSS.*** Editorial San Marcos. Lima-Perú.

Hawksworth, D., Iturriaga, T. y Crespo, A. (2005). ***Líquenes como bioindicadores inmediatos de contaminación y cambios medio-ambientales en los trópicos.*** Revista Iberoamericana de Micología, 22 (2), 71-82. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S1130-1406\(05\)70013-9](http://dx.doi.org/10.1016/S1130-1406(05)70013-9)

Isasi, C. (2011). **Los conceptos de especies indicadoras: Paraguas, banderas y claves, su uso y abuso en ecología de conservación.** Reasearchgate.

Jaramillo, C. y Botero, B. (2009). **Comunidades líquénicas como bioindicadores de calidad del aire.** Revista Gestión y ambiente, Volumen 13 N° 1 (2010). Medellin Colombia.

Judkevich, M., Medina, W. y Salas, R. (2012). **Hongos liquenizados.** Facultad de Ciencias Exactas, Naturales y Agrimensura. UNNA - Argentina.

Kett, A., Dong, S., Andrachuk, H. y Craig, B. **Aprendiendo con líquenes. Uso de líquenes Epifitos como Indicadores Biológicos de Contaminación del Aire.** Citizens Enviroment Watch, Canada. Recuperado de. Recuperado de:
<https://greenteacher.com/article%20files/Lichens.pdf>

LijteRoff, R., Lima, L. y Prieri, B. (2009). **Uso de líquenes como bioindicadores de contaminación atmosférica en la ciudad de San Luis, Argentina.** Revista internacional de contaminación ambiental, 25 (2), 111-120.

Lipman, M. y Freire, P. (2002). **Conceptos para la libertad.** Centro de investigaciones para la libertad. Argentina.

Lozano, A., Torres, V. y Antun, J. (2011). **Tráfico vehicular en zonas urbanas**. Universidad Nacional Autonoma de Mexico. Revista Ciencias N° 70.

Mares, R. (2017). **Líquenes como bioindicadores de la calidad del aire**. Universidad Complutense. España.

Matus, C. P. y Lucero, Ch. R. (2002). **Norma primaria de calidad del aire**. Revista chilena de enfermedades respiratorias, 18 (2), 112-122.

Méndez-Estrada, V. H., Rivas-Rossi, M. y Monge-Nájera, J. (1999). **Los líquenes como bioindicadores y su uso por parte de estudiantes para monitorear la contaminación atmosférica**. Biocenosis, 13 (1-2), 39-43.

Perez, V. J. (2015). **El positivismo y la investigación científica**. Revista científica ICE . FEF - UCSG.

Pinto, R. (2005). **Tillandsia del norte de Chile y del extremo sur del Perú**. Ed. Flor Atacama. Iquique, Chile. 135 p.

Ramírez, A. y Cano, A. (2005). **Líquenes de Pueblo Libre, una localidad andina en la Cordillera Negra (Huaylas, Ancash, Perú)**. Facultad de Ciencias Biológicas. UNMSM.

Ramos, D. y col. (2013). **Diversidad de líquenes en el anexo de Tuctumpaya, distrito de Pocsi, Arequipa, Peru**. Arnaldoa 20 (1): 129 - 154.

- Saiz, C. (2009). ***Pensamiento crítico. Conceptos básicos y actividades prácticas***. Madrid, España. Ediciones Pirámide.
- Saiz, C. (2017). *Pensamiento crítico y cambio*. Madrid, España. Ediciones Pirámide.
- Santoni, C. S. y Lijteroff, R. (2004). ***Evaluación de la calidad del aire mediante el uso de bioindicadores en la provincia de San Luis, Argentina***. Revista internacional de contaminación ambiental, 22 (1), 49-58.
- Vargas, V., Rincon V. y Gonzales, V. (2012). ***Ingeniería de tránsito. Conceptos básicos***. Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas.
- Vasquez, F. (2015). ***Estudio de los efectos de la contaminación atmosférica sobre los bioindicadores líquénicos y la degradación de los mismos***. Universidad de la Palmas de la Gran Canaria.
- Vergara, D., Paredes, T. y Simbaña, W. (2005). ***Líquenes como bioindicadores de contaminación en el sitio de disposición final desechos sólidos, isla Santa Cruz, Galápagos***. Departamento de Botánica de la Fundación Charles Darwin. Isla Galápagos.
- Umaña, L. y Sipman, H. (2012). ***Líquenes de Costa Rica***. Editorial INBio

ANEXOS

ANEXO I

PROPORCION ENTRE LAS EMISIONES PRIMARIAS NATURALES Y ANTROPOMETRICAS PARA DISTINTOS

Emisiones	% Antropogénicos	% Naturales
Aerosoles	11,3	88,7
SO _x	42,9	57,1
CO	9,4	90,6
NO _x	11,3	88,7
HC	15,5	84,5

Fuente: Vásquez F. (2015)

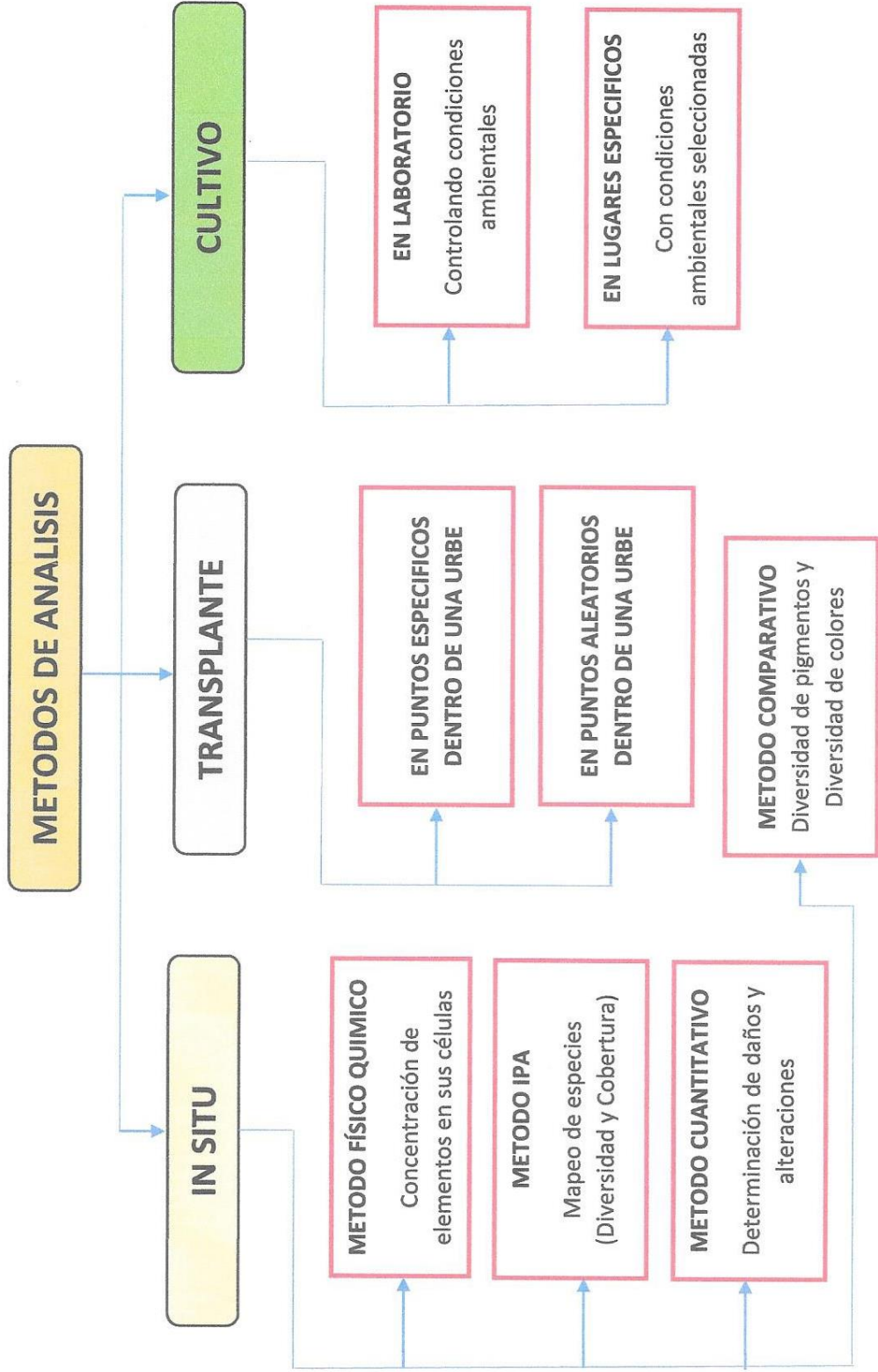
ANEXO II

CARACTERISTICAS DE BUENOS BIOINDICADORES

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	Especies abundantes y comunes Adecuada densidad poblacional local (las especies raras no son óptimas)
	Comunes, incluyendo distribución dentro del área en cuestión
	Relativamente estables a pesar de la moderada variabilidad climática y medioambiental
Especies bien estudiadas	Especies bien estudiadas Ecología y forma de vida bien comprendidas
	Taxonómicamente bien documentadas y estables
	Fáciles y baratas de sondear
Económicamente / comercialmente importantes	Económicamente/comercialmente importantes Especies ya cosechadas con otras finalidades
	Interés público o conciencia sobre la especie

Fuente: Mares R. (2017)

MÉTODOS ACTUALES PARA DETERMINAR EL EFECTO DE LA CONTAMINACION MEDIANTE EL USO DE BIOINDICADORES (LIQUENES)



Fuente: Elaboración propia

**ANEXO IV. RESULTADOS DE LOS ESTUDIOS A NIVEL MUNDIAL QUE EMPLEN LOS LIQUENES
COMO BIOINDICADORES Y BIOACUMULADORES DE LOS CONTAMINANTES DEL AIRE**

CUADRO 1

Resultados de los estudios a nivel mundial que emplean los líquenes como bioindicadores
y bioacumuladores de los contaminantes del aire.

Año e investigador	Contaminante estudiado en los líquenes	Lugar del estudio	Fuente de emisión del contaminante	Resultados importantes
2009				
Lijteroff <i>et al.</i>	SO ₂	San Luis y Juana Koslay, Argentina	Emitido por la combustión interna del tráfico vehicular	Hay mayor número de especies, Índice de Pureza Atmosférica (IPA) mayor; altos valores de riqueza, diversidad y equitatividad en el área no contaminada.
2008				
Cristofolini <i>et al.</i>	SO _x , NO _x y NH ₃	Valle Prealps (Trentino, norte de Italia)	Fábrica de cemento y carretera urbana extra	Efecto sinérgico negativo por alta correlación entre el SO ₂ y NO _x .
Fuga <i>et al.</i>	As, Ba, Br, Ca, Cl, Cr, Cs, Co, K, Fe, La, Mn, Mo, Na, Rb, Sb, Sc, Se, U, Zn	Región metropolitana, Sao Paulo, Brasil	2000 industrias y 7,84 millones de vehículos	La acumulación de elementos tóxicos en <i>Canoparmelia texana</i> pueden ser de utilidad para determinar el riesgo humano de mortalidad cardiopulmonar
Policnik <i>et al.</i>	SO ₂	Valle Salek, Eslovenia	Planta de energía térmica de Sostanj	Líquenes más escasos en bosques que en espacios abiertos, dado que las concentraciones de sulfuro y compuestos de nitrógeno en las precipitaciones son más altas en bosques de la ciudad de Zavodnje que en las áreas abiertas.
Rojas-Fernández <i>et al.</i>	Radiación ultravioleta	Sierra Nevada de Mérida, Venezuela	Radiación ultravioleta	55% de las especies presentan resistencia en el ámbito UVC, 95% en el ámbito del espectro UVB y 100% mostraron resistencia en el ámbito UVA del espectro.
2007				
Anze <i>et al.</i>	SO ₂ y O ₃	La Paz y El Alto, Bolivia	Tráfico vehicular y quema de basura a cielo abierto	La distribución y cobertura de los líquenes y el IPA parecen responder a tres factores: contaminación atmosférica por el tráfico vehicular y otras fuentes de emisión, dispersión de los contaminantes por brisas de viento en plazas y avenidas anchas y la extensión de las áreas con vegetación.

CUADRO 1 (Continuación...)
Resultados de los estudios a nivel mundial que empujan los líquenes como bioindicadores y bioacumuladores de los contaminantes del aire.

Año e investigador	Contaminante estudiado en los líquenes	Lugar del estudio	Fuente de emisión del contaminante	Resultados importantes
Aspiazu <i>et al.</i>	Óxidos de nitrógeno, dióxido de azufre, monóxido de carbono, metales pesados: Ti, V, Cr, Co, Ni, Mn, Cu y Zn	Valle Metropolitano de México	30 000 industrias: químicas, silúrgicas, fundiciones de hierro, textiles, minería, papel, plásticos, nutrición, asfalto, aceites, cemento, petroquímica y alrededor de tres millones de automóviles	En época seca la deposición de Ti, Mn, Cu y Zn es uniforme. En todos los lugares: su concentración en líquenes varía poco. En época lluviosa el Ti, V, Cr, Co y Ni mantienen una deposición constante.
Fernández	Efecto del cambio climático	Ártico y Antártida	Cambio climático	Los líquenes son los primeros en colonizar las rocas dejadas al descubierto por el deshielo.
Giordani	SO ₂ y NO _x	Génova, Italia	Industrias y tráfico vehicular	En el área contaminada, la diversidad del líquen es sensible a la carga total de SO ₂ > 8 toneladas/año. Se nota un menor efecto cuando se reducen las emisiones de los contaminantes.
Munzi <i>et al.</i>	CO, NO _x y SO ₂	Roma, Italia	Influencia del mar Tirreno	Los vientos son un factor importante que afecta el ambiente urbano de Roma. La diversidad de líquenes disminuye cuando hay mayores concentraciones de CO, NO _x y SO ₂ en la atmósfera.
Nali <i>et al.</i>	O ₃	Castelfiorentino, Toscana, Italia	Industrias y flota vehicular	La cartografía de la biodiversidad de líquenes epífitos no estaba relacionada con la distribución geográfica de la capa de ozono.
2006				
Canseco <i>et al.</i>	Combustión vehicular	La Paz, Bolivia	Tráfico vehicular	En las áreas de alta intensidad vehicular más contaminadas, existe menor diversidad de líquenes; valores bajos de presencia y cobertura.
Domeño <i>et al.</i>	16 hidrocarburos aromáticos policíclicos	Área cercana al Río Gallego, Zaragoza, España	Combustión del diesel, gasolina y gas natural por vehículos, sector industrial y por la calefacción del hogar	Se demuestra que los líquenes son buenos indicadores de la calidad del aire y que permiten evidenciar la presencia y concentración de hidrocarburos.

CUADRO 1 (Continuación...)
Resultados de los estudios a nivel mundial que empelan los líquenes como bioindicadores y bioacumuladores de los contaminantes del aire.

Año e investigador	Contaminante estudiado en los líquenes	Lugar del estudio	Fuente de emisión del contaminante	Resultados importantes
Fernández-Salegui <i>et al.</i>	SO ₂	La Robla, León, España	Central térmica	Se hace una comparación con datos de 1994 y se advierte que no han existido grandes cambios en la diversidad líquénica, pese a que se observa un ligero aumento en las inmisiones de SO ₂ . Se percibe un incremento de especies de líquenes toxitolerantes.
Gomber <i>et al.</i>	Ozono, NO ₂	Grenoble, los Alpes del Norte, sureste de Francia	Tráfico vehicular e industrias de cemento y planta química	Los niveles más altos de NO ₂ se presentan en las zonas más contaminadas. No hay correlación entre los valores de IPA y las concentraciones de O ₃ y NO ₂ .
Rubiano y Chaparro	SO _x , NO _x , CO, CO ₂	Universidad Nacional de Bogotá, sede Colombia	Combustión del carbón y del petróleo de la industria metalmecánica y de otras industrias	La contaminación en el perímetro del área universitaria guarda estrecha relación con la ausencia de barreras vivas o setos arbóreos en dicho perímetro.
Santoni y Lijteroff	SO _x y NO _x	Juana Koslay, San Luis, Argentina	Combustión de hornos que queman leña y combustible para la cocción de ladrillos	No existen diferencias significativas entre la cobertura de líquenes y la calidad del aire en el área contaminada y las dos áreas no contaminadas.
Vásquez <i>et al.</i>	SO ₂	Gran Canaria, España	Actividad industrial y tráfico vehicular	Las estaciones con mayor bioacumulación de azufre en los líquenes se localizan en zona más costeras cerca de núcleos con mayor influencia industrial y con altitudes entre los 300 y 500 metros, con vientos dominantes de dirección noreste (alisios).
Weissman <i>et al.</i>	Antioxidantes hidrocarburos, óxidos de azufre y nitrógeno (SO _x y NO _x) y ozono	Hazorea, noreste de Israel y Bahía de Haifa	Refinerías de petróleo; plantas de energía química y petroquímica y empresa electroquímica	El estrés oxidativo es consecuencia de la contaminación del aire y es más grave cerca de las refinerías de petróleo que en los alrededores de la planta electroquímica.

**ANEXO IV. RESULTADOS DE LOS ESTUDIOS A NIVEL MUNDIAL QUE EMPLEN LOS LIQUENES
COMO BIOINDICADORES Y BIOACUMULADORES DE LOS CONTAMINANTES DEL AIRE**

CUADRO 1 (Continuación...)

Resultados de los estudios a nivel mundial que emplean los líquenes como bioindicadores
y bioacumuladores de los contaminantes del aire.

Año e investigador	Contaminante estudiado en los líquenes	Lugar del estudio	Fuente de emisión del contaminante	Resultados importantes
2005				
Bedregal <i>et al.</i>	Metales pesados: Al, Ca, Cl, V, Mg, Mn, Na, Ti, As, Br, Cd, Ce, Co, Cr, Cs, Fe, Hf, Hg, K, La, Rb, Sb, Sc, Sn, Th, Zn	Lima, Perú	Tráfico vehicular, minería, industrias: utensilios, envases, materiales de construcción y pinturas	Existe correlación significativa entre la presencia de Pb y Br de acuerdo con la actividad antropogénica del sitio estudiado.
Golubev <i>et al.</i>	Radionucleidos, en particular uranio	Región central de Rusia	Radiación nuclear	El contenido de uranio en la atmósfera no excede los 0,075 mg/m ³ , valor considerado como estándar para el conjunto natural de U.
Hawksworth <i>et al.</i>	Dióxido de azufre, fluoruros, ozono, óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono	Artículo de revisión	Contaminantes gaseosos que emanan los automóviles por combustión	
Monnet <i>et al.</i>	Cobre	Francia		
Vergara <i>et al.</i>	Hollín, SO ₂ y metales pesados: Pb, Cd	Islas Galápagos: Santa Cruz	Quema en botaderos de basura a cielo abierto	Los sitios muy cercanos a la zona de quema reciben todo el humo; en ellos la cobertura de líquenes es muy baja inclusive llega a 0%.
2004				
Budka	Metales pesados: P, S, Cl, K, Ca, Mn, Fe y Zn	Cracovia, sur de Polonia		En la parte superior de los talos o en los fragmentos heridos se da el mayor contacto con los contaminantes atmosféricos.
2002				
Jeran <i>et al.</i>	SO ₂ y Metales pesados: As, Ba, Br, Ca, K, Cd, Ce, Co, U, Cr, Cs, Fe, W, Ga, Hf, Hg, La, Mo, Na, P, Rb, Sb, Sc, Se, Sm, Sr, Pb, Th y Zn	República de Eslovenia	Industria del acero, red vial, plantas de carbón	

**ANEXO IV. RESULTADOS DE LOS ESTUDIOS A NIVEL MUNDIAL QUE EMPLEN LOS LIQUENES
COMO BIOINDICADORES Y BIOACUMULADORES DE LOS CONTAMINANTES DEL AIRE**

CUADRO 1 (Continuación...)
Resultados de los estudios a nivel mundial que emplean los líquenes como bioindicadores
y bioacumuladores de los contaminantes del aire.

Año e investigador	Contaminante estudiado en los líquenes	Lugar del estudio	Fuente de emisión del contaminante	Resultados importantes
Fernández-Salegui <i>et al.</i>	SO ₂ y óxidos de nitrógeno (NO _x)	León, Asturias y Palencia	Centrales térmicas: Anllares, Compostilla, La Robla, Narcea, Lada, Soto de Ribera y Guardo	Muestras de líquenes trasplantadas en zonas aledañas a las centrales térmicas no sobreviven más de 15 ó 16 semanas.
Monge-Nájera <i>et al.</i>	CO ₂ , NO ₂	San José, Costa Rica	Tráfico vehicular	Hubo un deterioro en la cobertura de los líquenes después de 1976 y una mejora a partir de 1986, al disminuir la cantidad de plomo en la gasolina y mejorarse los patrones de tránsito.
2000				
Andrés <i>et al.</i>	CO, SO ₂ , NO _x	Rosario, Argentina	Tráfico vehicular	Se observan bajas concentraciones de estos contaminantes en zonas suburbanas y altas concentraciones en zonas cercanas a la mayor actividad comercial. Las concentraciones de los contaminantes tienden a disminuir durante el fin de semana debido a la poca circulación de vehículos.
Bernasconi <i>et al.</i>	Metales pesados: Ni, Cr, Cu, Cd, Zn y Pb	Microcentro de San Luis, Argentina	Tráfico vehicular, abrasión de neumáticos e industrias	Se encuentran altas concentraciones de Zn en algunas zonas. La concentración de metales pesados en líquenes es diferente, debido a los cambios de humedad que ocurren en las cuatro estaciones del año.
1998				
Cepeda y García	SO ₂ , NO ₂	Sevilla, España	Tráfico vehicular	Zonas residenciales con alto tráfico vehicular presentan menor cantidad de cobertura de líquenes.
1996				
Dillman	Metales: Cd, Cr, Zn, Ni, Fe, Al, Na, Pb, B, Mn, K, Mg, Ca, P, Cu	Noreste de Pocatello Idaho, EE.UU.	Refinería de fosfato	La concentración de Cd, Cr, Zn, Pb, B, Mn, K, Mg, Ca, P, Cu en el líquen presenta diferencias significativas en relación con la distancia y dirección de la refinería.

FUENTE: Elaboración de los autores con base en las referencias bibliográficas consultadas.

CUADRO 2
Fuentes de contaminación de los metales encontrados en la atmósfera
y sus efectos en el ser humano (WHO, 2003).

Contaminante	Fuente que lo origina	Efectos en la calidad de vida del ser humano
Aluminio (Al)	Combustión vehicular, polvo en las carreteras; fábricas de cemento e incineradoras de residuos.	Apatía, daño del sistema nervioso central.
Arsénico (As)	Combustión de carbón, minería, industria del vidrio, plaguicidas, preservantes para madera, fundidoras de metales (cobre, níquel y cromo).	Irritación del estómago e intestinos, disminución en la producción de glóbulos rojos y blancos, cambios en la piel, e irritación de los pulmones.
Boro (Br)	Suelos volcánicos asociados con manantiales, escapes de vehículos	
Cadmio (Cd)	Galvanoplastia, aleaciones de rodamiento vehicular, combustión de combustibles fósiles, capas superficiales del océano, erupciones volcánicas y emisiones producto de la incineración de baterías de níquel-cadmio.	Mutagénico y cancerígeno.
Calcio (Ca)	Piedra caliza, caminos sin pavimentar y niebla salina.	Afecta el sistema circulatorio.
Cromo (Cr)	Fabricación de aleaciones de acero, catalizadores, galvanoplastia, fabricación de pigmentos, curtido de cuero, conservantes de madera, subproducto de la combustión de carbón.	Erupciones cutáneas, malestar de estómago y úlceras, problemas respiratorios, cáncer de pulmón.
Cobre (Cu)	Fundiciones y zonas donde se extrae el cobre, influencia marina, fungicidas con cobre, escape de los vehículos.	Irritación de nariz, boca, ojos y dolores de cabeza, mareo, náusea y diarrea.
Flúor (F)	Liberado en forma de fluoruro por la fundición de aluminio, la fabricación de vidrio, la producción de fertilizantes y algunas erupciones volcánicas.	Anomalías inmunológicas, enfermedades respiratorias y de pulmón.
Hierro (Fe)	Minas de explotación de oro, actividades antropogénicas: abrasión de los metales de los motores de automóviles, minería y fundición de hierro, cenizas de la combustión de carbón.	Daño de tejido cardíaco, aumento de los radicales libres, daño del sistema inmunológico.
Plomo (Pb)	Zonas mineras y diversas áreas industriales, emisiones de vehículos.	Perturbación de la biosíntesis de hemoglobina y anemia, incremento de la presión sanguínea, daño a los riñones y perturbación del sistema nervioso.
Manganeso (Mn)	Orillas de la playa, aleaciones de acero, polvo de abrasión de los motores de auto.	Daño pulmonar y bronquitis.
Mercurio (Hg)	Industrias procesadoras de mercurio.	Daño al sistema nervioso, daño a las funciones del cerebro y reacciones alérgicas, irritación de la piel, cansancio y dolor de cabeza.
Níquel (Ni)	Fabricación de aleaciones de acero duro, galvanoplastia, humos procedentes del petróleo, plantas que queman carbón térmico, incineradoras de residuos municipales.	Elevadas probabilidades de desarrollar cáncer de pulmón, nariz, laringe y próstata, fallos respiratorios.

ANEXO V

MAPA MUNDIAL EN QUE SE UBICAN LOS PAÍSES QUE HAN REALIZADO ESTUDIOS CON LÍQUENES COMO BIOINDICADORES O COMO BIOACUMULADORES DE CONTAMINANTES PRESENTES EN EL AIRE.



ANEXO VI: DIAGRAMA DE FLUJO DE LA INVESTIGACION

