

UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR

FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



“*Rocella gracilis* y *Cf. Tornabenia* sp. COMO BIOINDICADORES DE LA CALIDAD DEL AIRE EN LOS DISTRITOS DE SAN ISIDRO Y VILLA EL SALVADOR”

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Para optar el Título Profesional de

INGENIERO AMBIENTAL

PRESENTADO POR EL BACHILLER

CHAPOÑAN PALACIOS, EDGARD

Villa El Salvador

2020

AGRADECIMIENTO

A mi casa de estudios, a la Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur por haberme formado en estos años de estudio.

Profesores, por las enseñanzas que día a día me formaron e hicieron mejor profesional.

A mis compañeros de aula, amigos y familiares por el apoyo brindado durante la etapa universitaria.

A la Dra. Gladys Ocharan Velásquez, por su contribución a este trabajo de investigación.

Al ingeniero Joel Olave, por su apoyo en este trabajo.

Y un agradecimiento especial al Ingeniero Ambiental Antony Calderón Chipayo por el apoyo permanente para la realización de este trabajo de investigación.

DEDICATORIA

A mis padres, Miguel Chapoñan Lozada y Victoria Palacios Barraza por ser el motivo de todo, por las enseñanzas, consejos, risas, abrazos, por todo lo vivido y lo que nos queda por vivir. Asimismo, a mis hermanos Cristina, Edwin y Leyla a quienes llevo en el corazón.

INDICE	
RESUMEN	1
CAPITULO I	2
INTRODUCCIÓN	2
1.1. OBJETIVOS.....	3
1.1.1. Objetivo general.....	3
1.1.2. Objetivos específicos.....	4
CAPITULO II	4
MARCO TEÓRICO.....	4
2.1. Antecedentes de estudio.....	4
2.2. antecedentes.....	5
2.2.1. Antecedentes nacionales.....	5
2.2.2. Antecedentes internacionales.....	7
2.3. Bases Teóricas	10
2.3.1. Emisión	10
2.3.2. Inmisión	10
2.3.3. Líquenes.....	11
2.3.4. Importancia de los líquenes	12
2.3.5. Crecimiento de los líquenes.....	12
2.3.6. Distribución y diversidad de líquenes.....	12
2.3.7. Tipos de líquenes.....	13
2.3.8. Taxonomía.....	14
2.3.9. Reproducción.....	14
2.4. Líquenes como bioindicadores de la calidad del aire.....	15
2.4.1. Características biológicas de los líquenes como bioindicadores de la calidad del aire.....	15
2.5. Metales pesados	18
2.6. Definición de términos.....	18
CAPITULO III	20
DESARROLLO DEL TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL	20
3.1. METODOLOGÍA DE DESARROLLO DEL TRABAJO PROFESIONAL	20
3.1.1. Delimitación temporal	20
3.1.2. Delimitación espacial	20
3.1.3. Determinación y análisis del problema	22

3.1.4. Modelo de solución propuesto	22
3.1.5. Materiales y equipos	23
3.1.6. Metodología y procedimiento	23
3.1.7. Delimitación del campo experimental	26
3.1.8. Recolección de muestras liquénicas	27
3.1.9. Colocación de muestras liquénicas.....	29
3.1.10. Recolección de líquenes	29
3.1.11. Análisis en microscopia electrónica de barrido ambiental (MEBA)	30
3.2. Evaluación de los parámetros	31
3.2.1. Color del líquen	31
3.2.2. Presencia de metales pesados	31
3.2.3. Mortalidad	31
3.3. Resultados	31
3.3.1. Líquenes	31
3.3.2. Árboles	32
3.3.3. Forófitos y líquenes	32
3.3.4. Metales pesados.....	32
3.4. Muestra A: análisis de elementos tóxicos - <i>Roccella gracilis</i> en Villa El Salvador.....	32
3.5. Muestra B: Análisis de elementos tóxicos - <i>Roccella gracilis</i> de San Isidro	41
3.6. Muestra C: Análisis de elementos tóxicos - Cf. <i>Tornabenia</i> sp. En Villa el Salvador	49
DISCUSIONES.....	65
CONCLUSIONES.....	67
RECOMENDACIONES	69
BIBLIOGRAFIA	70
ANEXOS	76

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 . Liqueen fruticoso <i>Roccella gracilis</i>	11
Figura 2. Liqueen fruticoso: <i>Roccella gracilis</i> . Fuente: Fotografía de Edgard Chapoñan.....	13
Figura 3. Liqueen crustoso: Cf. <i>Lecidea</i> sp. Fuente: Fotografía de Edgard Chapoñan	14
Figura 4. Fuentes de orígenes de los líquenes <i>Roccella gracilis</i> y Cf. <i>Tornabenia</i> sp. Y lugar de investigación.....	21
Figura 5. Búsqueda de líquenes que cumplan los criterios descritos por Calderón (2019).....	28
Figura 6. Liqueen <i>Roccella gracilis</i> en la corteza del árbol <i>Olea europaea</i>	29
Figura 7. Espectroscopía de energía dispersa (EDS) de la región A1 analizado en la muestra A.	33
Figura 8. Región analizada por microscopía electrónica de barrido ambiental en la muestra A.....	34
Figura 9. Espectroscopía de energía dispersa (EDS) en un punto analizado en la muestra A.....	35
Figura 10. Punto analizado por microscopía electrónica de barrido ambiental en la muestra A.....	36
Figura 11. Espectroscopía de energía dispersa (EDS) de la región A2 de la muestra A.....	37
Figura 12. Presencia de yeso en el borde en la muestra	38
Figura 13. Espectroscopía de energía dispersa (EDS) del mineral silicato analizada de la muestra A.	39
Figura 14. Partícula de silicato hallada en la muestra A.....	40
Figura 15. Espectroscopía de energía dispersa (EDS) de una región analizado en la muestra B.	41
Figura 16. Región analizada por microscopía electrónica de barrido ambiental en la muestra B.....	42
Figura 17. Espectroscopía de energía dispersa (EDS) de la mineral ortoclasa analizado de la muestra B.....	43
Figura 18. Presencia de mineral ortoclasa en la muestra B.	44

Figura 19. Espectroscopía de energía dispersa (EDS) de la mineral oligoclasa analizada de la muestra B.....	45
Figura 20. Partícula de oligoclasa hallada en la muestra B.....	46
Figura 21. Espectroscopía de energía dispersa (EDS) de la mineral calcita analizada de la muestra B.....	47
Figura 22. Partícula de calcita hallada en la muestra B.	48
Figura 23. Espectroscopía de energía dispersa (EDS) de la región analizada en la muestra A.....	49
Figura 24. Región analizada por microscopía electrónica de barrido ambiental en la muestra C.....	50
Figura 25. Espectroscopía de energía dispersa (EDS) del mineral plagioclasa o andesina analizada de la muestra C.	51
Figura 26. Partícula de plagioclasa o andesina en la muestra C.....	52
Figura 27. Espectroscopía de energía dispersa (EDS) de la mineral clorita analizada de la muestra C.....	53
Figura 28. Partícula de clorita hallada en la muestra C.....	54
Figura 29. Espectroscopía de energía dispersa (EDS) de la mineral biotita analizada de la muestra C.....	55
Figura 30. Partícula de biotita en la muestra C.	56
Figura 31. Espectroscopía de energía dispersa (EDS) de barita con silicato analizada de la muestra C.....	57
Figura 32. Partícula de barita con silicato hallada en la muestra C.....	58
Figura 33. Espectroscopia de energía dispersa (EDS) de la mineral goethita con silicato analizada de la muestra C.....	59
Figura 34. Partícula de goethita con silicato hallada en la muestra C.....	60
Figura 35. Porcentaje de Aluminio, Azufre, Hierro y Titanio en los líquenes A, B y C.....	64

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Bioindicadores de contaminación atmosférica	15
Tabla 2. Líquenes estudiados	31
Tabla 3. Concentración de elementos químicos de la región A1 de la muestra A	32
Tabla 4. Concentración de elementos químicos en un punto de la muestra A.....	34
Tabla 5. Concentración de elementos químicos del mineral yeso.....	37
Tabla 6. Concentración de elementos químicos del mineral silicato	39
Tabla 7. Concentración de elementos químicos de una región de la muestra B..	41
Tabla 8. Concentración de elementos químicos del mineral ortoclasa.....	43
Tabla 9. Concentración de elementos químicos del mineral oligoclasa	45
Tabla 10. Concentración de elementos químicos del mineral calcita	47
Tabla 11. Concentración de elementos químicos de la muestra C	49
Tabla 12. Concentración de elementos químicos del mineral plagioclasa o andesina.....	51
Tabla 13. Concentración de elementos químicos del mineral clorita.....	53
Tabla 14. Concentración de elementos químicos del mineral biotita.....	55
Tabla 15. Concentración de elementos químicos de la mineral barita con silicato	57
Tabla 16. Concentración de elementos químicos de la mineral goethita con silicato	59
Tabla 17. Comparación de elementos de muestra A y B	61
Tabla 18. Comparación de elementos de muestra A y C	62
Tabla 19. Vitalidad (color) – Mortalidad.....	63

RESUMEN

El crecimiento significativo de los orígenes de la contaminación en las ciudades, radica principalmente en el parque automotor, que va en crecimiento y forma parte significativa del problema ambiental que afecta de manera importante la salud de la población en las ciudades de Lima. La presente investigación evaluó el uso de líquenes fruticosos para determinar la calidad del aire en el distrito de Villa el Salvador manteniendo como punto de comparación ejemplares de similares características en San Isidro. Para el trabajo experimental se trasplantaron muestras de *Roccella gracilis* y *Cf. Tornabenia* sp. En una zona de alta contaminación antropogénica en Villa el Salvador. Para lo cual se utilizó el microscopio electrónico de barrido ambiental (MEBA) para determinar la presencia de compuestos tóxicos. El trabajo de investigación determinó al *Roccella gracilis* y *Cf. Tornabenia* sp. Con la facultad de bioacumular metales pesados, sin embargo, *Cf. Tornabenia* sp. Resaltó en la bioacumulación de mayor diversidad de metales pesados como Ti, Ba, As y Zn. El (MEBA) en las muestras del *Roccella gracilis* en ambos distritos se evidenció similitud, diferenciándose solamente en Villa el Salvador con presencia de Cu. Reflejándose de esta manera la contaminación que hay en ambas zonas estudiadas en los distritos mencionados y la eficiencia que presentan estos elementos bióticos como bioindicadores, se recomienda ampliar este trabajo de investigación como estrategia para determinar la calidad de aire mediante monitoreo biótico en diferentes distritos de la capital, logrando extenderse como procedimiento técnico para mediciones normalizadas.

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

Aproximadamente el 91% de la población en el mundo respira aire nocivo, el cual es causante de unos 7 millones de muertes anuales, por tanto, la mayoría de las ciudades superan los límites de contaminación recomendadas por la OMS (Organización Mundial De La Salud, 2018). De acuerdo a De Nevers (2008) la contaminación del aire se debe principalmente al parque automotor y a las fuentes industriales. En la ciudad de Lima se observa el crecimiento del parque automotor año tras año, el cual afecta la salud de los pobladores en unas de las zonas más transitadas de Lima, como lo son los distritos de San Isidro y Villa El Salvador, para lo cual es importante determinar la calidad del aire con el fin de prevenir futuras enfermedades en la población vulnerable como menores de edad y personas con enfermedades pulmonares, en este contexto el uso de líquenes toma relevancia por el bajo costo que se requiere para su estudio como bioindicadores de compuestos tóxicos.

Loppi & Pirintsos (2003) mencionan que los líquenes son organismos que retienen metales pesados presente en el aire, puesto que estos no presentan cutícula y epidermis que los proteja de elementos tóxicos, asimismo no presentan un aparato excretor por tanto acumula los metales pesados absorbidos.

La investigación realizada por Roig et al. (2010) en Valencia determinó que tiene una elevada contaminación de metal pesado como el Cu encontrado en los líquenes, valores mayores a lo normal en la atmósfera del lugar de estudio. La contaminación generada por industrias, agrícola, construcción y parque automotor. De acuerdo a la investigación, líquenes como crustáceos y muscúlosos son considerados bioindicadores de la calidad del aire, el cual tienen la capacidad de bioacumular metales pesados en su talo.

La presente investigación, en la primera fase, se basó en la búsqueda de forófitos en el Parque Olivar que cumplan las condiciones favorables para el crecimiento del líquen *Roccella gracilis* Bory descritas por Calderón (2019). Se estudió a *Roccella gracilis* en la especie de árbol *Melia azederach*. Asimismo, el líquen Cf. *Tornabenia* sp. Fue extraído de las Lomas de Villa María del Triunfo. Los líquenes *Roccella gracilis* y Cf. *Tornabenia* sp. Fueron trasladados a Villa El Salvador tratando de brindarles las condiciones de su lugar de origen y observando su crecimiento y desarrollo. Los lugares donde se colocarán los líquenes cuentan con gran circulación de autos, como lo es el distrito de San Isidro y Villa El Salvador. Se describió los cambios físicos que los líquenes puedan sufrir en su proceso ex situ, y los elementos tóxicos que retengan los líquenes en su estructura serán analizados en el laboratorio mediante microscopía electrónica de barrido ambiental (MEBA).

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo general

Evaluar el comportamiento de los líquenes *Roccella gracilis* y Cf. *Tornabenia* sp. Como bioindicadores en los distritos de Villa El Salvador y San Isidro.

1.1.2. Objetivos específicos

- Precisar la capacidad de los líquenes *Roccella gracilis* y Cf. *Tornabenia* sp. Como bioindicadores de compuestos tóxicos en los distritos de San Isidro y Villa El Salvador.
- Determinar el comportamiento de las características físicas como color y vitalidad frente a la exposición de zonas de alto tránsito vehicular en el distrito de Villa El Salvador.
- Analizar cuantos elementos tóxicos bioacumula los líquenes *Roccella gracilis* y Cf. *Tornabenia* sp. En los distritos de San Isidro y Villa El Salvador.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio

La contaminación atmosférica se da siempre y cuando esta sea alterada ingresando sustancias desconocidas al ambiente, que son dañinos para los seres vivos según la OMS.

La contaminación atmosférica es la unión de todas las acciones generadas por el hombre. Sobre todo, por el parque automotor y fuentes industriales. El autor hace mención a los contaminantes y su propagación por las masas de aire que circulan en el ambiente, según lo investigado por Nevers, (2008).

El hombre y las actividades económicas generan un gran problema de contaminación de aire en el mundo. Este efecto tiene problemas perjudiciales en la salud de los seres vivos Nevers, (2008).

2.2. antecedentes

2.2.1. Antecedentes nacionales

El trabajo que aporta significativamente a esta investigación es el realizado por ferry, (2018), titulado: *calidad del aire mediante la liquenobiota saxícolas en la zona arqueológica de teatino – reserva nacional lomas de Lachay Huacho-Lima-Perú, 2017*. La investigación llegó a las siguientes conclusiones:

- Para analizar su morfología y composición elemental de los líquenes y las partículas que en ella se encuentran, la herramienta más adecuada es la microscopia electrónica de barrido ambiental (MEBA).
- Al realizar el análisis de microscopia electrónica de barrido ambiental, no arrojó evidencias de metales pesados y accionantes de contaminación por vehículos.
- Se encontró que el líquen absorbió metales como: Aluminio (Al), Titanio (Ti), Bario (Ba) y Hierro (Fe). En concentraciones máximas para la zona de Habich.
- No hay normativa nacional (ECA) que mencione los límites máximos permisibles para los metales ubicados en esta investigación, por lo que no se puede aseverar la concentración de metales para determinar la calidad del aire en las zonas de estudio.

Otro trabajo de investigación nacional referido al líquen *Roccella gracilis Bory* en la investigación como bioindicadores de la calidad de aire es el realizado por Calderón, (2019): *Liquen Roccella gracilis Bory como bioindicador de la calidad de aire en el Parque Campo Marte, Jesús María, Lima*. El cual fue presentado para optar el título profesional, las conclusiones del estudio demuestran:

- El líquen *Roccella gracilis* Bory es considerado como bioindicador de la calidad de aire ya que este bioacumula en su estructura minerales con elementos pesados.
- La presencia de elementos tóxicos ya sea en mínimas concentraciones es perjudicial para la salud de la población puesto que se determinó partículas menores a 2.5Um de diámetro siendo estas más fácil de inhalar.
- Los árboles que se encuentran en el perímetro del parque presentaron ausencia de líquenes *Roccella gracilis* Bory, debido a que se encuentran expuestos constantemente a los contaminantes del parque automotor. Los árboles que se encuentran en la parte central son las que presentaron frondosidad en líquenes *Roccella gracilis* Bory la elevada humedad relativa en el área de estudio favorece la hidratación del talo en épocas de invierno y la baja humedad, en pocas de verano impide el crecimiento del líquen, en este contexto el retraso del crecimiento del líquen no es solo por el foco emisor de la contaminación, sino que se encuentra influenciado por la baja humedad relativa. La transferencia de follaje, tipo de corteza y altura del árbol el cual influye en la frecuencia y abundancia del líquen *Roccella gracilis* Bory.

Respecto a los trabajos de investigaciones a nivel nacional realizado por la revista the biologist-lima (2018), 16,1. Titulado: *uso de líquenes como bioindicadores de contaminación atmosférica en el pasivo ambiental minero santo Toribio, Áncash, Perú*. La cual llevo a las siguientes conclusiones:

- Lo resaltante en esta investigación es que se tomó en las estaciones de muestreo localizadas en el área pasivo y control vivirían las mismas especies de líquenes ya que, las dos zonas están en iguales condiciones tanto meteorológicas como geomorfológicas. En consecuencia, la existencia de una alteración de composición de la liquenobiota.
- Esta investigación revelo que en las estaciones de muestreo situadas en el pasivo ambiental minero santo Toribio hay presencia de metales pesados como: Hierro (Fe), Cobre (Cu), Zinc (Zn), Plomo (Pb). Por otra parte, se encontró Fe, Cu y Pb con ausencia del metal pesado Zn. Siendo relevante mencionar que la presencia de metales pesados en los líquenes es

ocasionada por el transporte aéreo de este contaminante resultado de la acumulación de los residuos mineros como parte de la extracción de minerales.

- Por lo ya mencionado se entiende que una de las razones por la cual existe gran frecuencia en la zona de control a diferencia de la zona pasiva, serían las condiciones ya mencionadas, las cuales llevarían a la desaparición del líquen, y no, hacia la acumulación de metales pesados como hubiera sido de manera extracelular.
- Se considera la aplicación del (MEBA) identifica todos los elementos tóxicos presentes en el líquen, se puede deducir que la presencia de Azufre (S) y Hierro (Fe), halladas en las muestras del líquen *U. durietzii* recolectadas, puede guardar una relación considerable con la oxidación de la pirita (FeS₂) mineral que es liberado como producto del proceso concentrador, generando la presencia de dióxido de azufre (SO₂).

Según Ambrosio y Bringas (2017) afirma en su trabajo de investigación: *“evaluación de líquenes como bioindicadores de contaminación atmosférica de origen vehicular en tres zonas del distrito de Cajamarca en el año 2017”*:

- Se halló tres especies liquénicas: *Physcia stellaris*, *Candelaria concolor* y *Parmelia caperata*.
- Esta investigación comprobó que los bioindicadores como son los líquenes, son métodos menos costosos que el monitoreo de gases tóxicos producto del parque automotor, ya que, si se instala el sistema de monitoreo básico, se estima un presupuesto de s/ 21.500.00 para su implementación (Bardales, 2016).

2.2.2. Antecedentes internacionales

Otro trabajo de investigación que aporta con los estudios de líquenes es el realizado por Vásquez, (2015): *estudios de los efectos de la contaminación atmosféricas sobre los bioindicadores liquénicos y la degradación de los mismos*. El cual llegó a las siguientes principales conclusiones:

- Al desarrollo del presente estudio de contaminación atmosférica usando bioindicadores liquénicos ejecutado durante el periodo 2005 – 2013 utilizando dos tipos de muestreo por una parte se llevaron inventarios fotográficos durante los años 2005, 2006, 2007, 2008 y 2010 para visualizar los cambios de vitalidad y cobertura de las especies más abundantes y representativas de las diferentes estaciones de estudio.
- Se han recolectado diferentes especies de las diversas estaciones de muestreo para poder analizar el contenido de las mismas en nitrógeno, azufre, metales pesados y feotina (pigmento que deriva de la degradación de la clorofila, por predominio de la contaminación)
- De acuerdo con el estudio fotográfico semejante de talos liquénicos (específicamente de líquenes crustáceos tipo xanthorial), con la finalidad de constatar el nivel de recubrimiento y vitalidad durante los años de estudio, así como en los periodos secos y húmedos se ha identificado que no se observa una gran influencia de los compuestos tóxicos estudiados (2005 – 2010).
- Como se habría de esperar, se verifica que en los diferentes periodos (seco y húmedo) existe una diferencia en el grado de vitalidad en los talos liquénicos, estando condicionado por parámetros ambientales como la temperatura, régimen de viento, humedad etc. Y no por la presencia de un foco emisor contaminante.
- Con respecto al estudio químico fijado se determinó metales pesados, Azufre, Nitrógeno, Clorofila y Feotina en diferentes muestras liquénicas en cada estación se confirma que en su mayoría se producen una misma tendencia de bioacumulación en todos los años en que se realizó el estudio.
- Asimismo, los resultados del análisis químico hechos a las tres diferentes muestras de líquenes *Lobaria*, *Usnea* y *Parmelia* encontradas en la estación 10 se examinó claramente que tiene diferentes capacidades de bioacumulación para los contaminantes examinados, generándose distintas concentraciones, durante la ejecución de un mismo muestreo.

A nivel internacional respecto a los líquenes como bioindicadores, existe un trabajo de investigación realizado por Zúñiga (2017) titulado: *líquenes como*

bioindicadores de contaminación en el sitio de disposición final de desechos sólido, isla santa cruz, galápagos:

- La biota líquénica es deteriorada en gran magnitud aparentemente por desprender gases, generados por la quema de residuos sólidos en la zona del botadero, estas especies pueden seguir siendo degradadas en la actualidad y hasta un futuro cercano, los líquenes más próximos a la zona de quema muestran claramente signos de contaminación como: despigmentación del talo, necrosis de los talos, poca cobertura, falta de cuerpos fructíferos.
- Los lugares C8 C7 fueron donde se encontró una mayor cobertura de líquenes a su vez mejor estado de salud, con 80% y 94% de cobertura líquénica respectivamente sobre los troncos de bursera. Esto se da ya que las zonas de C8 C7 se encuentran a un kilómetro de distancia de lo zona de quema del basurero.
- Aún preserva especies considerado como sensibles: líquenes foliosos y fruticosos.
- Caso contrario pasa con las zonas C1 y C2 donde el contaminante “humo” llega directamente e impacta a los árboles, donde se encuentran los líquenes y presentan poca cobertura referente a las zonas C3, C4, C5 y C6 presenta una cobertura líquénica intermedia o moderada, que desde un 30% y 63% de cobertura en la zona por tronco observado.
- Este trabajo de investigación hace una evaluación de un elemento del ecosistema sensitivo a los compuestos tóxicos a la atmosfera el cual ha resultado muy útil y económico, usando a los líquenes como bioindicadores, los cuales deben tener una mayor relevancia, ya que, estas muestran una alta sensibilidad.

Lavornia (2015) *las comunidades líquénicas de las sierras de Tandil (Buenos Aires). Como bioindicadores de la contaminación atmosférica*, para optar el grado académico de doctor en la Universidad de la Plata. La investigación llegó a las siguientes conclusiones:

- Se descarta la hipótesis de que las comunidades líquénicas de Tandil y zonas cercanas no poseen particularidad propia, están integrados por

especies universales cuya distribución no está limitada por el tipo de sustrato u otros agentes de ambiente.

- Se identificó grandes diferencias entre las comunidades saxícolas y las corticícolas de arbustos originarios del lugar y arboleado urbano, que se muestran.
- Encima de los pedregales del ambiente serrano de Tandil aflora una biota líquénica abundante en géneros y especies que incluyen tres asociaciones florísticas distintivas por la altitud y exhibición de la ladera y en menor providencia el porcentaje de rocosidad.
- La cobertura líquénica promedio fue de 87, 40%y con mayor frecuencia los líquenes saxícolas.
- Se identificó la biota líquénica compuesta por 71 especies, 21 familias representadas por 36 géneros diferentes.
- Los líquenes que más destacan pertenecen al biotipo folioso con 35 especies, después los crustosos con 24 y los de menor cobertura fueron los fruticulosos con 12 especies.

2.3. Bases Teóricas

2.3.1. Emisión

Según lo investigado por Orozco, Pérez, Gonzales, Rodríguez y Alfayate (2003). Lo definen como la dosis de compuestos tóxicos generados en un foco emisor, los cuales se miden a la salida de la fuente generadora de contaminantes.

2.3.2. Inmisión

Según Orozco et al (2003) denominaron inmisión a la cantidad total de compuestos tóxicos al nivel del suelo, por lo que se expone a todos los seres vivos, cuando estos contaminantes son generados.

2.3.3. Líquenes

Giacobone y Cabrera (2009) los líquenes se forman mediante la unión simbiótica de un hongo y una cianobacteria. Esta unión es beneficiosa para ambos organismos, debido a que se benefician mutuamente, mientras el alga proporciona alimento, el hongo proporciona protección para sobrevivir. Dichos organismos soportan altas temperaturas y no necesita de abundante nutriente para sobrevivir y se adaptan a cualquier superficie, suelo, arboles, construcciones. Sharnoff (2014) menciona que los líquenes dependen de la atmósfera para obtener sus nutrientes. De acuerdo a Brodo et al. (2001) los líquenes son considerados eficientes bioindicadores debido a que no presentan un aparato excretor y por presentar una amplia distribución en el planeta.

Enzenberg (2000) afirma que liquen es una asociación simbiótica entre un hongo (micobionte) y un alga (fotobionte); que adquieren el agua y sus nutrientes de la atmosfera; ambos son beneficiados mutuamente, hongo genera nutrientes y minerales; mientras que el alga genera sustancias orgánicas producidas en la fotosíntesis y agua del medio. Asimismo, Broad (1989) menciona que la estructura del hongo adsorbe agua y nutrientes, además que brinda una estructura específica a la simbiosis y funciona como protección.

Los líquenes pueden crecer en diferentes sustratos, a partir de ello se pueden clasificar como líquenes saxícolas, líquenes epifitos cortícolas, entre otras (Redon, 1987).



Figura 1 . Liquen fruticoso *Roccella gracilis*.
Fuente: Fotografía de Edgard Chapoñan Palacios

2.3.4. Importancia de los líquenes

Los líquenes pueden ser usados para estudiar el cambio climático debido a que el clima influye en la diversidad y distribución de los líquenes (Lijteroff et al., 2009). Fernández (2007) indica que los líquenes pueden crecer en los espacios que quedan descubiertos por deshielo debido al cambio climático, de esta manera se puede realizar estudios del retroceso glaciar en área polares como el Ártico y Antártica. Los líquenes no presentan estomas ni cutículas. La ausencia de estas estructuras no les permite defenderse de elementos tóxicos presente en la atmósfera, además que tampoco lo puede excretar (Valencia y Ceballos, 2002). La ventaja que tiene estos organismos frente a otros, es su capacidad de acumulación de elementos tóxicos, esto le puede generar cambio morfológicos, físicos y químicos, cambios en la actividad fotosintética y de respiración (Conti y Cecchetti, 2000).

2.3.5. Crecimiento de los líquenes

Conforme a Mistry (1998) el desarrollo y crecimiento de los líquenes está estrechamente relacionados a factores bióticos y abióticos, como por ejemplo la humedad, temperatura, radiación solar, sustrato, disturbios bióticos, entre otros.

2.3.6. Distribución y diversidad de líquenes

Los líquenes presentan una amplia distribución espacial, encontrándose en diversos lugares del mundo (Barreno y Pérez, 2003). Estos organismos se encuentran distribuidos en montañas, zonas polares, a nivel del mar y en diversos tipos de sustrato como corteza de árboles, rocas, suelo inclusive sobre insectos vivos (Cubas et al., 2010; Segura, 2013). Enzenberg (2000) estima que en el mundo existe 20 000 especies. Además, este último autor agrega que los líquenes presentan un crecimiento lento y se pueden adaptar a climas extremos. Además, Chapman (2009) menciona que se han identificado entre 10 000 y 20 000 especies de líquenes a nivel mundial.

2.3.7. Tipos de líquenes

De acuerdo a Barreno (1997) generalmente los líquenes se pueden clasificar de la siguiente manera:

Fruticosos: Sobresalen del sustrato, están sujetos por una pequeña porción de su talo. Son ramificados, con aspecto de pequeños arbustos. Pueden ser colgantes, erectos o ascendentes.



Figura 2. Liquen fruticoso: *Roccella gracilis*.
Fuente: Fotografía de Edgard Chapoñan

Foliosos: Generalmente laminares, acostado sobre el sustrato, estratificados, con cara inferior diferenciada.

Crustosos: Se encuentran estrechamente pegados al sustrato del cual no se pueden separar sin generar algún daño. Carecen de córtex inferior.

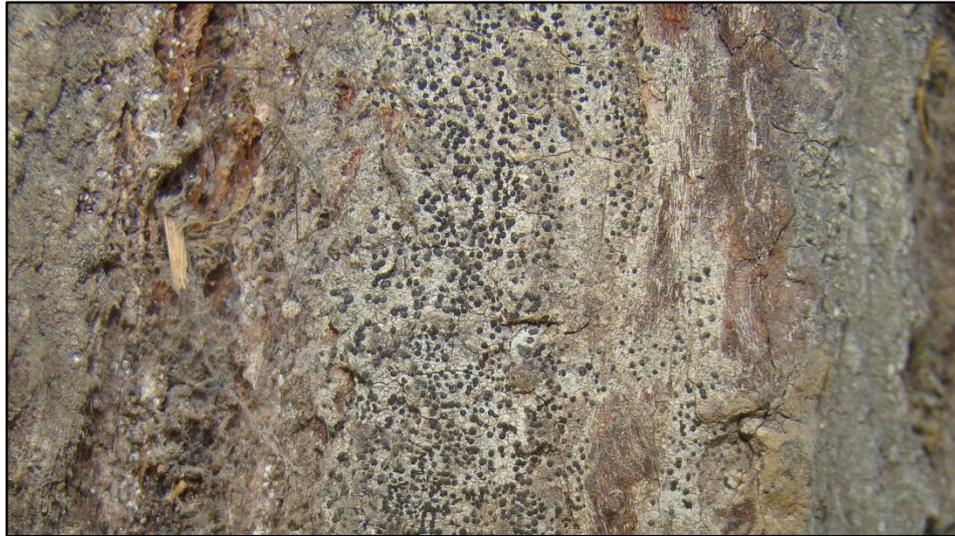


Figura 3. Liquen crustoso: Cf. Lecidea sp.
Fuente: Fotografía de Edgard Chapoñan

2.3.8. Taxonomía

La sistemática moderna ubica a los líquenes dentro del Reino Fungi. Además, existe aproximadamente 16 000 ascomycetes liquenizados y representan el 99% del total de especies, estos pertenecen a la división Ascomycota, Clase Ascomycetes y Subclases Ascomycetidae (Rendon, 1987).

De acuerdo a Literoff et al., (2009) las especies de algas encontradas en los líquenes pueden ser cianofitas o clorofitas y los hongos que están involucrados en la asociación son Basidiomycetes, Ascomycetes o Phicomycetes,

2.3.9. Reproducción

De acuerdo a Morales et al. (2009), los líquenes presentan reproducción vegetativa, sexual y asexual. Asimismo, la reproducción vegetativa y asexual son las más comunes. En la reproducción vegetativa se presenta por la fragmentación del talo debido a la pérdida de la humedad, de esta manera los fragmentos se dispersan y cada uno puede originar un nuevo talo en otro lugar. La parte fúngica del liquen genera conidios mitóticos que germinan produciendo hifas del micobionte y busca al fotobionte compatible para formar un nuevo individuo. Respecto a la

reproducción sexual, Rivera (2002) menciona que el hongo desarrolla ascocarpos en forma de peritecio o apotecio.

Los líquenes suspenden su actividad cuando existe una alta desecación por los rayos solares o por el aire, posteriormente se reactiva con la presencia de humedad que proviene de la lluvia u otra condición, por tal razón estos organismos presentan un crecimiento lento y son longevos y les permite desarrollarse en áreas geográficas extremas (Rivera, 2002). De acuerdo a este último autor, los líquenes pueden crecer en rocas, corteza del árbol y suelo, presentando cierta especificidad con el sustrato. Se han encontrado líquenes creciendo sobre sustratos inertes como los son vidrios y plástico.

2.4. Líquenes como bioindicadores de la calidad del aire

2.4.1. Características biológicas de los líquenes como bioindicadores de la calidad del aire

Los organismos que se eligen como bioindicadores deben presentar amplia distribución geográfica, tolerancia, biomasa suficiente, entre otras características. Los líquenes son utilizados como bioindicadores debido a su alta sensibilidad a cambio en el ambiente, sin embargo, no todos los líquenes son igual de sensibles a la contaminación Valencia y Ceballos, (2002). Barreno (2003) indica que los organismos bióticos pueden tener cierta tolerancia a determinados elementos tóxicos, como Líquenes, Musgos, Abies, Eucaliptus y Tilia como se muestra en la (tabla 1).

Tabla 1
Bioindicadores de contaminación atmosférica

Indicadores	Tipo de indicación
Musgos	Reacción visible al complejo de contaminantes con preferencia por gases ácidos, acumulación de metales pesados
Líquenes	Reacción visible al complejo de contaminantes con preferencia por gases ácidos, (SO ₂). Amoniaco y fluoruros, acumulación de metales

	pesados y radiactivos. También reacciona visiblemente a los rayos U.V.
Abies sp.	Acumulación de S en acículas, medición de los efectos del O ₃ en los cloroplastos
Eucalyptus sp.	Reacción visible a los policíclicos aromáticos carbonados (PAC)
Tilia	Acumulación de metales pesados

Fuente: (Riquelme, 2008)

Las siguientes características biológicas de los líquenes permiten que estos sean eficaces como bioindicadores de la calidad del aire (Loppi & Pirintsos, 2003)

- Son longevos, de crecimiento lento, por tanto, están expuestos a la contaminación atmosférica por largos periodos, si la hubiera.
- Generalmente no pierden parte de su estructura como sí lo hacen las plantas vasculares con sus hojas, por lo tanto, pueden ser monitoreados y muestreados en cualquier momento.
- Al no presentar raíz, como sí lo presentan las plantas vasculares, su nutrición depende directamente de la atmósfera y no del sustrato.
- No posee estructuras protectoras o selectivas del medio exterior que funcionen como una primera línea de barrera ante las sustancias tóxicas del medio, de esta manera pueden adsorber nutrientes y elementos tóxicos a la vez.

Los líquenes pueden acumular metales pesados en su estructura, específicamente en espacios de intercambio catiónico e intercelulares (Bredegal et al., 2005). Asimismo, Hawksworth et al. (2005) menciona que se ha registrado en los líquenes metales como Aluminio (Al), Arsenico (As), Cobre (Cu), Hierro (Fe), Plomo (Pb), Boro (B), Cadmio (Cd), Calcio (Ca), Cromo (Cr), Magnesio (Mg), Manganeso (Mn), Potasio (K), Sodio (Na), Zinc (Zn), entre otros. De acuerdo a Bernasconi et al. (2000) menciona que la presencia de Cobalto (Co) en la estructura del liquen se debe a la emisión de este elemento por parte de la industria metalúrgica, además agrega que la industria del acero emite Manganeso (Mn) y Zinc (Zn), este último elemento puede ser generado por el parque automotor. El

Cadmio es generado por la industria del acero y por el desgaste del neumático (Jeran et al., 2002).

Lijteroff y Lima (2008) menciona que un organismo es bioindicador cuando presenta cambios o reacciones en su estructura, por tal motivo con la contaminación atmosférica las especies son incapaces de adaptarse a las condiciones ambientales alteradas de modo que sus escasas o su extinción en un área determinada el cual es un indicio del problema. En diferentes investigaciones se utilizaron líquenes epífitos para determinar los niveles de contaminación atmosférica a consecuencia principalmente de dióxido de azufre (SO₂), dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO). Siendo el dióxido de azufre (SO₂) el contaminante que afecta principalmente a los líquenes, presenta la propiedad de recibir los nutrientes a partir de la atmósfera.

De acuerdo a Méndez y Fournier (1980) los elementos tóxicos que bioacumulan los líquenes pueden afectar la capacidad fotosintética que les permite fabricar su propio alimento. Según Steubing et al. (2001) los líquenes epífitos son considerados los bioindicadores más eficientes. Rubio et al. (2002) menciona que los líquenes pueden ser utilizados para monitoreo in situ es decir un estudio en sus hábitats naturales, o para el monitoreo ex situ introduciendo estos organismos de un hábitat con alta contaminación. Según Ariño et al. (1997) aquellos organismos que presentan alta sensibilidad a los contaminantes presentes en la atmósfera son considerados buenos bioindicadores. De acuerdo a Anze (2007) los organismos bioindicadores responden a la contaminación atmosférica mediante alteraciones en su fisiología.

Canseco, Anze y Franken (2006) realizó un estudio del índice de pureza atmosférica (IPA) en la ciudad de la paz, mediante alteraciones que dañan a las comunidades de los líquenes con la contaminación atmosférica, por tal motivo estos líquenes son capaces de expresar la calidad de aire en un área específica. Esto nos proporciona estudiar áreas determinadas en diferentes partes de la ciudad. Los resultados nos muestran que en área de alta intensidad vehicular y por

lo tanto mayor contaminación, la cobertura y presencia liquénica son menores, por lo contrario, si el área presenta baja intensidad vehicular y por lo tanto una baja contaminación la presencia liquénica y cobertura son muy altas.

2.5. Metales pesados

Los metales pesados no pueden ser degradados, por medios químicos ni biológicamente por la naturaleza, de esta forma la concentración de estos elementos persiste en el tiempo (Vásquez, 2015). Las actividades humanas como la minería emiten residuos de plomo en el ambiente (Adachia & Tainosho, 2004). De acuerdo a Alfaro (1998) y Chavez (2017) los líquenes tienden a acumular eficientemente el plomo presente en la atmósfera. Asimismo, los elementos tóxicos acumulados en estos organismos pueden ser estudiados por diferentes métodos químicos (Purvis, 1996).

2.6. Definición de términos

- **Liquenobiota:** Conjunto de especies de líquenes que ocupan un área.
- **Liquen:** Surge de la asociación simbiótica entre un hongo y uno o más organismos autótrofos fotosintéticos que puede ser una cianofícea o un alga verde (Chávez et al., 2009).
- **Morfología:** La morfología de los líquenes es la aclimatación a los cambios ambientales que se les da al liquen (enlace presente entre la fisiología de un individuo con el ambiente donde se desarrolla. (barreno. & ortega, 2003).
- **Talo:** Parte vegetativa de los líquenes (Ramírez, 2018).
- **Contaminante:** El Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental lo define como aquella sustancia química que, al ser introducida en algún sistema como suelo, aire o agua, puede afectarlo negativamente (OEFA, 2015).

- **Bioindicador:** Es el uso de individuos para el análisis del ambiente, viene desde años atrás, teniendo en la actualidad gran información publicada con respecto al tema. Dichos individuos logran bioacumular contaminantes ambientales y son buenos bioindicadores de la calidad del aire en zonas y tiempos determinados (Conti & Cecchetti, 2001). Son cualidades de ciertos organismos que al estar expuestos a la contaminación o cambios en el ambiente se presentan afectados (Guerrero, Patarroyo y Rodríguez, 2006). Se le puede determinar bioindicador, cuando un organismo presenta diferentes reacciones de acuerdo al grado de contaminación a la que es expuesto o alteración en la zona en la que viven, por los que ha estos daños se les denomina cuantificables (Barreno & Ortega, 2003).

- **Dispersión de contaminantes:** El tipo de fuente, la naturaleza del contaminante, las condiciones atmosféricas de la zona son factores que determinan el modo de dispersión y transporte de los contaminantes, agregado a esto las características fotográficas de la zona (Aranguéz et al., 1999).

- **Fotobionte:** Parte del líquen que realiza la fotosíntesis y está compuesta por el alga.

- **Micobionte:** Parte de líquen compuesta por el hongo.

- **Forófito:** Planta portadora de líquenes epífitos.

- **MEBA:** Microscopía Electrónica de Barrido Ambiental.

CAPITULO III

DESARROLLO DEL TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

3.1. METODOLOGÍA DE DESARROLLO DEL TRABAJO PROFESIONAL

3.1.1. Delimitación temporal

Desde el mes de febrero hasta octubre del 2020 se expuso los líquenes *Roccella gracilis* y Cf. *Tornabenia* sp. A un medio de contaminación presente en Villa El Salvador, específicamente en la periferia del Hospital Solidaridad. simultáneamente, en el bosque el olivar se realizó el seguimiento y crecimiento del liquen *Roccella gracilis*, en cada distrito se tomó anotaciones para ver el desarrollo de los mismos, en el mes de octubre se determinó, mediante el método de microscopia electrónica de barrido ambiental (MEBA), los compuestos tóxicos que estos organismos habían bioacumulado.

3.1.2. Delimitación espacial

La presente investigación fue realizada en el departamento de Lima, específicamente en los distritos de Villa El Salvador (Hospital de Solidaridad) y San Isidro (bosque el Olivar) el cual fue declarado monumento nacional, Además, el liquen Cf. *Tornabenia* sp. El cual fue extraído de las Lomas de Villa María del Triunfo considerado área de conservación regional (ACR) al servicio nacional de

áreas naturales protegidas (Sernanp) para de esta forma se refrenaría su depredación y se aseguraría la conservación de su flora y su fauna, el cual fue útil para la investigación.

El trabajo in situ se realizó en el Bosque el Olivar, para lo cual se realizó el seguimiento del crecimiento del líquen *Roccella gracilis* en su punto de origen, este bosque tiene un área total de 87.000m² con una altitud de 127 msnm y con coordenadas geográficas 12°6'1,74" S, 77°2'5,67,5" W con una distancia al mar de 2.32km. Por otro lado, el trabajo ex situ, en otras palabras, el proceso de trasplante de líquenes fue realizado en el área limítrofe del Hospital Solidaridad que tiene un área total de 8000m², con una altitud de 114 msnm y con coordenadas geográficas 12°11'44,21" S, 76°57'34,69" W con una distancia al mar de 4.39km. donde se trabajaron con las muestras de Cf. *Tornabenia* sp. Y *Roccella gracilis* de las cuales la primera fue extraída de lomas de paraíso de Villa María del Triunfo (Figura 3).

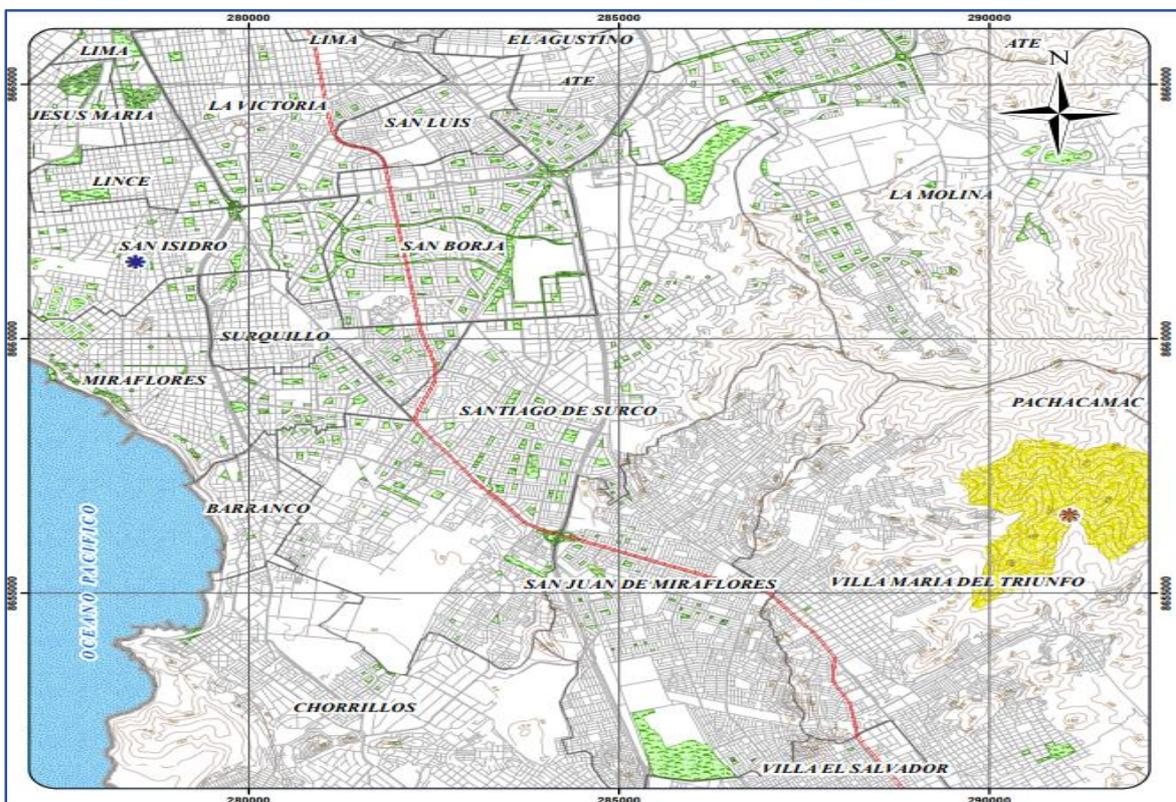


Figura 4. Fuentes de orígenes de los líquenes *Roccella gracilis* y Cf. *Tornabenia* sp. Y lugar de investigación.

3.1.3. Determinación y análisis del problema

El principal problema ambiental del distrito de Villa El Salvador es la contaminación del aire debido a su manejo inapropiado de residuos sólidos, presencia de botaderos, quema de los residuos sólidos, ausencia de educación ambiental por parte de la población y principalmente por la contaminación por el parque automotor. Conforme a Dirección General de Salud Ambiental DIGESA (2011) en algunos distritos de Lima Sur los valores de concentración de contaminantes resultantes superaron lo indicado por la OMS. Lo anterior mencionado puede generar complicaciones en la población aledaña y personas vulnerables como son los niños en pediatría y personas con enfermedades neumológicas que se atienden en el hospital solidaridad de Villa el Salvador.

En la investigación realizado por Calderón (2019) se concluyó que el líquen *Roccella gracilis* presenta capacidad de bioacumular metales pesados. Gonzales (2017) utilizó líquenes para valorar los niveles de contaminantes gaseosos como el dióxido de azufre, fluoruros, óxido de nitrógeno, monóxido de carbono, entre otros.

3.1.4. Modelo de solución propuesto

La investigación se fundamenta desde el punto de vista social ya que determinará la calidad del aire a la que está expuesta la población de Villa El Salvador en la zona del hospital solidaridad. Asimismo, el uso de organismos bioindicadores es una alternativa económica a comparación de otros métodos.

El uso de líquenes como bioindicadores está siendo utilizada de manera errónea, puesto que se expresa de una manera inapropiada la información generada por la microscopia electrónica de barrido ambiental (MEBA). Esta

investigación es relevante ya que presenta una interpretación que se ajusta a la realidad de la información que emite el MEBA. Información para evaluar eficazmente la calidad de aire mediante organismos vivos, el cual servirá para futuras investigaciones.

3.1.5. Materiales y equipos

- Papel milimétrico
- Formato de campo
- Cúter
- Plumón
- Lápiz
- Sobre de papel
- Wincha
- Regla milimétrica
- Cámara NIKON D3500, lente 18-55mm
- Receptor GPS
- Brújula
- Palo de escoba
- Hoja Bond
- Hilo nilón
- Alcohol

3.1.6. Metodología y procedimiento

Se recolecto ocho muestras de líquenes Cf. *Tornabenia* sp. En lomas de paraíso en Villa María del Triunfo con los cuales se realizó el trabajo ex situ ya que los líquenes fueron trasplantados en Villa El Salvador Av. Mariano Pastor Sevilla con Av. Mateo Pumacahua, lugar donde se encuentra el Hospital Solidaridad el cual era el área de investigación de la calidad de aire.

Según Froehlich (2006) el polvo, la luz y el sustrato son elementos que influyen en el desarrollo de los líquenes. Teniendo en consideración esto, se

determinó conservar el sustrato de los líquenes, de esta manera se determinó a *Olea europea* como el árbol del cual se extrajo las muestras de líquenes, para lo cual tendría que cumplir con características similares las cuales son: Que haya presencia de *Roccella gracilis* en tres puntos cardinales del árbol *Olea europaea*, que no hayan sido afectados de forma antropogénica en los meses de estudio, que presenten una inclinación de 60°.

Asimismo, se recolectó 16 muestras de líquenes *Roccella gracilis* en el distrito de San Isidro – bosque el Olivar, de los cuales ocho líquenes se dejaron en su posición original para realizar el trabajo in situ y ocho líquenes *Roccella gracilis* para el trabajo ex situ, los cuales fueron trasplantados a Villa el Salvador – Mariano Pastor Sevilla – Hospital Solidaridad el cual es el lugar de investigación. Para este trabajo se tomó en cuenta la semejanza de tamaño de los líquenes y la orientación Suroeste. Se consideró que la abundancia y frecuencia de este organismo se debe a la frondosidad poblacional del árbol *Olea europaea*. La opción del *Roccella gracilis* se debe a su gran sensibilidad a la contaminación por ser de biotipo fruticoso (Hawksworth et al., 2005). Cabe mencionar que las muestras liquénicas fueron extraídas con fragmento del sustrato del árbol, ya que mencionado por (Mistry, 1998) las cualidades de la corteza como capacidad de absorción, textura y retención de humedad son fundamentales para el desarrollo del líquen.

De las lomas de Villa María del Triunfo, se extrajo ocho muestras de Cf. *Tornabenia* sp. A causa de que esta especie es fruticoso y se encuentra localizado en una zona con menor alteración ambiental y antropogénica. La condición natural de su biotipo le ofrece alta sensibilidad a la contaminación atmosférica (Hawksworth et al., 2005).

En factor de consideración en la acumulación de dosis de elementos tóxicos es la distancia a la fuente de contaminación (Demková et al., 2017), este punto se tomó en cuenta en la colocación de las muestras en el monitoreo activo de los líquenes *Roccella gracilis* y Cf. *Tornabenia* sp.

Visitas en lomas de paraíso de Villa María del Triunfo y bosque el Olivar en el distrito de San Isidro, realizando un recorrido general para visualizar la presencia de líquenes Cf. *Tornabenia* sp. Y *Roccella gracilis* respectivamente.

Se determinó los puntos de recolección de muestras en las zonas que contaban con mayor presencia de líquenes teniendo como referencia, mínimo 3 puntos cardinales del forófito.

Para la recolección de líquenes en ambos casos se procedió de la misma manera, se alisto un táper y dentro de ella una bolsa de papel para que los líquenes no contraigan contaminantes externos a las lomas de paraíso y del bosque el olivar.

Con la ayuda de un cúter se extrajo los líquenes con parte del sustrato para darles las condiciones iniciales cuando estas sean trasplantadas en la zona de villa el salvador.

Los líquenes se introdujeron envueltos en la bolsa de papel y dentro de los tapers, el cual le dio seguridad a la hora de ser trasladados a la zona de estudio en Villa el Salvador.

Se tomó anotaciones para identificar las condiciones iniciales que presentaba cada liquen como: inclinación del árbol, coordenadas, altura del árbol, altura del liquen con respecto al suelo, distancia al mar y color del liquen.

Para el trabajo in situ en el bosque olivar se determinaron ocho líquenes *Roccella gracilis* donde también se hicieron las anotaciones ya mencionadas.

Las 16 muestras de líquenes *Roccella gracilis* y Cf. *Tornabenia* sp. Fueron colocadas en una barra de madera y amarradas con hilo nylon para poder darles la altura e inclinación inicial a su lugar de origen.

Los líquenes fueron roseados con agua hervida tibia antes de ser trasplantadas en la zona de investigación.

Los palos de escoba fueron plantados en la periferia del área de investigación ya que el hospital cuenta con un área de 8000 m².

Se tomaron anotaciones para determinar los cambios físicos que presentan los 16 líquenes en el hospital solidaridad de Villa El Salvador como los ocho líquenes del bosque el Olivar en San Isidro.

Una vez cumplido el tiempo de exposición se llevó al laboratorio dos muestras de líquenes de *Roccella gracilis* y Cf. *Tornabenia* sp. En Villa el Salvador y 1 muestra de *Roccella gracilis* en San Isidro, para realizar la microscopia electrónica de barrido ambiental (MEBA), el cual determinó los compuestos tóxicos que presentaban los líquenes ya mencionados.

Cabe mencionar que la muestra del liquen Cf. *Tornabenia* sp. De lomas del paraíso en Villa María del Triunfo no pudo ser recolectada por restricciones gubernamentales por motivo de pandemia ante el COVID-19.

3.1.7. Delimitación del campo experimental

La presente investigación se centra en Villa El Salvador, hospital Solidaridad la cual se encuentra ubicado en Av. Mariano Pastor Sevilla, cruce con la Av. Primero de Mayo y Av. Mateo Pumacahua. Donde se colocaron ocho muestras del liquen *Roccella gracilis* que se obtuvieron del Bosque el Olivar distrito de San Isidro y ocho líquenes Cf. *Tornabenia* sp. Extraídas de lomas del paraíso de Villa María del Triunfo.

Se determinó el hospital solidaridad de Villa el Salvador por ser un lugar muy transitado, tener dos grifos a 50 metros y 100 metros cerca de él, tiendas de repuestos de autos, lavadero de carro, centros mecánicos, lubricantes todos a 30 metros de distancia del hospital. Todo este movimiento de masa vehicular genera gran cantidad de contaminantes, a los cuales están expuestos las personas más vulnerables del distrito que se atienden en este hospital.

Esta investigación también permitirá determinar los contaminantes que se generen en el bosque el Olivar, el cual es un área declarado monumento nacional en donde existen aproximadamente 1670 *Olea europaea*.

Se recolectó información de los líquenes ubicados en el bosque el Olivar tales como ubicación, grado de inclinación del forófito, coordenadas geográficas, altura del árbol.

La investigación se enfocó en determinar la calidad de aire mediante los líquenes *Roccella gracilis* y Cf. *Tornabenia* sp. Mediante sus características físicas. finalmente se determinó la presencia de elementos tóxicos bioacumulados por los líquenes mediante el microscopio electrónico de barrido ambiental (MEBA).

3.1.8. Recolección de muestras liquénicas

Para determinar el lugar se consideró que el Bosque Olivar cuenta con una gran cantidad de árboles *Olea europaea* y la longevidad que estos tienen, ya que ayudaron a encontrar gran cantidad de muestras de líquenes.

Las muestras que fueron extraídas fueron de los árboles *Olea europaea* más longevos del bosque el olivar ya que presentan mayor cantidad de líquenes en sus troncos.



Figura 5. Búsqueda de líquenes que cumplan los criterios descritos por Calderón (2019).

Antes de la extracción se realizó la medida mediante una regla milimétrica de cada líquen para determinar el crecimiento, los cuales fueron llevados al laboratorio para realizar la microscopia electrónica de barrido ambiental.

Para la extracción del líquen se utilizó una cuchilla cortando el sustrato con el líquen para no afectar las condiciones naturales que éstos presentaban.

Del bosque el olivar se extrajo ocho muestras de líquenes en puntos cercanos del árbol *Olea europaea*. Para lo cual se usó un cúter debidamente desinfectada con alcohol y secado de manera natural.

Cada muestra de líquenes fue colocada en bolsas de papel para conservarlas en un ambiente más limpio y transportadas en un táper para mantenerlas intactas y poder realizar el trabajo ex situ en el distrito de Villa El Salvador.

Las otras muestras fueron de líquenes Cf. *Tornabenia* sp. Las cuales fueron extraídas de lomas de paraíso de Villa María del Triunfo colocadas en bolsas de papel para su conservación y trasladadas en tápers para mantenerlas intactas y realizar el trabajo ex situ en Villa El Salvador. Al igual que el liquen *Roccella gracilis* en el cual se realizó el mismo procedimiento para su extracción.

3.1.9. Colocación de muestras liquénicas

Se formaron dos grupos de ocho miembros cada uno, cada liquen fue colocado en un sustrato de madera “palo de escoba” amarradas con un hilo para poder darle la altura, inclinación que tenía inicialmente.

Los dieciséis sustratos de madera fueron colocados en diferentes puntos de la zona del hospital solidaridad los cuales fueron regadas por primera y única vez desde su extracción para que estas puedan adaptarse al nuevo ambiente asignado.



Figura 6. Liquen *Roccella gracilis* en la corteza del árbol *Olea europaea*

3.1.10. Recolección de líquenes

La recolección de los líquenes *Roccella gracilis* y Cf. *Tornabenia* sp. Se realizó mediante un cúter, las cuales fueron depositadas sobre una bolsa de papel y dentro de tapers para su protección y traslado. Las determinaciones de los líquenes en el campo fueron realizadas mediante una cámara Nikon D3500, lente 18-55mm. Cada muestra fue rotulada con especificaciones determinadas (coordinadas, numero de muestra y demás datos con fines de investigación) finalmente, los líquenes del trabajo ex situ en el hospital solidaridad en Villa El Salvador fueron llevados al laboratorio para la microscopia electrónica de barrido ambiental (MEBA) para el análisis de compuestos tóxicos.

3.1.11. Análisis en microscopia electrónica de barrido ambiental (MEBA)

El análisis de microscopia electrónica de barrido ambiental nos permitió verificar las muestras biológicas sin tratamiento previo, ya que mediante esta técnica podemos controlar la temperatura de la muestra y la humedad relativa de la cámara, así se podrá evitar cambios durante el tiempo de observación, en este equipo se usa electrones en vez de luz para formar una imagen. Esto nos facilita porque se realizó el análisis sin la necesidad de usar técnicas convencionales de preparación de muestra, se realiza el proceso de toma de muestra en el talo de los líquenes analizados ya que es en esa zona del liquen donde se almacena los elementos provenientes del aire. La muestra es introducida a la cámara de vacío, donde es bombardeada por electrones, dicho electrón genera un rebote que emite una lectura las cuales serán captadas por sensores que leen el impacto en un resultado de concentración de elementos químicos (compuestos tóxicos), el resultado será emitido por el software EDAX génesis arrojando resultados expresados en tres maneras.

1. Electrones secundarios: imágenes LFD (Large Field Detector) donde nos proporcionara una imagen topográfica de la muestra.
2. Electrones retrodispersados: SSD (Solid State Detector), donde se observa la parte física (morfológica), emite mayor energía que la primera.

3. Imágenes mixtas: es la unión de las dos pruebas analizadas anteriormente.

3.2. Evaluación de los parámetros

3.2.1. Color del líquen: Se examinó el color inicial del líquen y después de ocho meses se volvió a tomar datos para verificar los cambios que ha presentado, el cual será determinado por fotografía.

3.2.2. Presencia de metales pesados: Por medio de la microscopia electrónica de barrido ambiental se determinó la presencia de metales pesados en los líquenes *Roccella gracilis* y Cf. *Tornabenia* sp.

3.2.3. Mortalidad: Se determinó la muerte del líquen por pérdida de color y descarte para el laboratorio.

3.3. Resultados

3.3.1. Líquenes

Con respecto a los líquenes, se trabajó con dos especies *Roccella gracilis* y Cf. *Tornabenia* sp. El líquen *Roccella gracilis* es de biotipo fruticoso, de acuerdo a su lugar de crecimiento se le denomina corticola puesto que crece en la corteza de los árboles, por otro lado, el líquen Cf. *Tornabenia* sp. Es de biotipo fruticoso y respecto a su lugar de crecimiento se le denomina muscicola puesto que crece en los musgos.

Tabla 2
Líquenes estudiados

Familia	Especie	Biotipo	Lugar de Crecimiento	Lugar de Origen
Roccellaceae	<i>Roccella gracilis</i>	fruticoso	corteza	Bosque el Olivar-San Isidro
Teloschistaceae	Cf. <i>Tornabenia</i> sp.	fruticoso	musgos	Lomas de Paraíso-Villa María Del Triunfo

3.3.2. Árboles

En el bosque el Olivar se tomó el árbol más representativo de la zona, el *Olea europaea* de los cuales se tomaron 16 muestras en diferentes puntos, donde existe más presencia de líquenes *Roccella gracilis*.

3.3.3. Forófitos y líquenes

El tipo de corteza que presento *Olea europaea* fue fracturada larga, por las largas rajaduras que estas presentaban para el crecimiento del *Roccella gracilis*, mientras que para el crecimiento del Cf. *Tornabenia* sp. Se encontró en algas.

3.3.4. Metales pesados

Para la realización de muestras en metales pesados, los líquenes *Roccella gracilis* y Cf. *Tornabenia* sp. Se realizó mediante el microscopio electrónico de barrido ambiental (MEBA). A continuación, se muestran los resultados obtenidos en las 3 muestras analizadas. Las cuales se les determino como muestra "A", ubicada en Villa el Salvador, muestra "B" ubicado en San Isidro y muestra "C" ubicado en Villa el Salvador.

3.4. Muestra A: análisis de elementos tóxicos - *Roccella gracilis* en Villa El Salvador

Tabla 3

Concentración de elementos químicos de la región A1 de la muestra A

Elementos	Wt%
C	50.93
O	43.51
Na	0.19
Mg	0.09
Al	0.34
Si	0.77
P	0.01
S	0.14
Cl	0.02
K	0.13

Ca	3.63
Fe	0.23

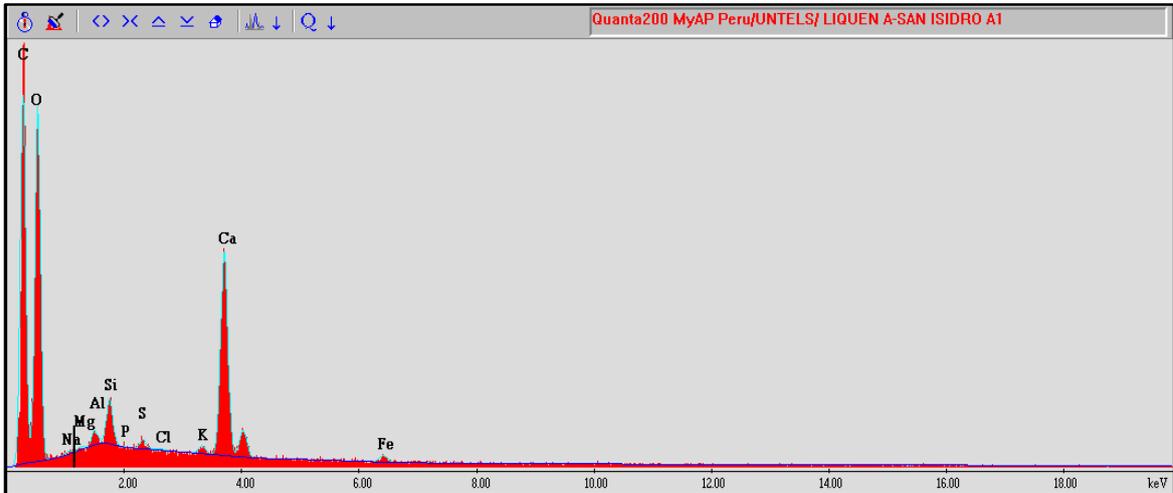


Figura 7. Espectroscopía de energía dispersa (EDS) de la región A1 analizado en la muestra A.

De los datos mostrados en la Tabla 3 y Figura 7 se observa la presencia de metales como Hierro y Aluminio, es probable que la presencia de estos elementos sea debido al parque automotor presente en la zona de estudio. Por otro lado, la presencia de azufre debe estar muy relacionada al tránsito vehicular ya que este emite grandes cantidades de SO₂. El Magnesio, Silicio, Fósforo, Carbono, Oxígenos y otros podrían estar relacionado a la composición química característica de los líquenes.

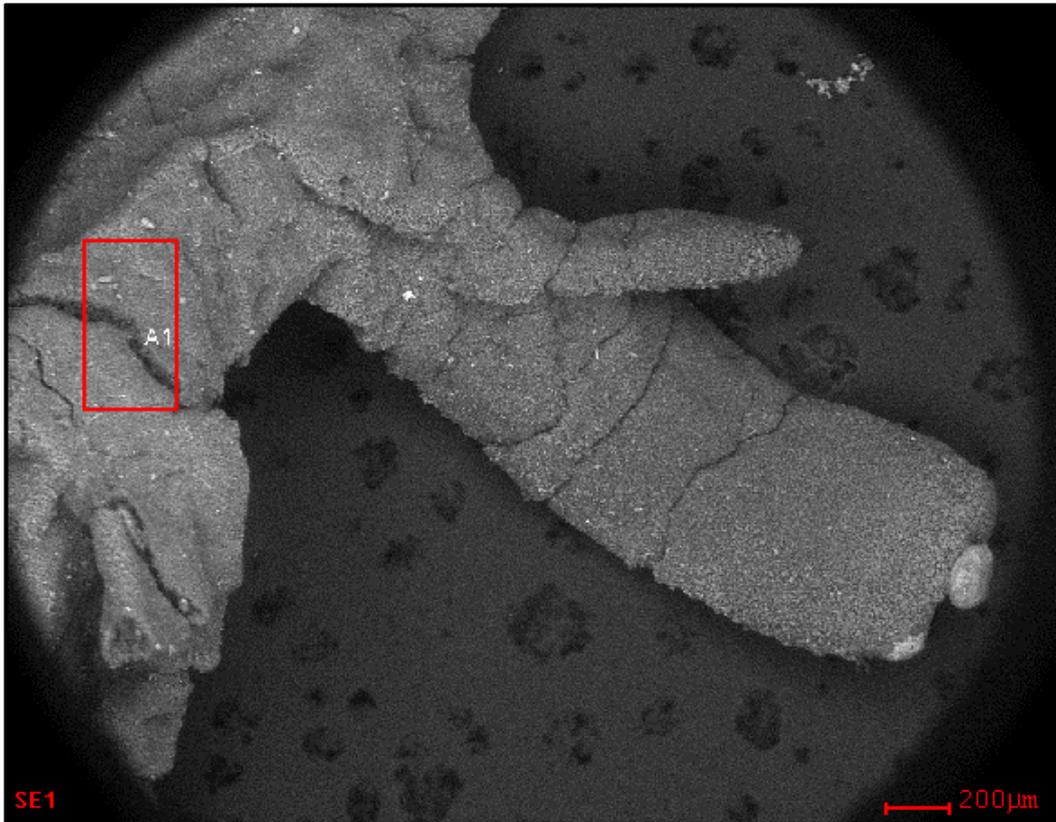


Figura 8. Región analizada por microscopía electrónica de barrido ambiental en la muestra A.

En la Figura 8 se aprecia de manchas que son ajenas a la estructura de estos organismos, asimismo la presencia de partículas brillantes adheridas al talo del liquen, probablemente son metales pesados.

Tabla 4

Concentración de elementos químicos en un punto de la muestra A

Elementos	Wt%
C	27.26
O	25.7

Na	0
Mg	0.41
Al	1.23
Si	2.77
P	0.16
Si	14.36
Cl	0.12
Ca	3.42
Fe	11.83
Cu	12.73

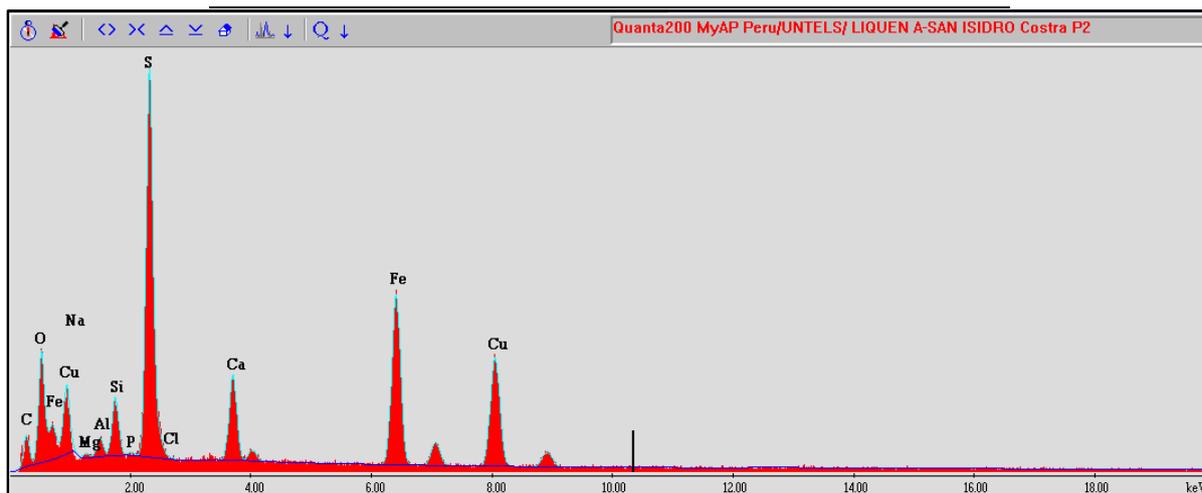


Figura 9. Espectroscopía de energía dispersa (EDS) en un punto analizado en la muestra A.

En la Tabla 5 y Figura 9 se observa la presencia de metales como Aluminio, Hierro y Cobre, este último elemento solo se evidenció en Villa El Salvador, más no en el Bosque El Olivar en San Isidro. Asimismo, se evidencia la alta concentración de azufre, pudiéndose relacionar con la actividad del parque automotor que emite el dióxido de azufre. Por otro lado, la presencia de Manganeso, Silicio, Fósforo, Carbono, Oxígeno y otros elementos podrían estar muy relacionados a la composición química, característica de estos organismos estudiados.

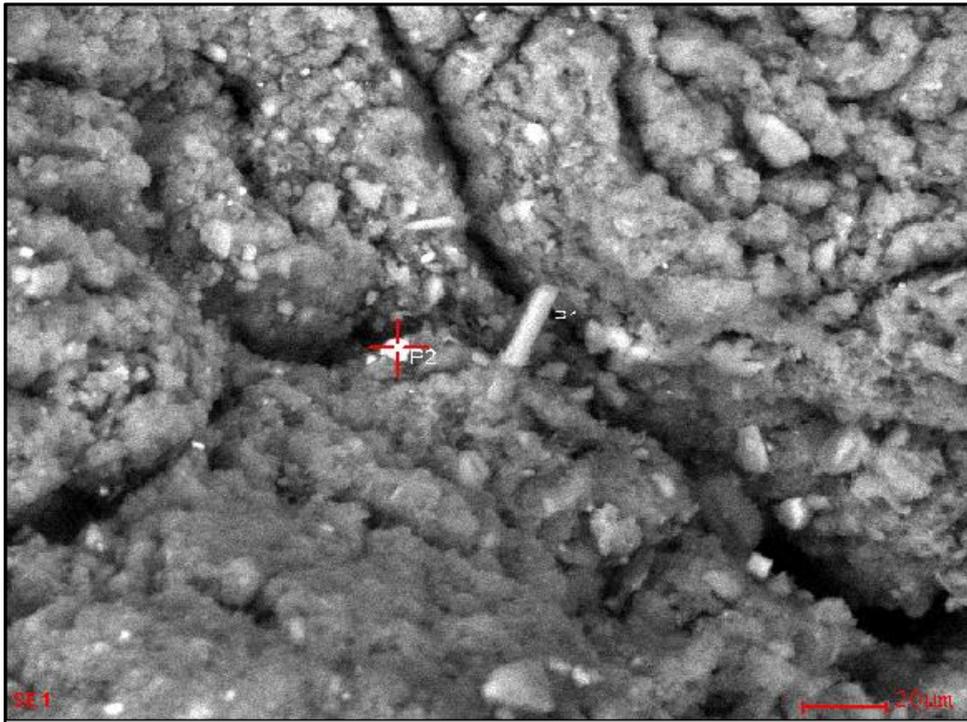


Figura 10. Punto analizado por microscopía electrónica de barrido ambiental en la muestra A

En la Figura 10 se aprecia de manchas que son ajenas a la estructura de estos organismos, asimismo la presencia de partículas brillantes adheridas al talo del liquen, probablemente son metales pesados.

Tabla 5
Concentración de elementos químicos del mineral yeso

Elementos	Wt%
O	55
S	18.73
Ca	26.27

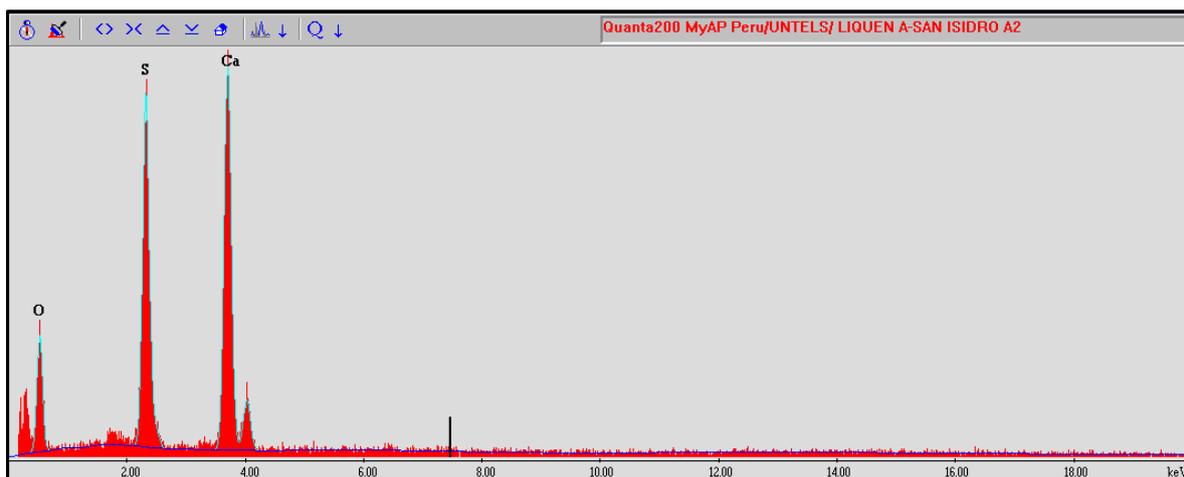


Figura 11. Espectroscopía de energía dispersa (EDS) de la región A2 de la muestra A.

En la Tabla 5 y Figura 11 se observa el análisis hecho por el microscopio a una mancha que no es propio del liquen, dando como resultado la presencia del mineral yeso, esto es probablemente a alguna actividad industrial que presente alto contenido mineralógico.

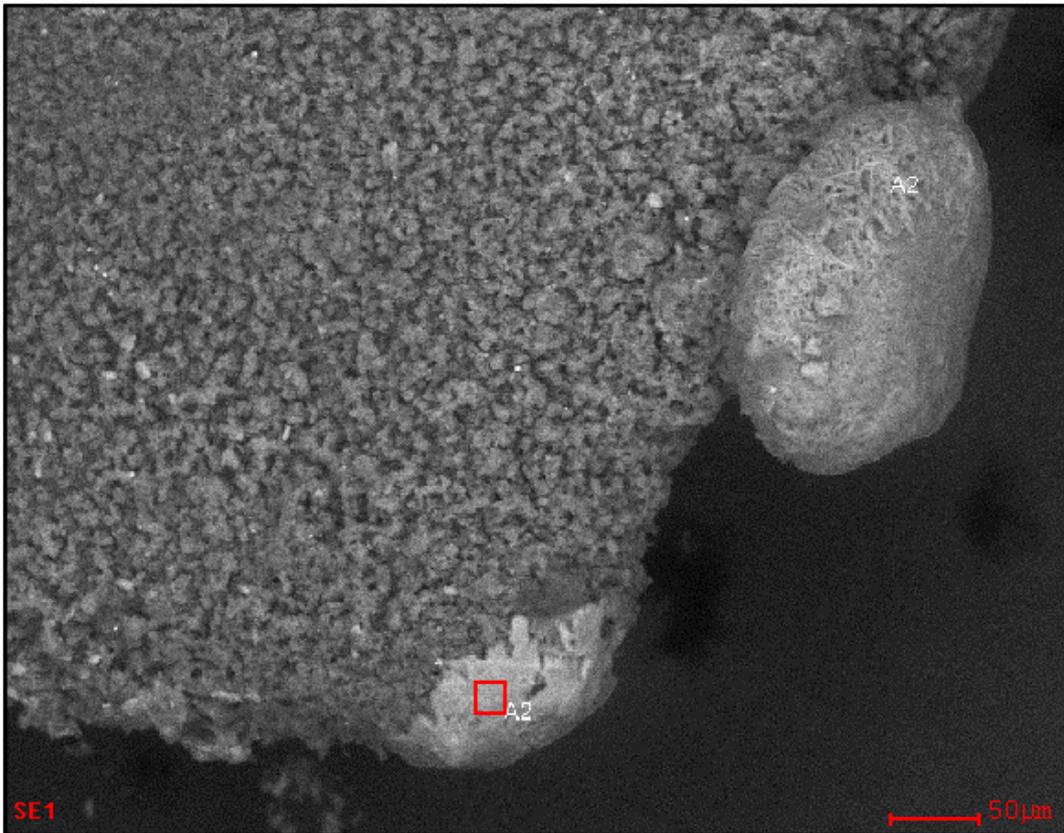


Figura 12. Presencia de yeso en el borde en la muestra.

En la Figura 12 se evidencia la presencia de manchas del mineral yeso que no es propia de la estructura de líquen *Roccella gracilis*.

Tabla 6
Concentración de elementos químicos del mineral silicato

Elementos	Wt%
O	55.91
Si	44.09

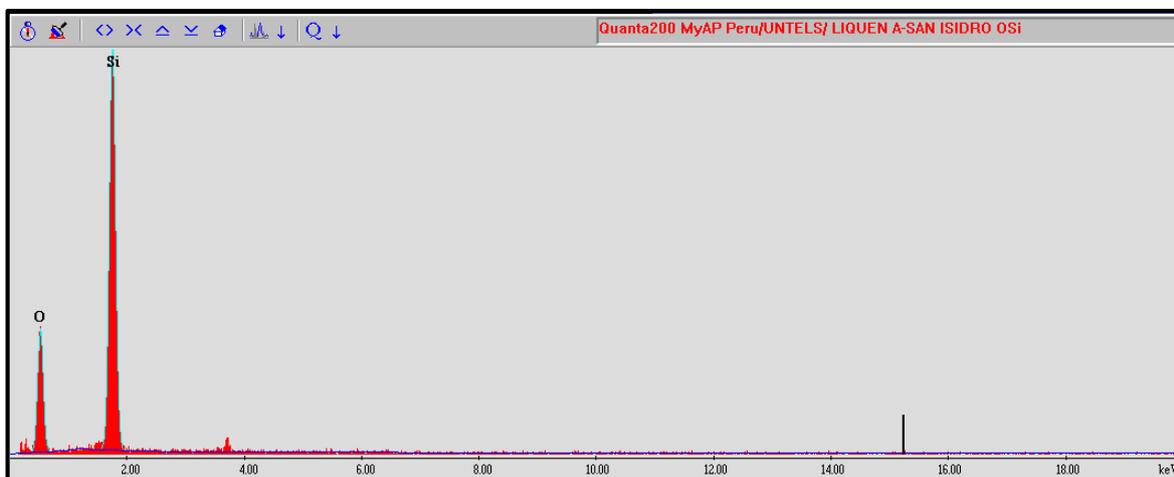


Figura 13. Espectroscopía de energía dispersa (EDS) del mineral silicato analizada de la muestra A.

En la Figura 13 y Tabla 6 se observa el análisis del mineral silicato presente como partícula adherida al talo del liquen. En el Figura 13 se observa los picos de concentración de Silicio y Oxígeno, por otro lado, en la Tabla 6 se evidencia el porcentaje de estos elementos concluyendo que es el mineral silicato. La presencia de esta partícula probablemente es por influencia mineralógica de alguna roca erosionada en la zona de estudio.

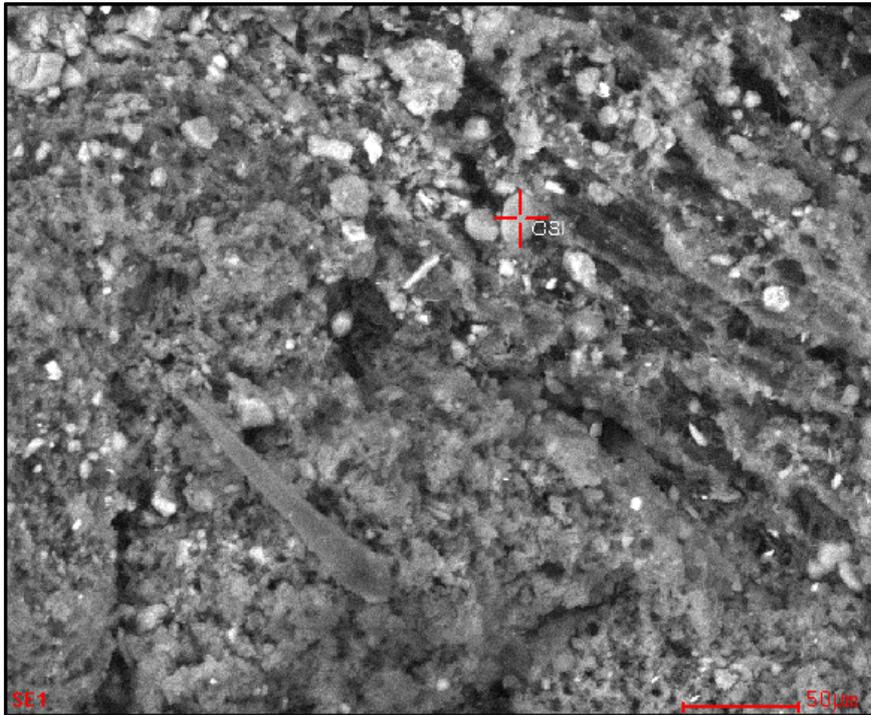


Figura 14. Partícula de silicato hallada en la muestra A.

En la Figura 14 muestra la presencia de partículas brillantes en la superficie del talo del liquen *Roccella gracilis*, evidenciando la presencia de metales pesados y minerales del tamaño de 10U μ m aproximadamente, siendo estos dañino a la salud de la población por ser material particulado PM 10 o PM 2.5.

3.5. Muestra B: Análisis de elementos tóxicos - *Roccella gracilis* de San Isidro

Tabla 7

Concentración de elementos químicos de una región de la muestra B

Elementos	Wt%
C	64.43
O	30.64
Na	0.3
Mg	0.19
Al	1.82
Si	0.32
P	0.12
S	0.24
Cl	0.16
K	0.38
Ca	0.65
Fe	0.78

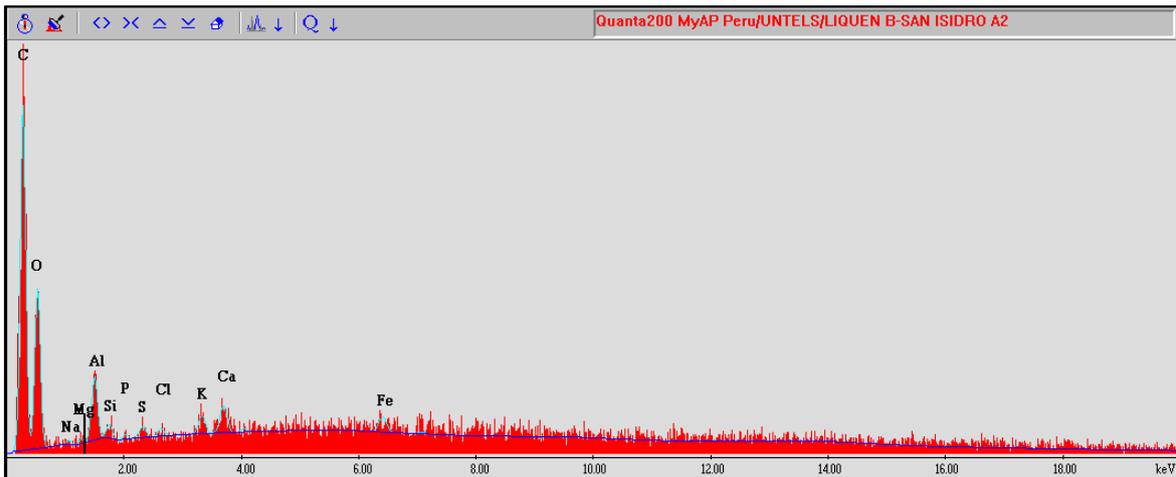


Figura 15. Espectroscopía de energía dispersa (EDS) de una región analizado en la muestra B.

De los datos mostrados en la Tabla 7 y Figura 15 se observó la presencia de metales como Hierro y Aluminio, es probable que la presencia de estos elementos sea debido al parque automotor presente en la zona de estudio, cabe destacar que los mismos elementos se encontró en la muestra A, a excepción del cobre que solo se observó en Villa El Salvador. Se reitera la presencia de azufre que debe estar influenciada por el dióxido de azufre que emite los vehículos en el área de estudio. La presencia de Magnesio, Silicio, Fósforo, Carbono, Oxígenos y otros, siguen estando relacionado a la composición química de *Roccella gracilis*.

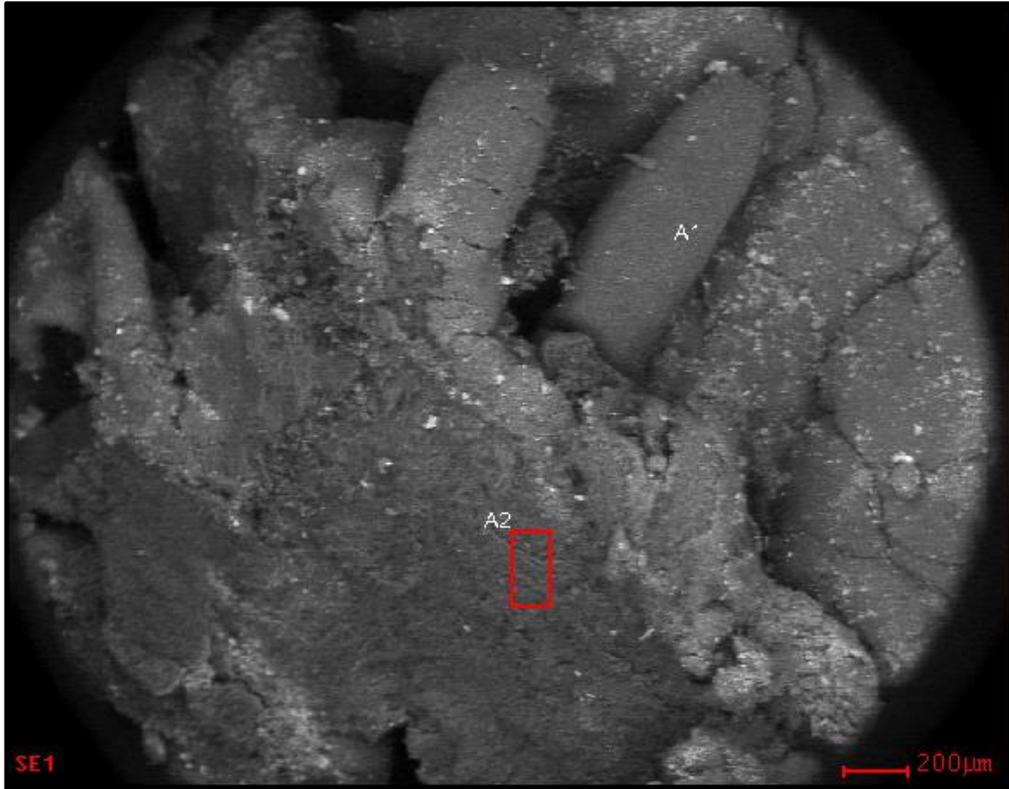


Figura 16. Región analizada por microscopía electrónica de barrido ambiental en la muestra B.

En la región A2 analizada de la muestra B también se muestra la presencia de partículas brillantes esparcidas en la estructura del líquen, esto es debido a la presencia de material particulado caracterizado por su composición metálica y mineralógica.

Tabla 8
Concentración de elementos químicos del mineral ortoclasa

Elementos	Wt %
O	38.44
Al	9.5
Si	36.13
K	15.95

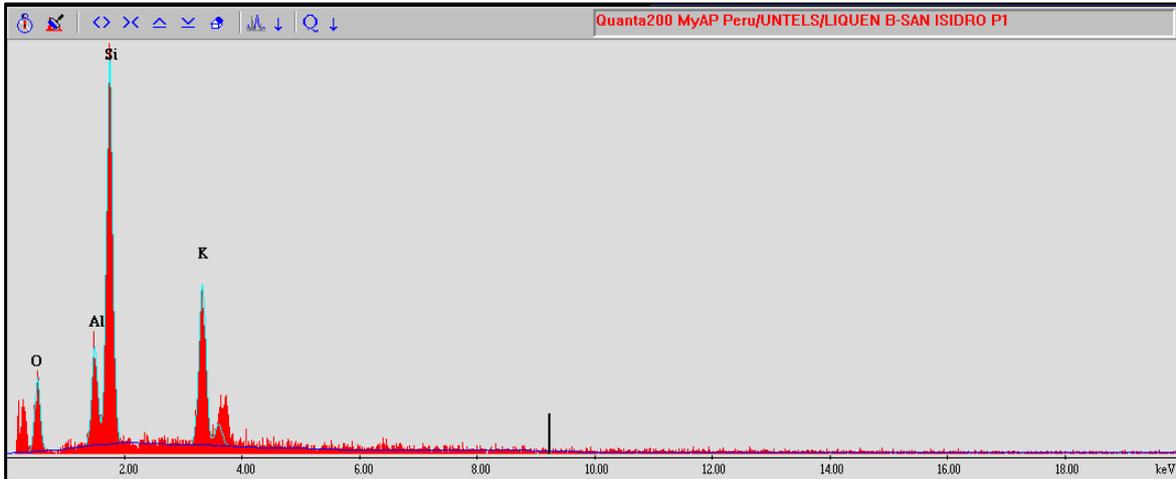


Figura 17. Espectroscopía de energía dispersa (EDS) de la mineral ortoclasa analizado de la muestra B.

En la Figura 17 y Tabla 8 se observó el análisis de la mineral ortoclasa realizado por el microscopio electrónico de barrido ambiental. Este mineral tiene el tamaño aproximado de 10 micras, siendo esta problemática para la salud pulmonar de la población. En el Figura 16 se observa los picos de concentración de Silicio, Potasio, Aluminio y Oxígeno, adicionalmente, en la Tabla 8 se evidencia el porcentaje de estos elementos concluyendo que es la mineral ortoclasa. Por el contenido de Aluminio en este compuesto, es probable que su presencia esté influenciada por la actividad del parque automotor presente en el área de estudio.



Figura 18. Presencia de mineral ortoclasa en la muestra B.

En la Figura 18 muestra la presencia de partículas brillantes en la estructura del líquen, evidenciando la probabilidad de partículas metálicas y mineralógicas.

Tabla 9
Concentración de elementos químicos del mineral oligoclasa

Elementos	Wt%
O	75.45
Na	5.11
Al	12.01
K	2.55
Ca	4.87

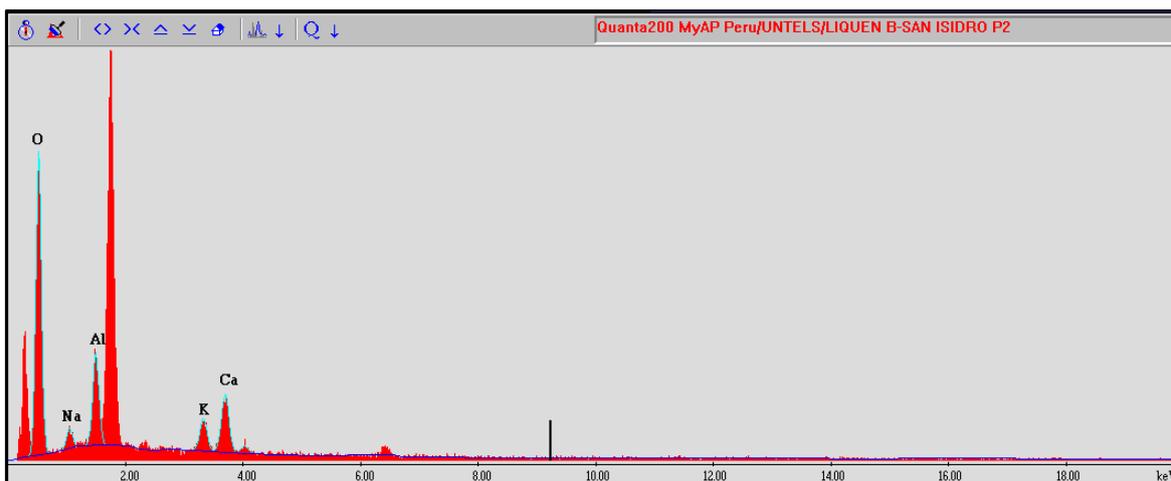


Figura 19. Espectroscopía de energía dispersa (EDS) de la mineral oligoclasa analizada de la muestra B.

La interpretación de la Figura 19 y Tabla 9 es la presencia de la mineral oligoclasa. Este mineral tiene un tamaño aproximado de 10 Um, reiterándose el efecto dañino a la salud de la población. En el Figura 19 se observa los picos de concentración de Oxígeno, Sodio, Aluminio, Potasio y Calcio, además, en la Tabla 9 se observa el peso porcentaje (Wt%) de estos elementos concluyendo que es la mineral oligoclasa. Debido al contenido de Aluminio que tiene este mineral, es probable que su presencia esté influenciada por el parque automotor.

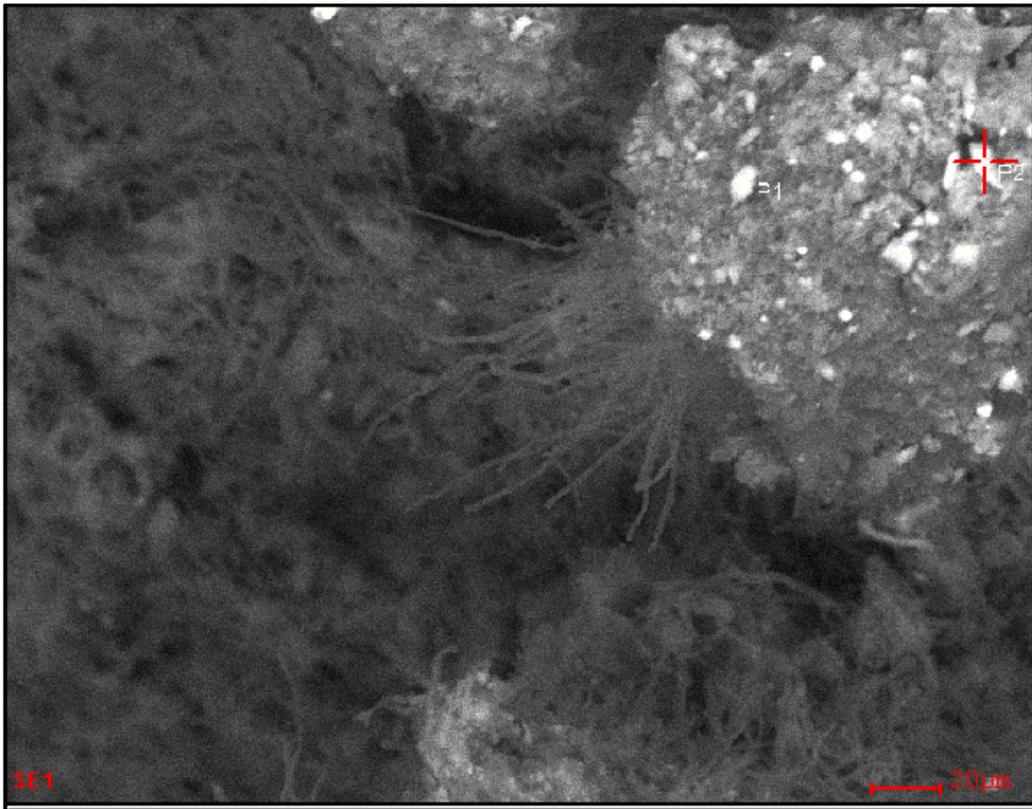


Figura 20. Partícula de oligoclasa hallada en la muestra B.

En la Figura 20 muestra la presencia de partículas brillantes en la superficie del talo de *Roccella gracilis*, evidenciando la probabilidad material particulado de origen metálico o mineralógico.

Tabla 10

Concentración de elementos químicos del mineral calcita

Elementos	Wt%
C	39.36
O	42.76
Ca	17.87

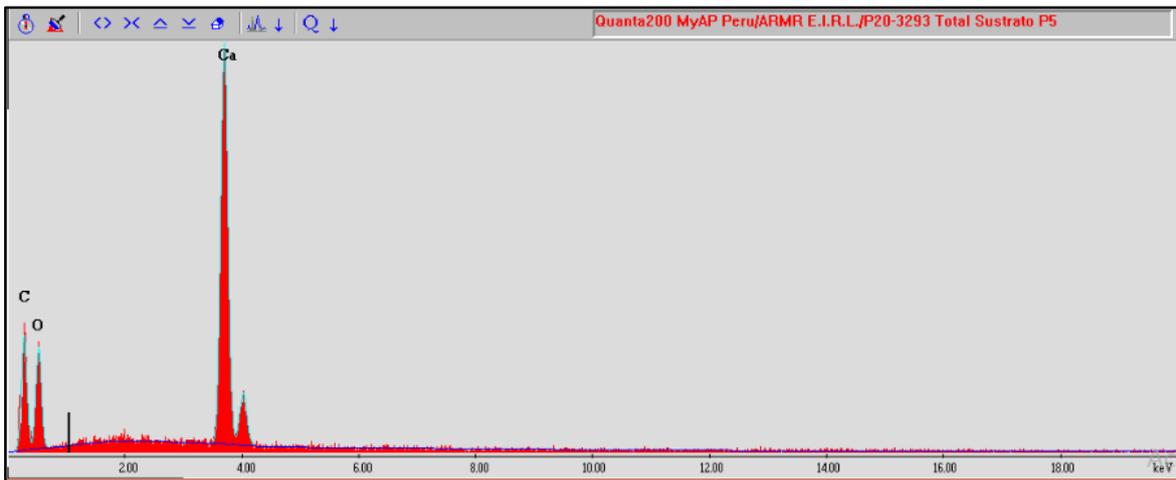


Figura 21. Espectroscopía de energía dispersa (EDS) de la mineral calcita analizada de la muestra B.

En la Figura 21 y Tabla 10 se observa el análisis realizado por el microscopio al mineral silicato presente como partícula adherida a este organismo. En el Figura 21 se observa los picos de concentración de Oxígeno, Carbono y Calcio.



Figura 22. Partícula de calcita hallada en la muestra B.

La Figura 22 muestra el punto analizado de la región de unión líquen – sustrato (corteza del árbol).

por otro lado, en la Tabla 10 se evidencia el porcentaje de estos elementos concluyendo que es la mineral calcita. La presencia de esta partícula puede estar influenciada por alguna actividad industrial cercana al área de estudio que presenten en sus procesos el uso de materia prima con contenido mineralógico.

3.6. Muestra C: Análisis de elementos tóxicos - Cf. *Tornabenia* sp. En Villa el Salvador

Tabla 11

Concentración de elementos químicos de la muestra C

Elementos	Wt%
C	45.03
O	37.32
Na	0.42
Mg	0.6
Al	3.04
Si	7.41
S	0.2
Cl	0.1
K	0.71
Ca	1.99
Ti	0.29
Fe	2.91

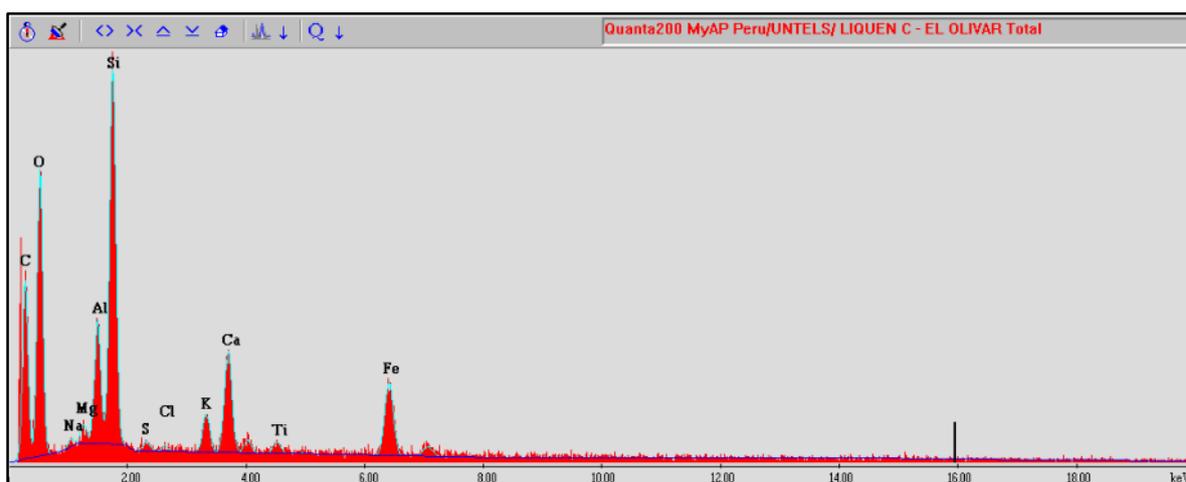


Figura 23. Espectroscopía de energía dispersa (EDS) de la región analizada en la muestra A

En la Tabla 11 y Figura 23 se observó la presencia de metales pesados como Aluminio, Hierro y Titanio, cabe destacar que en esta muestra de Cf. *Tornabenia* sp. Se encontró presencia a titanio a diferencia de las dos muestras de *Rocella gracilis*. Asimismo, se evidencia la baja concentración de azufre a diferencia de las muestras de *Rocella gracilis*, como se explicó anteriormente la presencia de este elemento podría estar relacionado con la actividad el parque automotor o por ser un elemento propio de la composición natural del líquen. Por otro lado, la presencia

de Magnesio, Silicio, Fósforo, Carbono, Oxígeno y otros elementos podrían estar muy relacionados a la composición química de Cf. *Tornabenia* sp.

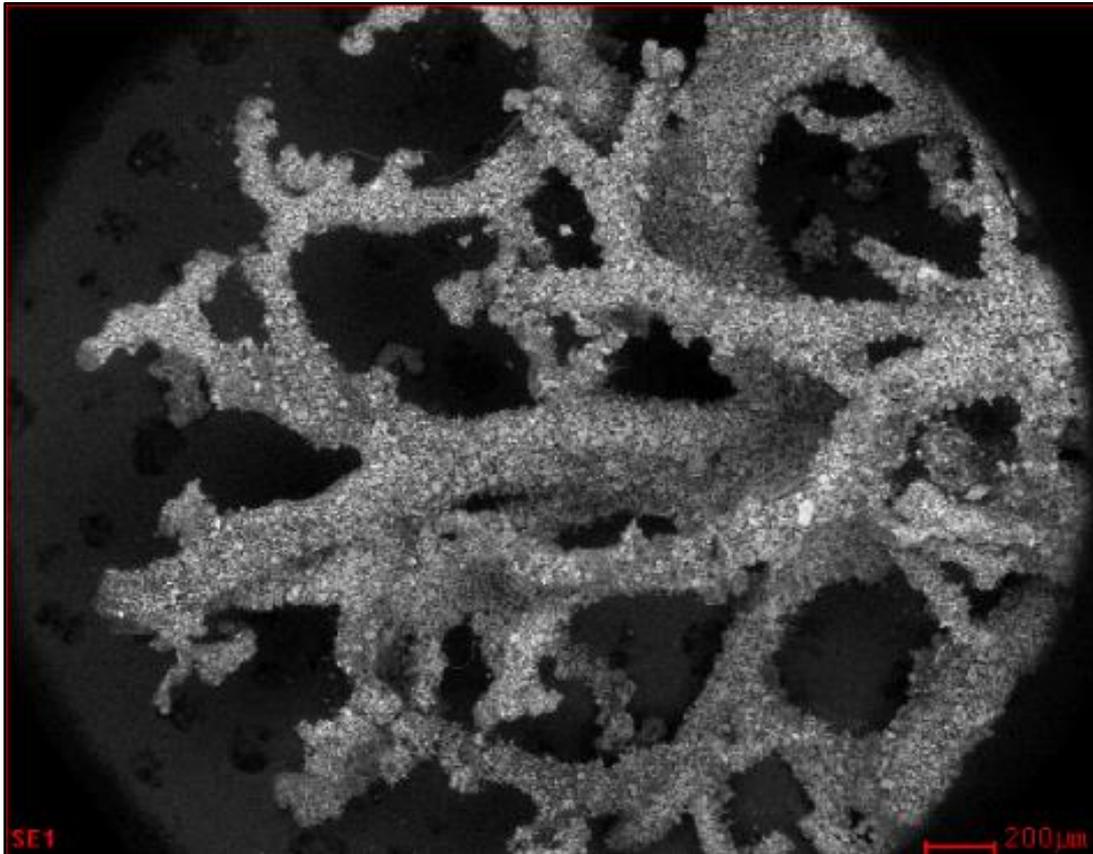


Figura 24. Región analizada por microscopía electrónica de barrido ambiental en la muestra C.

En la Figura 24 se la región analizada de Cf. *Tornabenia* sp. Por el microscopio, en la cual se observa la presencia de partículas brillantes que son metales pesados.

Tabla 12
Concentración de elementos químicos del mineral plagioclasa o andesina

Elementos	Wt%
O	45.59
Zn	5.62
Al	15.39
Si	28.22
Ca	5.19

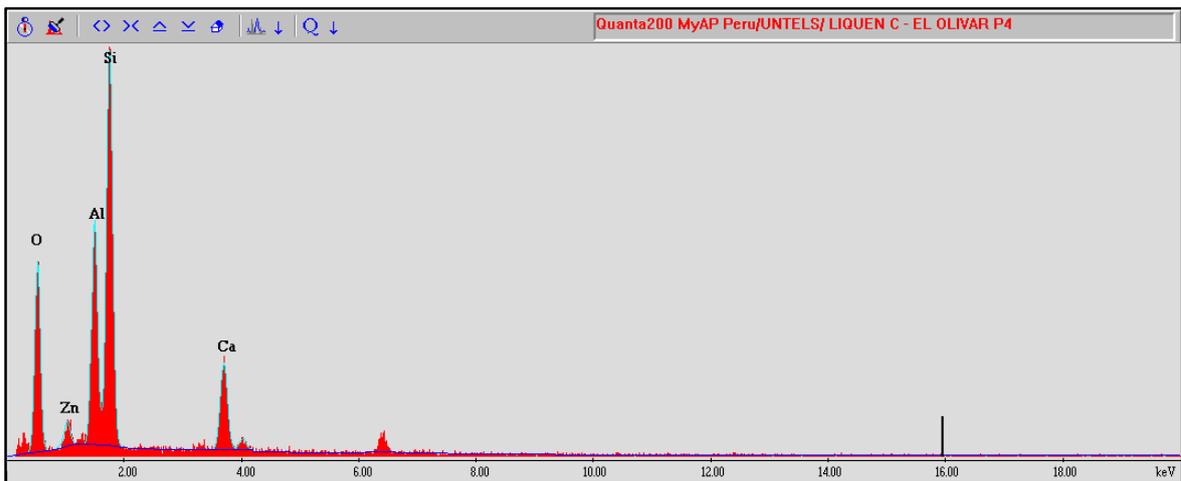


Figura 25. Espectroscopía de energía dispersa (EDS) del mineral plagioclasa o andesina analizada de la muestra C.

En la Figura 25 y Tabla 12 se observó el análisis del mineral plagioclasa o probablemente andesina realizado por el microscopio electrónico de barrido ambiental (MEBA). Este mineral tiene el tamaño aproximado de 10 Um, siendo una partícula respirable y generar serios problemas respiratorios. En el Figura 25 se observa los picos de concentración de Oxígeno, Zinc, Aluminio, Silicio y Calcio, por otro lado, en la Tabla 12 se evidencia el porcentaje de estos elementos concluyendo que probablemente sea la mineral plagioclasa o quizá andesina. Por el contenido de Aluminio y Zinc en la composición de esta partícula, es probable que su presencia esté influenciada por la actividad del parque automotor presente en el área de estudio.

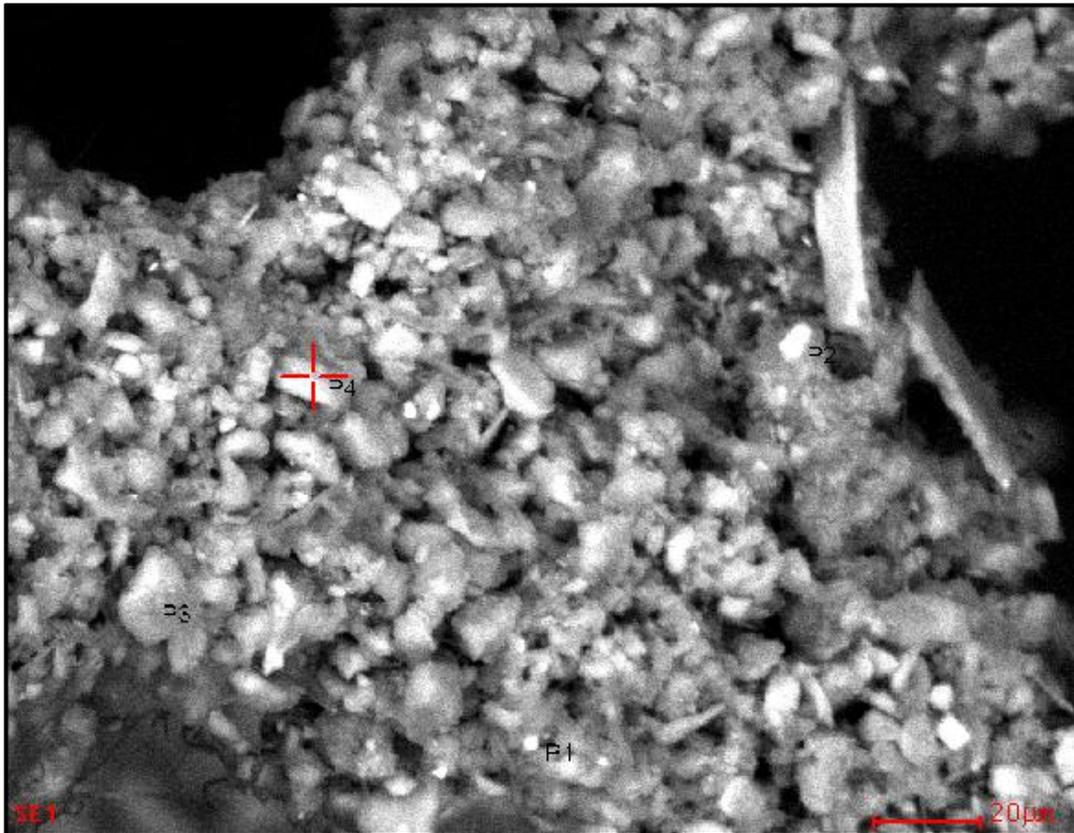


Figura 26. Partícula de plagioclasa o andesina en la muestra C.

En la Figura 26 muestra la presencia de partículas brillantes en la estructura del líquen, evidenciando la probabilidad de partículas metálicas.

Tabla 13
Concentración de elementos químicos del mineral clorita

Elementos	Wt%
O	48.02
Mg	5.34
Al	5.96
Si	23.67
Ca	6.89
Fe	10.12

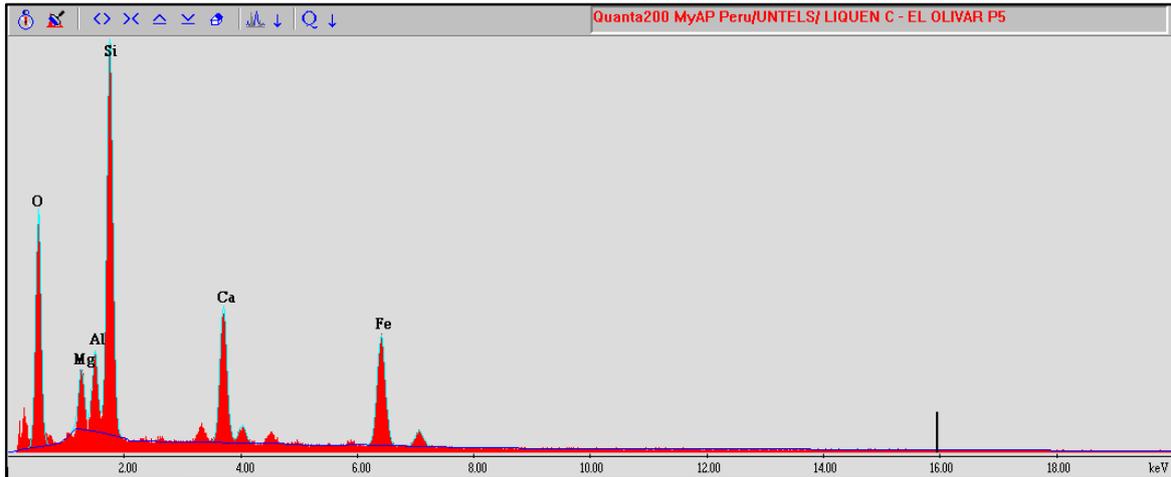


Figura 27. Espectroscopía de energía dispersa (EDS) de la mineral clorita analizada de la muestra C.

En la Figura 27 y Tabla 13 se evidenció la presencia de la mineral clorita. Este mineral tiene un tamaño aproximado de 10 Um, reiterándose el efecto dañino al pulmón. En el Figura 27 se observó los picos de concentración de Oxígeno, Magnesio, Aluminio, Silicio, Calcio y Hierro, por otro lado, en la Tabla 13 se observó el peso porcentaje (Wt%) de estos elementos concluyendo que es la mineral clorita. Debido al contenido de Hierro y Aluminio que presenta esta partícula, es probable que su presencia esté influenciada por la presencia de vehículos.

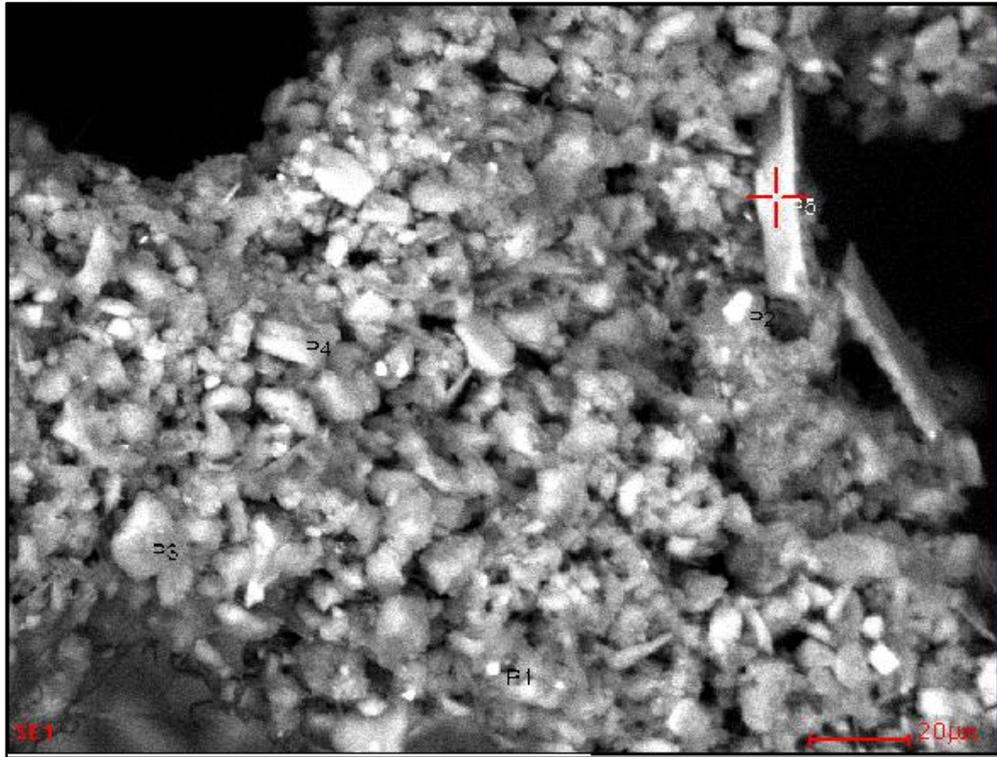


Figura 28. Partícula de clorita hallada en la muestra C.

En la Figura 28 muestra la presencia de partículas brillantes en la superficie del talo de Cf. *Tornabenia* sp. Evidenciando la probabilidad de material particulado de origen metálico o mineralógico.

Tabla 14

Concentración de elementos químicos del mineral biotita

Elementos	Wt%
O	47.54
Mg	5.36
Al	9
Si	20.74
K	3.93
Ti	2.13
Fe	11.29

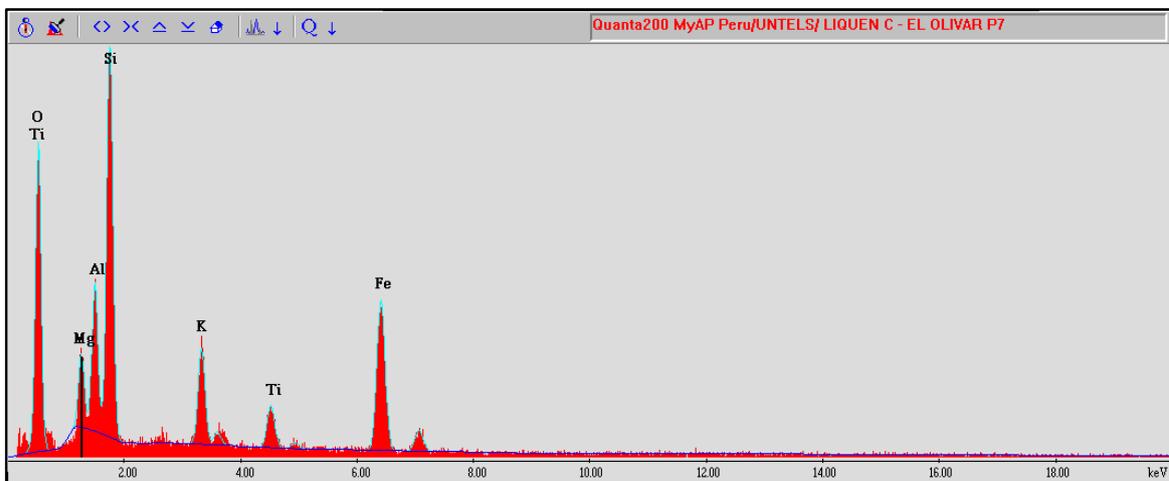


Figura 29. Espectroscopía de energía dispersa (EDS) de la mineral biotita analizada de la muestra C.

En la Figura 29 y Tabla 14 se evidenció la presencia de la mineral biotita. Este mineral tiene un tamaño aproximado de 10 Um, reiterándose el efecto dañino al pulmón. En el Figura 29 se observó los picos de concentración de Oxígeno, Magnesio, Aluminio, Silicio, Hierro y Calcio, por otro lado, en la Tabla 14 se observó el peso porcentaje (Wt%) de estos elementos concluyendo que es la mineral clorita. Debido al contenido de Hierro y Aluminio que presenta esta partícula, es probable que su presencia esté influenciada por la presencia de vehículos.

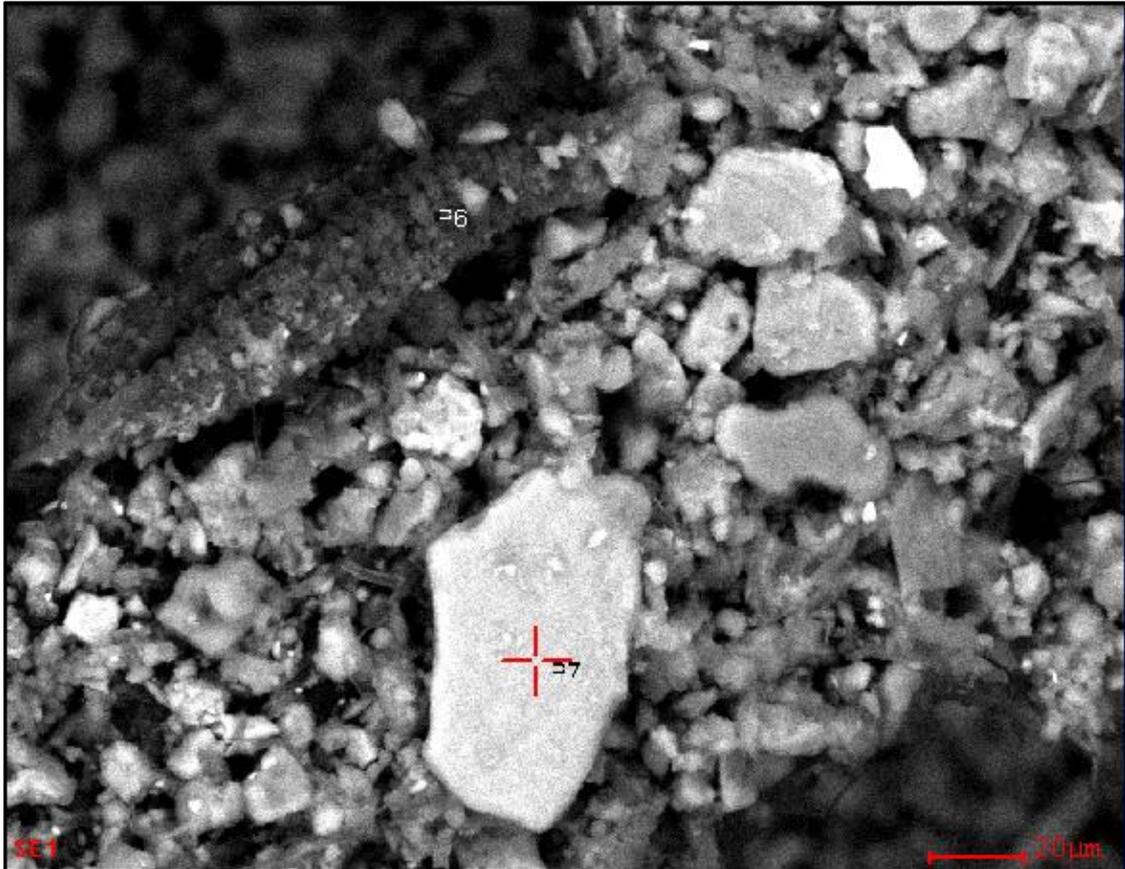


Figura 30. Partícula de biotita en la muestra C.

En la Figura 30 muestra la presencia de partículas brillantes en la superficie del talo del liquen, evidenciando la presencia de partículas metálicas.

Tabla 15

Concentración de elementos químicos de la mineral barita con silicato

Elementos	Wt%
C	38.04
O	24.38
Al	2.75
Si	8.85
S	3.8
K	0.47
Ca	0.94
Ba	19.33
Fe	1.45

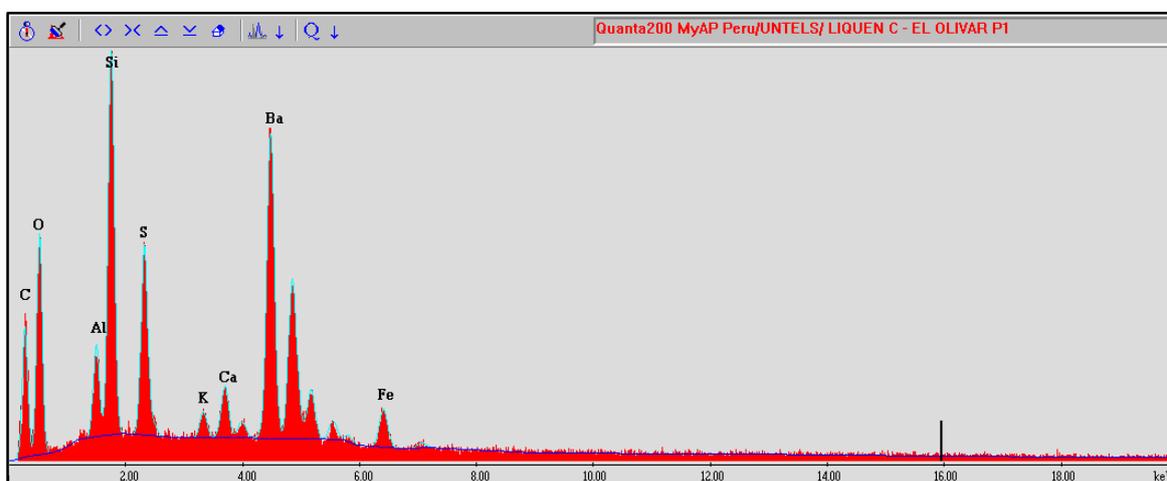


Figura 31. Espectroscopía de energía dispersa (EDS) de barita con silicato analizada de la muestra C.

En la Figura 30 y Tabla 15 se evidenció la presencia de la mineral barita con silicato. Estos minerales tienen un tamaño aproximado de 10 μm . En la Figura 30 se observó los picos de concentración de Carbono, Oxígeno, Aluminio, Silicio, Azufre, Potasio, Calcio, Hierro y Bario, por otro lado, en la Tabla 15 se observó el peso porcentaje (Wt%) de estos elementos concluyendo que son los minerales Barita y Silicato. Se observó la alta concentración de bario, además de la presencia de Hierro, esto probablemente se debe a la actividad de parque automotor.

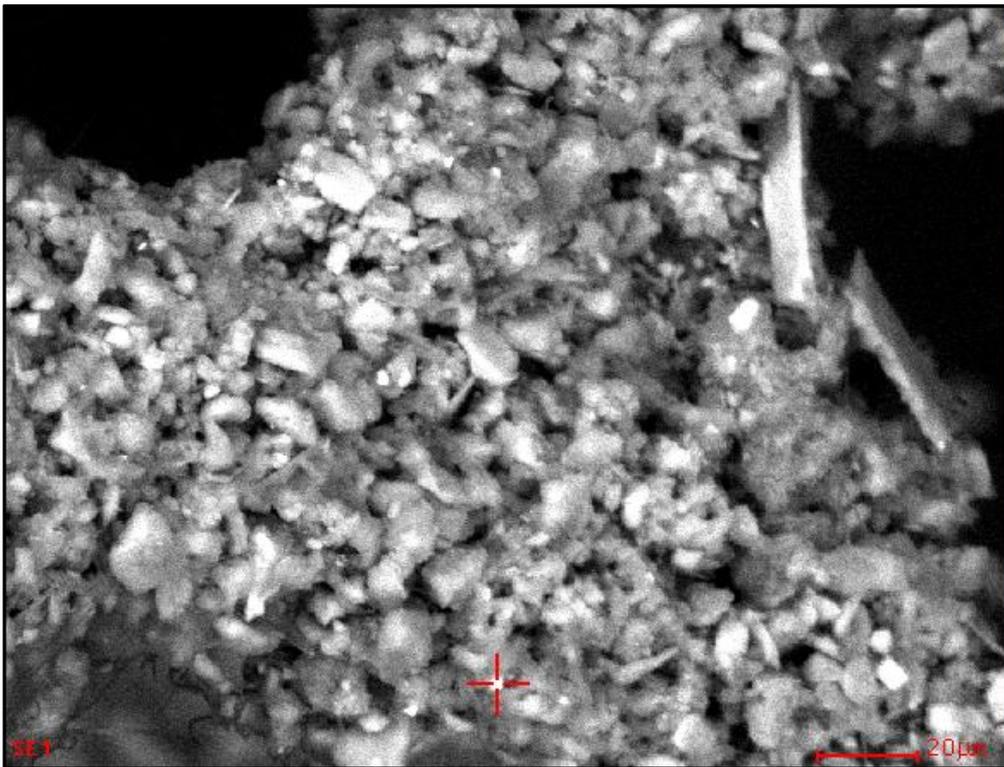


Figura 32. Partícula de barita con silicato hallada en la muestra C.

En la Figura 32 muestra la presencia de partículas brillantes en el talo del liquen Cf. *Tornabenia* sp. Demostrando la presencia de partículas metálicas.

Tabla 16

Concentración de elementos químicos de la mineral goethita con silicato

Elementos	Wt%
C	29.21
O	41.2
As	1.35
Al	2.58
Si	6.51
S	0.31
K	0.38
Ca	1.72
Fe	16.73

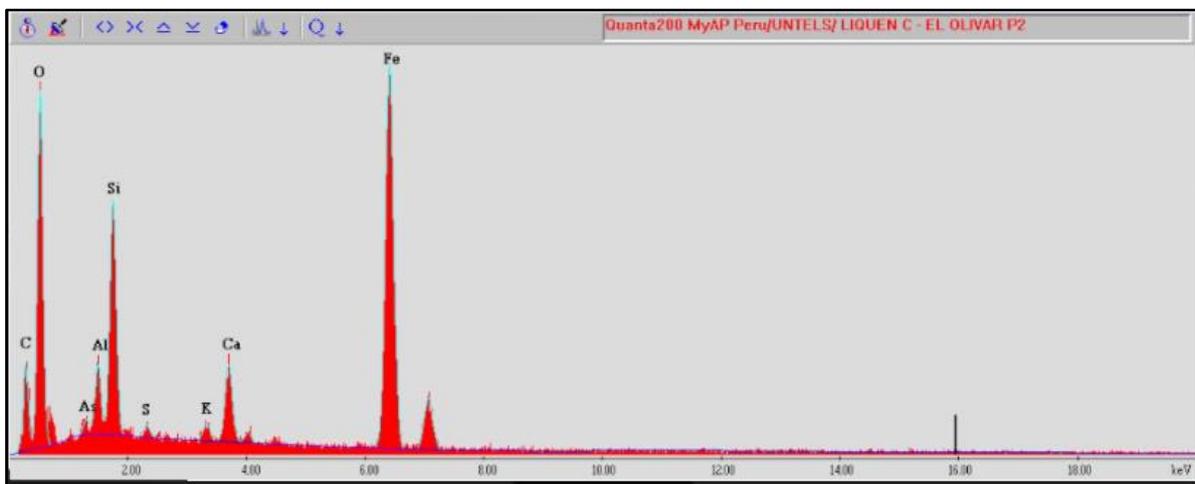


Figura 33. Espectroscopia de energía dispersa (EDS) de la mineral goethita con silicato analizada de la muestra C.

En la Figura 33 y Tabla 16 se evidenció la presencia de la mineral goethita con silicato. En el Figura 33 se observó los picos de concentración de Carbono, Oxígeno, Arsénico, Aluminio, Silicio, Azufre, Potasio, Hierro y Calcio, por otro lado, en la Tabla 16 se observó el porcentaje en peso de estos elementos concluyendo que son los minerales goethita con silicato. Por tanto, se observó la presencia de metales pesados como Aluminio, Hierro y Arsénico, este último no se presentó en las muestras de *Rocella gracilis* de Villa el Salvador y San Isidro.

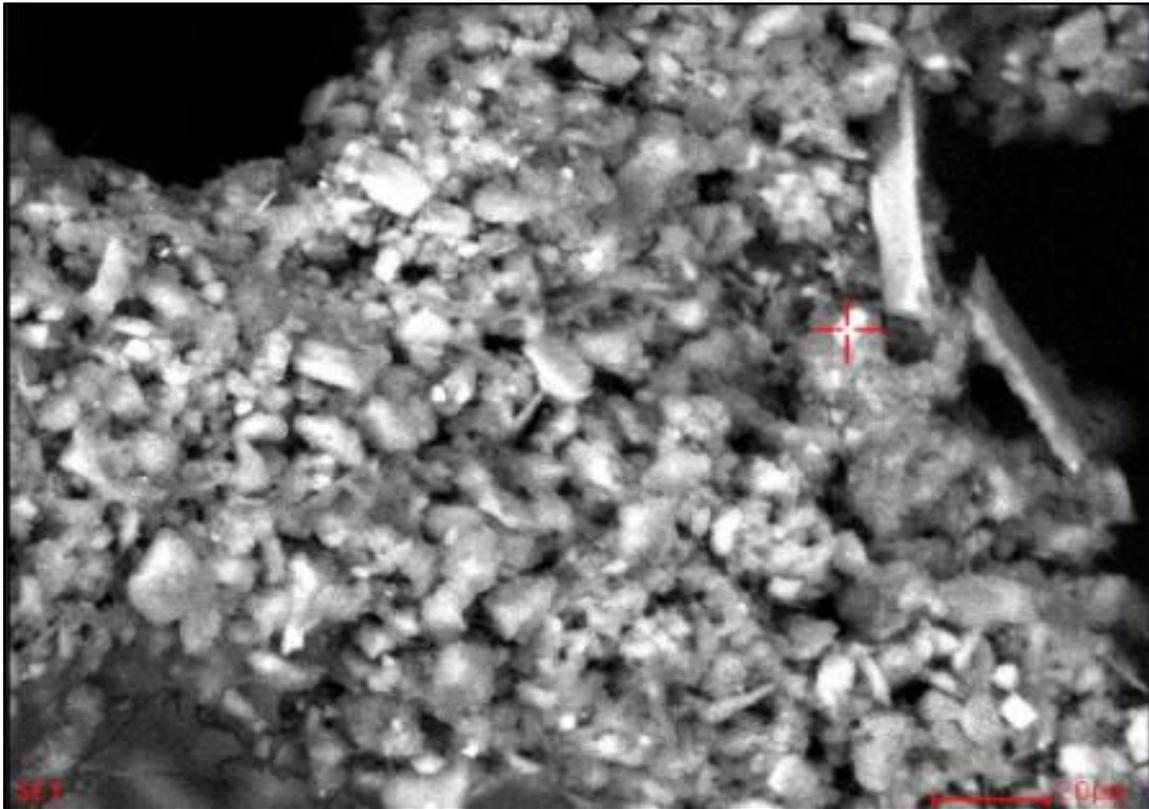


Figura 34. Partícula de goethita con silicato hallada en la muestra C

En la Figura 34 muestra la presencia de partículas brillantes en el talo del liquen Cf. *Tornabenia* sp. Demostrando la presencia de metales pesados.

Tabla 17

Comparación de elementos de muestra A y B

elementos	muestra "A" Villa el Salvador	muestra "B" San Isidro
Na	x	x
Mg	x	x
Al	x	x
Si	x	x
P	x	x
S	x	x
Cl	x	x
K	x	x
Ca	x	x
Fe	x	x
Cu	x	

En la Tabla 17 se muestra la comparación de elementos de la muestra A y B. Se evidenció que la muestra A presenta presencia de cobre, a diferencia de la muestra B de San Isidro.

Tabla 18
 Comparación de elementos de muestra A y C

Elementos	Muestra "A" Villa el Salvador, <i>Roccella gracilis</i>	Muestra "C" Villa el Salvador, <i>Cf. Tornabenia sp.</i>
Na	X	X
Mg	X	X
Al	X	X
Si	X	X
P	X	
S	X	X
Cl	X	X
K	X	X
Ca	X	X
Fe	X	X
As		X
Ba		X
Ti		X
Zn		X
Cu	x	

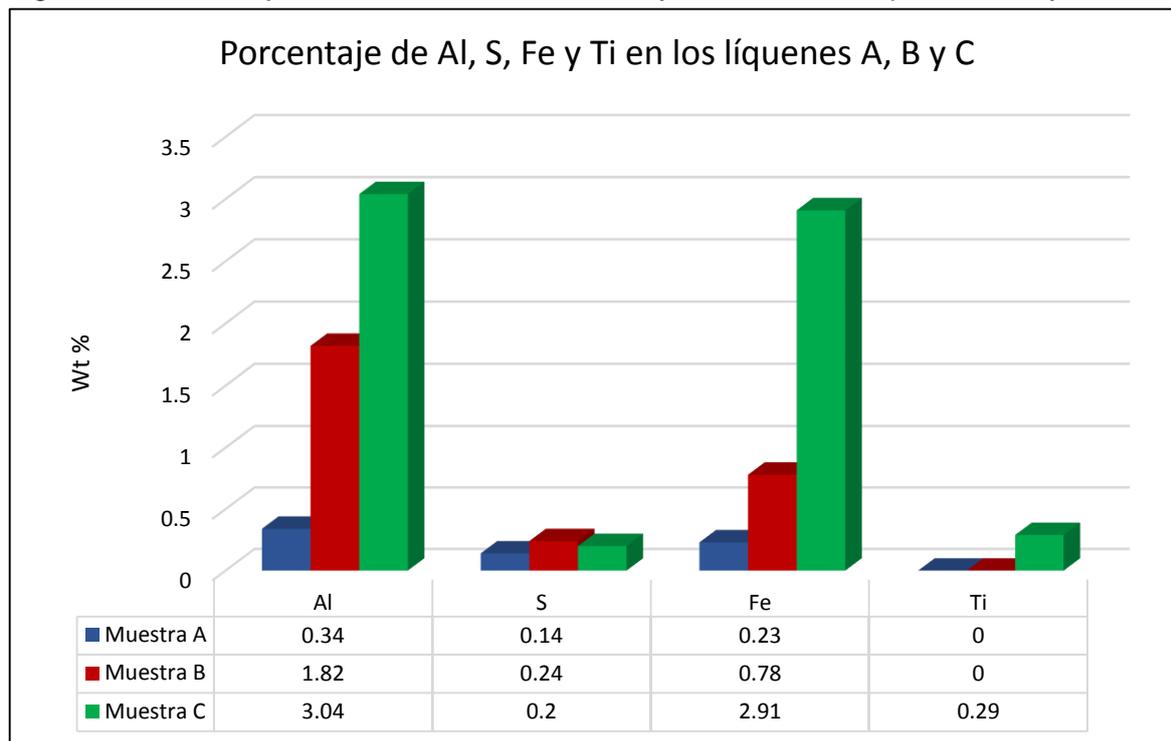
Se observa en la Tabla 18 que el líquen *Cf. Tornabenia sp.* (muestra C) acumuló mayor variedad de elementos tóxicos a diferencia de las 2 muestras de *R. gracilis* (muestra A y B). La Muestra C no acumuló cobre (Cu) como lo hizo la muestra A.

Tabla 19
 Vitalidad (color) - Mortalidad

Muestra	Inicial	Vitalidad (color)		Mortalidad
		Final		
		Mantiene	Grisáceo	
"A" VES <i>Roccella gracilis</i>	Verde oliva	X	-	-
	Verde oliva	X	-	-
	Verde oliva	X	-	-
	Verde oliva	X	-	-
	Verde oliva	X	-	-
	Verde oliva	X	-	-
	Verde oliva	-	X	X
	Verde oliva	-	X	X
"B" San Isidro <i>Roccella gracilis</i>	Verde oliva	X	-	-
	Verde oliva	X	-	-
	Verde oliva	X	-	-
	Verde oliva	X	-	-
	Verde oliva	X	-	-
	Verde oliva	X	-	-
	Verde oliva	X	-	-
"C" VES, Cf. <i>Tornabenia</i> sp.	Mostaza	-	amarillo oscuro	X
	Mostaza	-	amarillo oscuro	X
	Mostaza	-	amarillo oscuro	X
	Mostaza	-	amarillo oscuro	X
	Mostaza	-	amarillo oscuro	X
	Mostaza	-	amarillo oscuro	X
	Mostaza	-	amarillo oscuro	X
	Mostaza	-	Amarillo oscuro	X

En la Tabla 19 observamos las muestras de líquenes estudiadas en Villa el Salvador y San Isidro, mediante la cual se determina la vitalidad (color) y mortalidad de los líquenes estudiados.

Figura 35. Porcentaje de Aluminio, Azufre, Hierro y Titanio en los líquenes A, B y C.



En la muestra A, ubicada en Villa el Salvador, nos muestra el líquen *Roccella gracilis* donde no se observa presencia de Titanio(Ti) y poco porcentaje de Hierro (Fe), Azufre(S) y Aluminio(Al).

En el líquen “B” ubicada en San Isidro, nos muestra el líquen *Roccella gracilis* donde no se observa presencia de Titanio(Ti) más si presencia de Hierro(Fe), Aluminio(Al) y en poca concentración de Azufre(S).

En la muestra “C” ubicada en Villa el Salvador, nos muestra el líquen Cf. *Tornabenia* sp. Donde observamos gran porcentaje de Hierro y Aluminio, mientras que el porcentaje de Azufre (S) y Titanio (Ti) fueron bajos.

DISCUSIONES

Según Tovar y Aguinaga (1994) reportaron las siguientes especies en la ciudad de Lima: *Crysothrix* sp., *Arthonia* sp. y *Ramalina* sp; sin embargo, esta última especie reportada se corrige su nombre por *Roccella gracilis*.

En un reporte preliminar de especies en el Bosque Olivar de San Isidro se registraron mayor cantidad de especies crustosas, siendo concordante con lo mencionado por Le Blanc & De Sloover (1970) que los líquenes fruticosos son más sensibles a la contaminación, por tal motivo se registró menos especies de este biotipo en el área de estudio.

En el área de estudio del Hospital Solidaridad de Villa el Salvador no se detectó presencia líquénica, para lo cual según (Lijteroff et al., 2009) estaría vinculado a la influencia antropogénica. Considerando la zona de monitoreo activo es una condición indispensable para el desarrollo del líquen *Roccella gracilis*, ya que de acuerdo a (Tehler et al., 2009) esta especie de líquen prospera en zonas costeras.

En el desarrollo de la trasplantación de los líquenes, se replicó la orientación, altura e inclinación en su estado original, sin embargo, estos no son los únicos factores que influyen en el crecimiento de los líquenes, puesto que no se logra dar las condiciones de humedad, radiación y temperatura que también son importantes como lo menciona (Lijteroff et al., 2009).

Se realizó el análisis de microscopio electrónico de barrido ambiente en los líquenes *Roccella gracilis* y Cf. *Tornabenia* sp. Las cuales pertenecen a las familias Roccellaceae y Physciaceae respectivamente, las cuales tuvieron muestras representativas de metales pesados. De igual manera (Bedregal et al., 2009) en la investigación de metales pesados analizado a *Usnea* sp. En la ciudad de Lima en la cual se determinó los elementos siguientes: Aluminio(Al), Hierro(Fe), Cadmio(Cd), Titanio(Ti) y Zinc(Zn).

Según lo investigado por (Popova, 2019) los compuestos tóxicos que bioacumulan los líquenes varían de acuerdo a la especie, lo cual es reflejado con la capacidad de los líquenes *Roccella gracilis* y Cf. *Tornabenia* sp. Para bioacumular metales pesados.

Los metales pesados que pueden bioacumular los líquenes son variables de acuerdo a las especies según (Chiarenzelli, 1997). Como se hace visible en los metales pesados que bioacumularon los líquenes *Roccella gracilis* y Cf. *Tornabenia* sp. En esta investigación.

Culminado los ocho meses de monitoreo activo, se verificó la disminución notable de vitalidad del líquen Cf. *Tornabenia* sp. En comparación con el *Roccella gracilis* lo cual se debe a la tolerancia que presenta cada organismo a los compuestos tóxicos (Bosch-Roig et al., 2013).

De acuerdo a Chaparro et al. (2010) el compuesto Cobre(Cu), Hierro(Fe), Zinc(Zn), son derivados del parque automotor considerando que el proveniente del desgaste del freno el cual genera los siguientes compuestos tóxicos: Bario(Ba), Hierro(Fe), Aluminio(Al) entre otros, lo cual la mayoría de estos elementos coinciden con los registrados en el presente estudio.

En el trabajo de Calderón (2019) y Ferry (2018) obtuvieron resultados representativos en el análisis de metales pesados con el microscopio electrónico de barrido ambiental, lo mismo ocurre con el presente trabajo en el cual la principal fuente de contaminación es el parque automotor.

CONCLUSIONES

Los líquenes *Roccella gracilis* y Cf. *Tornabenia* sp. Se determinaron como bioindicadores de la calidad del aire, ya que en su estructura presentaron similitud en compuestos tóxicos, los cuales son perjudiciales para los pobladores de las zonas estudiadas en los distritos de San Isidro - bosque el olivar por ser monumento nacional y Villa el Salvador - hospital solidaridad por concurrencia de personas vulnerables.

Los líquenes *Roccella gracilis* y Cf. *Tornabenia* sp. Los cuales presentaron poca pérdida de color y se observó la presencia de partículas provenientes de los minerales silicato, yeso, ortoclasa, oligoclasa, calcita, metales pesados, clorita, biotita, barita con silicato y goethita con silicato por análisis del (MEBA)

a base de estas partículas se determinó los siguientes compuestos tóxicos: Carbono, Oxígeno, Sodio, Magnesio, Aluminio, Silicio, Azufre, Fosforo, Cloro, Potasio, Hierro y Calcio en ambas muestras, con la diferencia que en el líquen "A" ubicado en Villa el Salvador se detectó cobre en la estructura del líquen.

Las características iniciales y finales que presentaron los ocho líquenes *Roccella gracilis* en Villa el Salvador, fueron pérdida del color verdoso, llevándolo a un color más amarillento oscuro en seis líquenes y dos líquenes llevándolos a tomar un gris oscuro, mientras que los ocho líquenes Cf. *Tornabenia* sp. Ubicados en Villa el Salvador tomaron un color oscuro, el cual indica la poca vitalidad del líquen. Por lo cual se determina que el líquen Cf. *Tornabenia* sp. Son más sensible a los compuestos tóxicos. Mientras que los ocho líquenes *Roccella gracilis* ubicados en San Isidro - bosque el Olivar, preservaron su color verdoso inicial.

Al examinar los líquenes por medio del microscopio electrónico de barrido ambiental (MEBA) se determinó los siguientes compuestos tóxicos para el líquen "B", de San Isidro: Sodio, Magnesio, Aluminio, Silicio, Fosforo, Azufre, Cloro, Potasio, Hierro y Calcio Mientras en la muestra del líquen "A" se encontró: Sodio, Magnesio, Aluminio, Silicio, Fosforo, Azufre, Cloro, Potasio, Calcio, Hierro y Cobre,

siendo el Cobre el elemento adicional encontrado en Villa el Salvador, por otra parte, el líquen "C", Cf. *Tornabenia* sp. En Villa el Salvador bioacumuló los siguientes compuestos tóxicos: Sodio, Magnesio, Aluminio, Silicio, Fósforo, Azufre, Cloro, Potasio, Calcio, Hierro, Arsénico, Bario, Titanio y Zinc, siendo estos últimos cuatro elementos encontrados solo en el Cf. *Tornabenia* sp. Para lo cual estudios realizados por Chaparro (2010) demostraron que el compuesto Bario (Ba), el cual se usa como supresor de humo en los combustibles diésel, Zinc, el cual se usa para minimizar el efecto dañino de los complejos residuales y Titanio, el cual es un compuesto relevante en la contaminación por el parque automotor.

RECOMENDACIONES

Que las futuras generaciones investiguen fuentes potenciales de contaminación atmosférica usando líquenes como bioindicadores de calidad de aire.

Ampliar la información en el Perú sobre la importancia de los líquenes y su uso como bioindicadores, en zonas urbanas, mineras, rurales, etc.

Se recomienda a la municipalidad no dar permisos de funcionamiento a empresas que laboran muy cerca de centros de salud tales como grifos, reparaciones de autos, lubricantes y lavaderos de autos.

Amplificar este trabajo de investigación como estrategia para determinar la calidad de aire mediante monitoreo biótico en diferentes distritos de la capital.

Complementar los estudios realizados con líquenes, agregando información de los equipos hi vol y tren de muestreo para mantener un procedimiento técnico para mediciones normalizadas.

BIBLIOGRAFIA

- Barreno, E. y Pérez, S. (2003). *Líquenes de la reserva natural integral de muniellos, Asturias*. Oviedo, España: KRK ediciones Álvarez Lorenzana.
- Ambrosio, M y Bringas, B. (2017). *Evaluación de líquenes como bioindicadores de contaminación atmosférica de origen vehicular en tres zonas del distrito de Cajamarca en el año 2017* (tesis de pregrado). Universidad privada Antonio Guillermo Urrelo, Perú.
- Enzemberg, H. M. 2000. Los líquenes “el más lento telegrama”. (Recuperado de <http://ri.ues.edu.sv/8748/1/19200598.pdf>). <consulta: 10 de enero del 2017>.
- Broad, K. 1989. Lichens in Southern Woodlands. London, HMSO Books.
- Redon, J. 1987. Líquenes Antárticos. *Instituto Antártico Chileno*. 123, pág.
- Rivera M. (2002). *Los líquenes*. Puerto rico: Centro eco-educativo de puerto Rico.
- Bedregal, P., Torres, B.; Mendoza, P., Ubillús, M., Hurtado, J., Maza, I. y Espinoza, R. (2005). Uso de *Usnea* sp. y *Tillandsia capillaris*, como bioindicadores de la contaminación ambiental en la ciudad de Lima, Perú. *Departamento de química Instituto Peruano de Energía Nuclear RACSO*. 151-156 pág.
- Bernasconi, E., De Venito, I.E., Martínez, L. D. y Raba, J. (2000). Liqueen *Usnea* como bioindicador de metales pesados. Determinación por ICP-AES acoplado con nebulizador ultrasónico. *Ars Pharmaceutica*, 41(3), 249-257 pág.

- Loppi S. & Pirintsos S.A., (2003). Epiphytic Lichens as sentinels for heavy metal pollution at forest ecosystems (central Italy). *Environmental Pollution*. 121(3): 327-332. pág.
- Lijteroff R., Lima, L., & Prieri, B. (2009). Uso de líquenes como bioindicadores de contaminación atmosférica en la ciudad de San Luis, Argentina. *Rev. Int. Contam. Ambient.* 25(2), 111-120 pág.
- Fernández, J. (2007). Estudio de líquenes para conocer el efecto del cambio climático. Recuperado <http://www.ucm.es/info/ucmp/cont/descargas/prensa/tribuna1086.pdf>.
- Valencia, M. C & Ceballos J. A. (2002). Hongos liquenizados. *Editorial. El Malpensante S.A*, 219 pág.
- Bustos, C. (2004). *Aplicación de modelos de dispersión atmosférica en la evaluación de impacto ambiental*. (Tesis de magister). Universidad de Chile, Santiago de Chile.
- Hawksworth D. L., Iturriaga, T. & Crespo A. (2005). Líquenes como bioindicadores inmediatos de contaminación y cambios medio-ambientales en los trópicos. *Revista Iberoamericana de Micología*. 22(71), 72 - 82pág.
- Méndez, O. I & Fournier, L. A. (1980). Los líquenes como indicadores de la contaminación atmosférica en el área metropolitana de San Jose, Costa Rica. *En Revista Biología Tropical*. 28(1), 31-39 pág.

Conti, M. y Cecchetti G. (2001). lichens as bioindicators of air pollution assessment. Environmental pollution. *Biological Monitoring*, 114(7), 471 -492 pag.

Chapman, A. (2009). Numbers of Living Species in Australia and the World. Australia: Australian Biodiversity Information Services.

Steubing, L., Godoy, R., y Alberdi, M. (2001). *Métodos de Ecología Vegetal*. Universidad Austral de Chile, Santiago de Chile: editorial universitaria.

Rubio, C., Fernandez, E., Hidalgo, M., y Quilhot, W. (2002). Effect of solar UV-B radiation in the accumulation of rhizocarpic acid in a lichen species from alpine zones. *Bol. Soc. Chil. Quím* Sitio web: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0366-16442002000100012.

Ariño, V. X., Azuaya, G. T., & Gómez B. A. (1997). Els líquens com a bioindicadors de la qualitat atmosfèrica: el cas de la vall de Fumanya. *Ofici de naturalista*, (65), 5-13.

Anze, R., Franken, M., Zavalla, M., Renee, M., Zeballos, G., Angeles, M., Canseco, A., Rocha, A., Hugo, V y Granado, S. (2007). Bioindicadores en la detección de la contaminación atmosférica, en Bolivia. La Paz, Bolivia: REDESMA.

Purvis, O. (1996). Interactions of lichens with metals. *Sci. Progr*, 283-309 pág.

Sharnoff, S. (2014). Guía de campo de los líquenes de California: Yale University press.

De Nevers, N. (2008). Ingeniería de control de la contaminación del aire. México: McGraw-Hill Interamericana.

Dirección General de Salud Ambiental (2011). Estudio de Saturación Lima Metropolitana y Callao. Recuperado de http://www.digesa.minsa.gob.pe/depa/informes_tecnicos/Estudio%20de%20Saturacion%202012.pdf

Canseco, A., Anze, R. & Franken, M. (2006). Comunidades liquenicas: Indicadores de la calidad del aire en la ciudad de la paz, Bolivia, *acta nova* 3(2), 286-307.

Cubas, P., Nuñez, J., Crespo, A y Divakar, P. (2010). Líquenes: que son y su uso como bioindicadores. GEMM / Proyecto de innovación, 123.

Ferry, G. (2018). *Calidad del aire mediante la liquenobiota saxicolos en la zona arqueológica de Teatino-Reserva Nacional Lomas de Lachay, Huacho-Lima-Perú, 2017* (tesis de pregrado). Universidad nacional de la Amazonia Peruana, Perú.

Giacobote, G. G. y Cabrera, S. E. (2009). *Líquenes como bioindicadores de calidad de aire*. Argentina: buenos aires ciudad.

Morales, E., Lucking, R. y Anze, G. (2009). *Una introducción al estudio de los líquenes de Bolivia. Cochabamba, Bolivia*: Universidad Católica Boliviana.

Calderón, A. (2019). Liquen *Roccella gracilis* Bory como bioindicador de la calidad del aire en el parque campo de marte, Jesús maría, lima (tesis de pregrado). Universidad nacional tecnológica de lima sur, lima, Perú.

Organización mundial de la salud (2018). Nueve de cada diez personas de todo el mundo respira aire contaminado: recuperado de <https://www.who.int/es/news/item/02-05-2018-9-out-of-10-people-worldwide-breathe-polluted-air-but-more-countries-are-taking-action>.

Rodríguez, J. M., Estrabou, C., Fenoglio, R. Robbiati, F., Salas, M. y Quiroga, F. (2009). Recuperación post-fuego de la comunidad de líquenes epífitos en la provincia de Córdoba, argentina. *Acta Botánica Brasilia*, 23(3): 854-859 pág.

Mistry, J. (1998). Corticolous lichens as potential bioindicators of the fire history: a study in the cerrado of the distrito federal, central brazil. *Journal of biogeography*, 25(3), 409-441.

Ramírez, A. M. (2018). Trabajo científico del II congreso nacional de liquenología del Perú.

Guerrero, J., Patarroyo, N. y Rodríguez, H. (2006). La importancia del uso de los indicadores biológicos en los estudios de impacto ambiental (para optar el título de especialista en ingeniería ambiental). Universidad nacional de Santander, Colombia.

Lavornia, J., Kristensen, J., y Rosato, V. (2015). Clave de identificación de líquenes saxícolas del paisaje protegido “la poligonal” (sistema de Tailandia, buenos aires). *Rev. Mus. Argentino cienc. Nat*, 18(2), 107-115 pág.

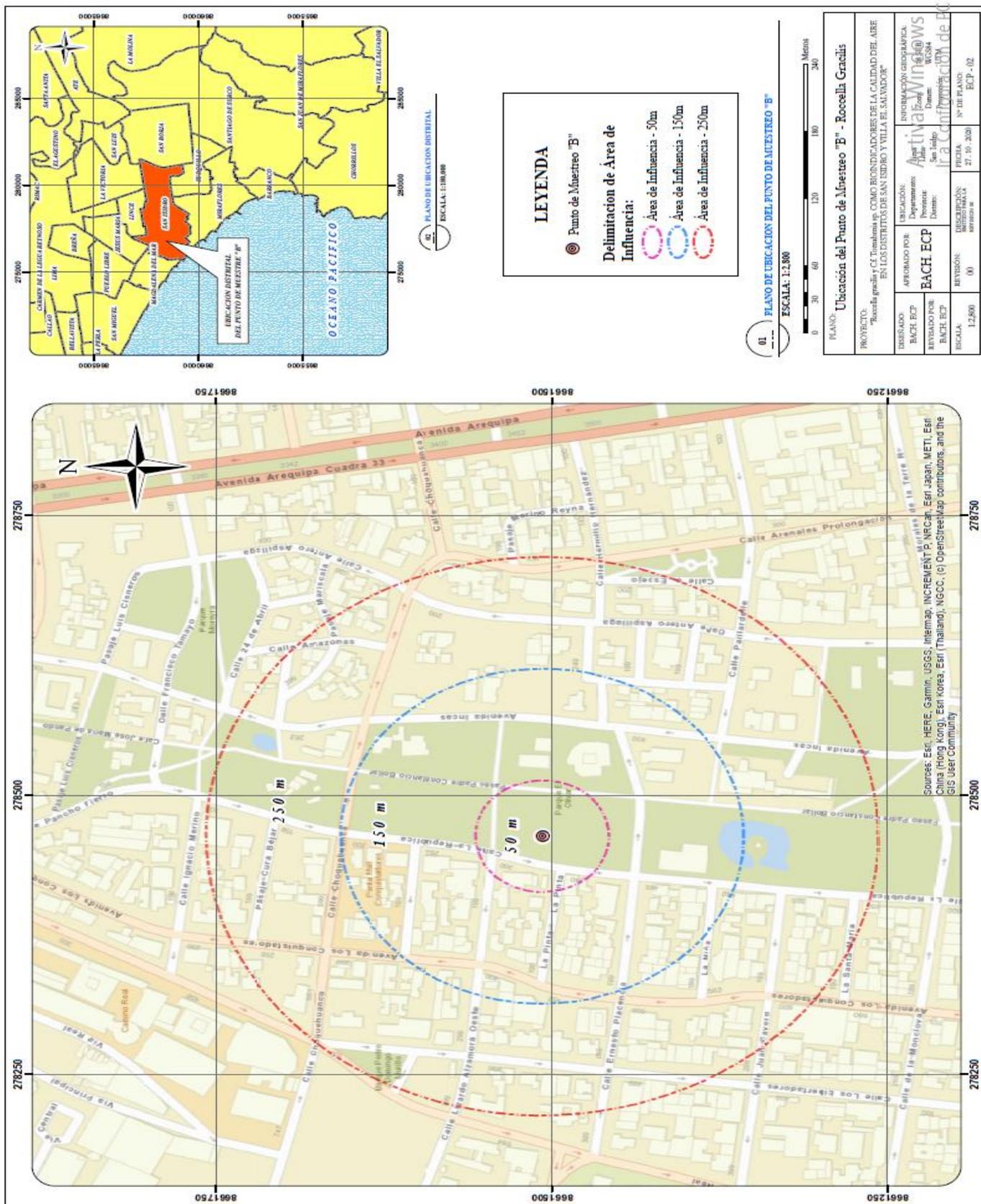
Bosch-Roig, P., Barca, D., Crisci, G. M., & Lalli, C. (2013). Lichens as bioindicators of atmospheric heavy metal deposition in Valencia, Spain. *Journal of Atmospheric Chemistry*, 70(4), 373–388. <https://doi.org/10.1007/s10874-013-9273-6>

Chiarenzelli'. (1997). heavy metals in lichens, southern district of keewatin, northwest territories, Canada. *Chemosyhrre*, 35(9), 1967–1985.

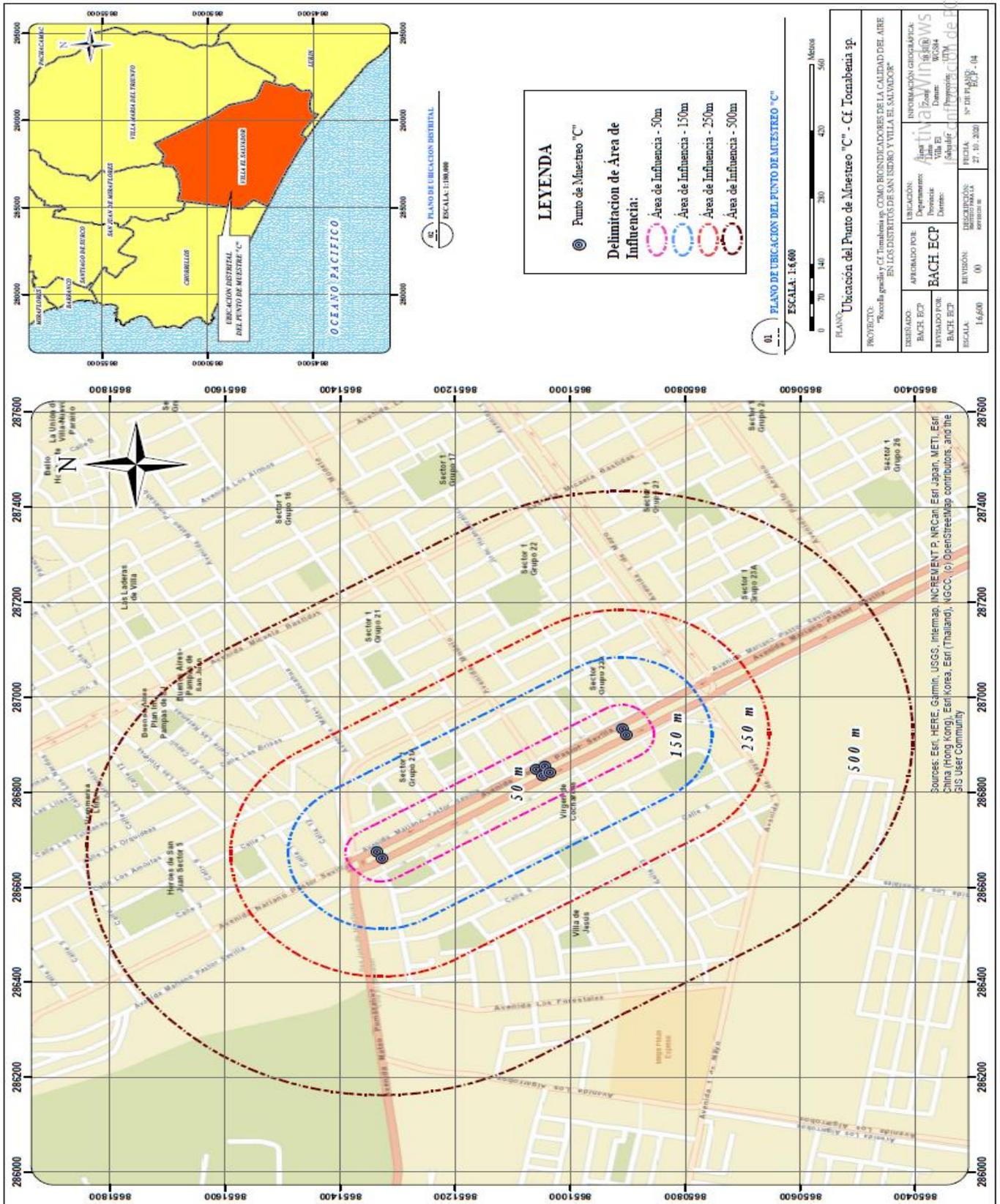
Popova, E. (2019). Heavy metals in lichens and their substrata of roadside phytocenoses in the south of the Tyumen region, Russia. *Journal of Physics: Conference Series*, 1145(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1145/1/012025>

Roig, P. B., Barca, D., Crisci, G. m., & Lalli, C. (2010). Estudio sobre los líquenes como bioindicadores del contenido de metales pesados en el entorno de la iglesia de los Santos Juanes de Valencia. *FR Estudios de Conservacao e Restauo*, 2, 21 – 37

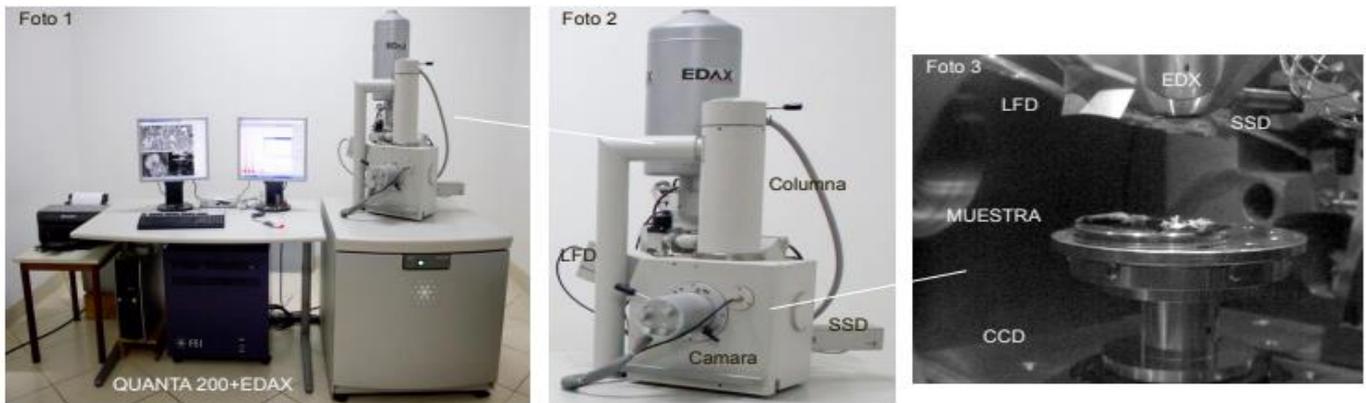
Anexo 3. Delimitación del área de influencia de la muestra del líquen B – San Isidro.



Anexo 4. Delimitación del área de influencia de la muestra del líquen C - Villa el Salvador.



Anexo 6. Microscopio electrónico de barrido Quanta 200 con analizador de rayos X.



Introducción

Las tres muestras de líquenes, fueron proporcionadas por el Edgar Chapoñan Palacios de la Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur, las cuales fueron analizadas en el Microscopio Electrónico de Barrido Quanta 200 con analizador de rayos-X dispersiva (EDX 4i), marca FEI Company de MyAP SAC (Fotos 1, 2 y 3). La foto 3 es la parte interna de la cámara donde se observa a la muestra con los detectores de electrones secundarios en bajo vacío (LFD), electrones retrodispersados (SSD), el analizador de energía de rayos-X dispersiva (EDX) y la cámara infraroja CCD.

Para los análisis areales y puntuales en diferentes áreas de las muestras, se usaron los detectores de electrones secundarios (LFD), retrodispersados (SSD) y MIX (sobreposición de los electrones secundarios y retrodispersados) en Bajo Vacío (LV); cabe indicar que este es un análisis elemental no destructivo y repetitivo (simultáneamente analiza 85 elementos comprendidos entre el boro y el uranio), que fue efectuado para determinar la morfología de los líquenes de diferentes áreas y determinar los diferentes elementos presentes en los líquenes. Los valores son dados en porcentaje de peso atómico de cada elemento

Anexo 7. Medición de líquenes para la extracción.



Anexo 8. Materiales para extracción de líquenes



Anexo 9. Extracción del líquen.



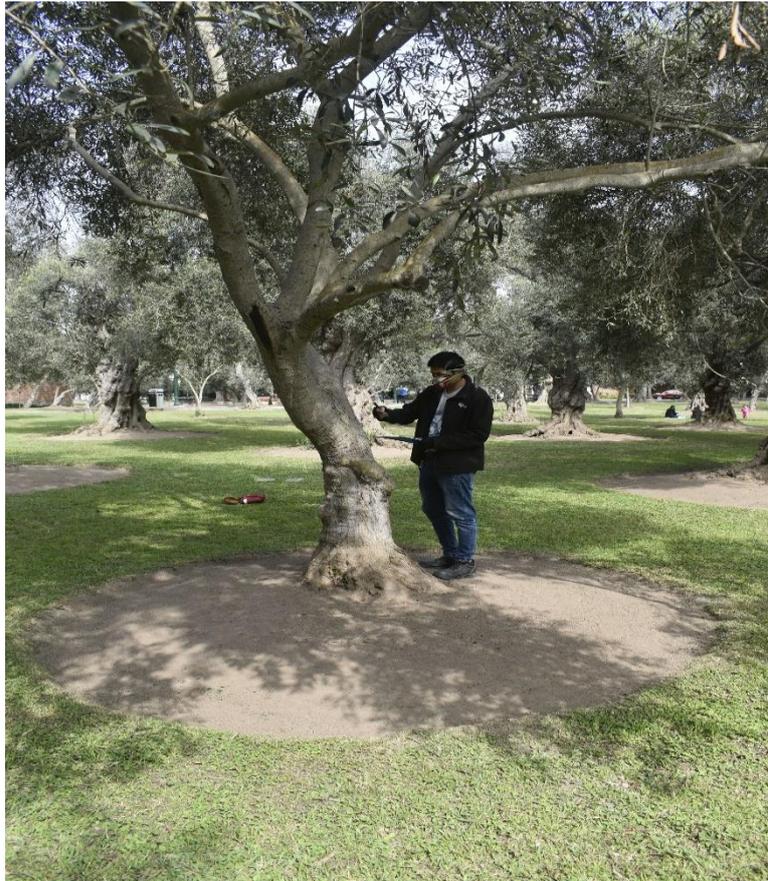
Anexo 10. Supervisión de extracción liquénica San Isidro – Bosque el Olivar.



Anexo 11. Medición de la altura del liquen.



Anexo 12. Anotaciones en la ficha de campo.



Anexo 13. Lomas del paraíso – Villa María del Triunfo



Anexo 14. Líquenes Cf. *Tornabenia* sp.



Anexo 15. Líquenes *Roccella gracilis*

