

**UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**“LIQUEN *Roccella gracilis* Bory COMO BIOINDICADOR DE LA CALIDAD DEL AIRE EN EL PARQUE CAMPO MARTE, JESÚS MARÍA, LIMA”**

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL**  
Para optar el Título Profesional de

**INGENIERO AMBIENTAL**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER**

**CALDERON CHIPAYO, ANTONY GASPAR**

**Villa El Salvador**  
**2019**

## **AGRADECIMIENTO**

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

Un agradecimiento especial a mi asesor Vértiz Osoreo Jacinto Joaquín, por haber guiado este trabajo y brindado su apoyo.

Deseo expresar mi más sincero agradecimiento a Ángel Ramírez Ordaya, biólogo especialista en líquenes de la Asociación Proyectos Ecológicos Perú, quien, con su apoyo incondicional y enseñanzas, contribuyó en la realización de la presente investigación, brindándome sus sugerencias, sus conocimientos y motivación, tanto en el aspecto académico como profesional.

Un agradecimiento especial a Romina Solier que brindó su ayuda constante en la realización de la presente investigación y en el trabajo de campo, asimismo por todo su apoyo en el camino a convertirme en un profesional.

## **DEDICATORIA**

A mi padre por haber confiado en mí. A mi madre por su sacrificio y todo su amor.

A mis queridos hermanos, sobrinos, primos y tíos que ven en mí fuente de ejemplo.

A mis mascotas que son parte de mi familia: Oso, Roccella, Ébolet y mis gatos por dejar mi vida llena de huellas imborrables.

## ÍNDICE

INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.1. Descripción de la realidad problemática .....	3
1.2. Justificación del problema .....	3
1.3. Delimitación del proyecto .....	4
1.3.1. Delimitación teórica.....	4
1.3.2. Delimitación temporal .....	5
1.3.3. Delimitación espacial .....	5
1.4. Formulación del problema .....	6
1.4.1. Problema general .....	6
1.4.2. Problemas específicos.....	6
1.5. Objetivos .....	6
1.5.1. Objetivo general.....	6
1.5.2. Objetivos específicos .....	6
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO.....	7
2.1. Antecedentes .....	7
2.2. Bases teóricas.....	11
2.2.1. Liquen.....	11
2.2.2. Asociación simbiótica.....	12
2.2.3. Estructuras reproductoras.....	13
2.2.4. Formas de crecimiento .....	14
2.2.5. Factores ecológicos que influyen en el crecimiento del liquen .....	15
2.2.6. Líquenes como bioindicadores de calidad del aire.....	15
2.2.7. Índice de Pureza Atmosférica .....	17
2.2.8. Liquen <i>Roccella gracilis</i> Bory .....	17
2.2.9. Contaminación del aire .....	19
2.2.10. Metales pesados.....	19
2.2.11. Marco normativo .....	20
2.3. Definición de términos básicos .....	20
CAPÍTULO III DESARROLLO DEL TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL .....	22
3.1. Materiales y objeto de estudio .....	22
3.1.1. Materiales .....	22
3.1.2. Objeto de estudio.....	23

3.2. Metodología .....	25
3.3. Resultados .....	33
3.3.1. Líquenes.....	33
3.3.2. Árboles .....	34
3.3.3. Forófitos y líquenes.....	40
3.3.4. Ecuación de la curva de crecimiento del liquen A .....	44
3.3.5. Ecuación de la curva de crecimiento del liquen B .....	45
3.3.6. Determinación de metales pesados .....	46
3.3.7. Factores meteorológicos.....	59
DISCUSIÓN .....	65
CONCLUSIONES .....	68
RECOMENDACIONES .....	70
BIBLIOGRAFÍA .....	71
ANEXOS.....	77

## LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la zona de estudio.....	5
Figura 2. Liquen folioso ( <i>Punctelia</i> sp.) .....	12
Figura 3. Liquen <i>Roccella gracilis</i> Bory, se observa la presencia de soledios (60x). .....	13
Figura 4. Zonas seleccionadas (Z1, Z2, Z3, Z4 y Z5) con presencia de forófitos y líquenes de <i>Roccella gracilis</i> Bory en las cuales se realizó el seguimiento de su crecimiento.....	23
Figura 5. Ubicación de los forófitos evaluados. ....	25
Figura 6. División del área de estudio en subáreas y por zonas.....	26
Figura 7. Fotografía del liquen <i>Roccella gracilis</i> Bory con escala milimetrada.....	27
Figura 8. Medidas de la grilla liquenológica.....	29
Figura 9. a) Microscopio electrónico de barrido ambiental. (b) Análisis de la muestra. (c) Visualización en donde se detalla los tres tipos de imágenes. (d) Gráficos EDX Dispersión de energía por rayos X. ....	32
Figura 10. Líquenes del parque Campo Marte, (a) cf. <i>Arthonia</i> sp., (b) <i>Roccella gracilis</i> Bory, (c) <i>Graphis</i> sp. y (d) cf. <i>Lecidea</i> sp. ....	34
Figura 11. Mapa de distribución espacial de las especies arbóreas del Subárea 1. .....	38
Figura 12. Mapa de distribución espacial de las especies arbóreas del Subárea 2. .....	39
Figura 13. Abundancia (cantidad de individuos) de líquenes en cada forófito evaluado. ....	43
Figura 14. Frecuencia de líquenes en cada forófito evaluado. ....	43
Figura 15. Curva de crecimiento del liquen A. ....	44
Figura 16. Curva de crecimiento del liquen B. ....	45
Figura 17. Imágenes SSD, LFD y mixta de la región 1 de la muestra A. (a) Imagen SSD. (b) Imagen LFD muestra la morfología de la región 1 del liquen <i>R. gracilis</i> . (c) Imagen mixta muestra la presencia de partículas adheridas al liquen. (d) Muestra colocada en el microscopio. ....	47
Figura 18. Partícula de barita hallada en la región 1 de la muestra A.....	48
Figura 19. Espectroscopía de energía dispersa (EDS) del mineral barita analizada de la región 1 de la muestra A. ....	48
Figura 20. Partícula de goethita hallada en la región 1 de la muestra A. ....	49
Figura 21. Espectroscopía de energía dispersa (EDS) del mineral goethita, analizada en la región 1 de la muestra A. ....	49
Figura 22. Composición química del liquen <i>Roccella gracilis</i> . ....	50
Figura 23. Espectroscopía de energía dispersa (EDS) de <i>R. gracilis</i> de la región 1 de la muestra A. ....	50
Figura 24. Imágenes SSD, LFD y mixta de la región 2 de la muestra A. (a) Imagen SSD. (b) Imagen LFD muestra la morfología de la región 2 del liquen <i>R. gracilis</i> . (c)	

Imagen mixta muestra la presencia de partículas adheridas al líquen. (d) Muestra colocada en el microscopio. ....	51
Figura 25. Partícula de calcopirita hallada en la región 2 de la muestra A. ....	52
Figura 26. Espectroscopía de energía dispersa (EDS) del mineral calcopirita analizada de la región 2 de la muestra A. ....	52
Figura 27. Partícula de celestina hallada en la región 2 de la muestra A. ....	53
Figura 28. Espectroscopía de energía dispersa (EDS) del mineral celestina analizada de la región 2 de la muestra A. ....	53
Figura 29. Partícula de tennantita hallada en la región 2 de la muestra A. ....	54
Figura 30. Espectroscopía de energía dispersa (EDS) del mineral tennantita analizada en la región 2 de la muestra A. ....	54
Figura 31. Imágenes SSD, LFD y mixta de la región 3 de la muestra A. (a) Imagen SSD. (b) Imagen LFD muestra la morfología de la región 3 del líquen <i>R. gracilis</i> . (c) Imagen mixta muestra la presencia de partículas adheridas al líquen. (d) Muestra colocada en el microscopio. ....	55
Figura 32. Partícula de galena hallada en la región 3 de la muestra A. ....	56
Figura 33. Espectroscopía de energía dispersa (EDS) del mineral galena analizada de la región 3 de la muestra A. ....	56
Figura 34. Imágenes SSD, LFD y mixta de la región 1 de la muestra B. (a) Imagen SSD. (b) Imagen LFD muestra la morfología de la región 1 del líquen <i>R. gracilis</i> . (c) Imagen mixta muestra la presencia de partículas adheridas al líquen. (d) Muestra colocada en el microscopio. ....	57
Figura 35. Partícula de marmatita hallada en la región 1 de la muestra B. ....	58
Figura 36. Espectroscopía de energía dispersa (EDS) del mineral marmatita analizada de la región 1 de la muestra B. ....	58
Figura 37. Variación mensual de la temperatura del periodo julio 2018 – octubre 2019. Datos meteorológicos de la estación meteorológica del SENAMHI. ....	59
Figura 38. Variación mensual de la humedad relativa del periodo julio 2018 – octubre 2019. Datos meteorológicos de la estación meteorológica del SENAMHI. ....	60
Figura 39. Variación mensual de la precipitación total del Periodo julio 2018 – octubre 2019. Datos meteorológicos de la estación meteorológica del SENAMHI. ....	61
Figura 40. Variación mensual de la velocidad del viento del periodo julio 2018 – octubre 2019. Datos meteorológicos de la estación meteorológica del SENAMHI. ....	62
Figura 41. Rosa de Vientos elaborada con los datos de la estación meteorológica Campo Marte. ....	63
Figura 42. Distribución de frecuencia de la clase de viento. ....	63
Figura 43. Rosa de Vientos superpuesto en <i>Google Earth Pro</i> . ....	64

## LISTADO DE TABLAS

Tabla 1 Marco normativo nacional sobre calidad del aire.....	20
Tabla 2 Materiales y equipos .....	22
Tabla 3 Cantidad de líquenes por zona que se evaluará el crecimiento.....	24
Tabla 4 Forófitos evaluados.....	24
Tabla 5 Líquenes del parque Campo Marte .....	33
Tabla 6 Lista de especies de árboles .....	35
Tabla 7 Abundancia absoluta y relativa de especies arbóreas.....	36
Tabla 8 Abundancia por familia botánica.....	37
Tabla 9 Especies arbóreas y la presencia de liquen <i>R. gracilis</i> .....	40
Tabla 10 Características de los forófitos evaluados .....	41
Tabla 11 Presencia de telarañas y encalado en forófitos evaluados .....	41
Tabla 12 Abundancia y Frecuencia de liquen <i>R. gracilis</i> en forófitos evaluados..	42
Tabla 13 Área del liquen A .....	44
Tabla 14 Área del liquen B .....	45
Tabla 15 Partículas minerales determinadas en el liquen A .....	46
Tabla 16 Concentración de elementos químicos del mineral barita.....	48
Tabla 17 Concentración de elementos químicos del mineral goethita .....	49
Tabla 18 Composición química de <i>R. gracilis</i> .....	50
Tabla 19 Concentración de elementos químicos del mineral calcopirita.....	52
Tabla 20 Concentración de elementos químicos del mineral celestina.....	53
Tabla 21 Concentración de elementos químicos del mineral tennantita .....	54
Tabla 22 Concentración de elementos químicos del mineral galena .....	56
Tabla 23 Partículas minerales del liquen B .....	57
Tabla 24 Concentración de elementos químicos del mineral marmatita.....	58
Tabla 25 Datos de temperatura ambiental .....	59
Tabla 26 Datos de humedad relativa.....	60
Tabla 27 Datos de precipitación .....	61
Tabla 28 Datos de velocidad del viento.....	62

## INTRODUCCIÓN

En los países de América, uno de los principales riesgos ambientales para la salud es la contaminación atmosférica (OMS, 2016). En la ciudad de Lima las principales fuentes de contaminación son la actividad industrial y el parque automotor, según los resultados obtenidos en muestras de líquenes (Bedregal et al., 2009).

Los líquenes son bioindicadores de la contaminación atmosférica (Valdivia y Ramírez, 2018), esto se ve favorecido por sus características biológicas: carecen de raíz, obtienen sus nutrientes directamente de la atmósfera, no presentan estructuras protectoras o selectivas del medio externo (cutícula o epidermis) que los proteja ante sustancias tóxicas (por esta razón la absorción de contaminantes ocurre en la superficie del talo), no presentan un aparato excretor definido por tanto los contaminantes no los elimina sino los acumula, son sésiles, de gran longevidad y crecimiento lento (Loppi & Pirintsos, 2003). En este sentido, “los líquenes son muy efectivos para atrapar metales pesados del ambiente circundante” (Loppi & Pirintsos, 2003, p.327). La cuantificación de los metales pesados en los líquenes se debe realizar conociendo el tiempo que han estado expuestos a la contaminación, en ese sentido, antes de llevarlos al laboratorio es necesario realizar estudios previos que permitan conocer la edad del liquen.

En la ciudad de Lima se han reportado líquenes en diferentes parques (Ocrospoma, 1991; Tovar y Aguinaga, 1994; Ramírez et al., 2013 y Calderón et al., 2018), por lo cual se decidió estudiar los líquenes del parque Campo Marte del distrito de Jesús María. En el parque se desarrollan diferentes deportes como fútbol, tenis y natación, estos campos deportivos están ubicado en el lado sur del parque, mientras el área verde está en el lado norte. Estos campos deportivos reducen el porcentaje de cobertura vegetal del parque (Sánchez-Aizcorbe, 2017).

La investigación, en su primera etapa, se centró en el estudio del desarrollo y crecimiento del liquen *Roccella gracilis* Bory con el objetivo de determinar la ecuación de la curva de crecimiento del liquen en función del tiempo y tamaño. Los resultados permitieron usar a estos organismos eficientemente. Se midió el crecimiento del organismo antes de cuantificar los metales pesados en ellos

mediante microscopia electrónica de barrido ambiental (MEBA), se obtuvo en los líquenes la presencia de contaminantes en el tiempo de evaluación y se determinó la capacidad del líquen *Roccella gracilis* Bory como bioindicador de la calidad atmosférica en Lima. El trabajo de investigación permite conocer la liquenobiota del parque, describir sus características de crecimiento y conocer la influencia de factores abióticos (ambiente y sustrato) y bióticos (animales). Finalmente, como línea de base se presenta un mapa de la población arbórea y liquénica presente en el parque.

# **CAPÍTULO I**

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.1. Descripción de la realidad problemática**

La contaminación atmosférica es uno de los principales riesgos ambientales para la salud de la población de los países de América que están en vías de desarrollo (OMS, 2016). En la ciudad de Lima, debido a la presencia de sus edificaciones, crecimiento poblacional, quema de residuos sólidos, actividad industrial y principalmente por el parque automotor, es una zona vulnerable a la contaminación del aire, que afecta a la salud de los ciudadanos. Por tanto, es necesario evaluar constantemente la calidad del aire con el fin de alertar tempranamente y tomar medidas para mitigar los efectos de la contaminación. En este contexto, determinar la calidad del aire de manera biótica utilizando líquenes como bioindicadores es una alternativa económica y eficaz. Estos organismos son sensibles a la contaminación, esto se evidencia por cambios en su color, abundancia, frecuencia, cobertura, sustancias liquénicas, cantidad de clorofila y daños en sus cloroplastos y mitocondrias.

### **1.2. Justificación del problema**

La investigación permitió determinar la capacidad de los líquenes como bioindicadores de la calidad atmosférica y aporta en el conocimiento de la diversidad de la liquenobiota presente en la ciudad de Lima. La determinación de la presencia de metales pesados en los líquenes se realizó estimando el tiempo que han estado expuestos al ambiente y a la contaminación, en ese sentido, antes

de llevarlos al laboratorio fue necesario realizar un seguimiento del crecimiento de estos organismos.

La línea base de la población arbórea en el parque se realizó mediante un mapeo en el cual se registró la ubicación de los árboles, lo cual permitió conocer la presencia de líquenes. Esto servirá de apoyo para futuros estudios en el parque y también para conocer cómo ha variado la liquenobiota a través del tiempo.

El estudio se justifica desde un punto de vista económico porque el uso de líquenes como bioindicadores de la calidad del aire son alternativas más económicas a diferencia de una instalación de un sistema de monitoreo de la calidad de aire abiótico.

Los líquenes como bioindicadores de la calidad del aire no están siendo usados adecuadamente. El estudio es relevante en la generación de información y metodología para evaluar correctamente a estos organismos, estimando antes la edad del liquen en función del tamaño. Esta metodología podrá ser usada en investigaciones futuras.

### **1.3. Delimitación del proyecto**

#### **1.3.1. Delimitación teórica**

La investigación se basó en determinar la capacidad del liquen *Roccella gracilis* Bory como bioindicador de la calidad del aire, mediante el análisis de metales pesados presente en este organismo y estudiando la influencia de factores bióticos y abióticos (ambiente y sustrato).

El estudio se centró en el liquen *Roccella gracilis* Bory por ser fruticuloso crece más rápido; para los líquenes crustosos el crecimiento es más lento (Hans, 1982). La liquenobiota acompañante y la población arbórea presente en el parque fue determinada. Se recogió información de la estación

meteorológica del Campo Marte del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI).

### 1.3.2. Delimitación temporal

Desde julio del 2018 hasta octubre del 2019 se registró mensualmente el tamaño de los líquenes mediante fotografías con escala milimetrada, de esta manera se determinó la ecuación de la curva de crecimiento del líquen *Roccella gracilis* Bory. En noviembre del 2019 se analizó los metales pesados en muestras representativas del líquen mediante el método de microscopía electrónica de barrido ambiental (MEBA).

### 1.3.3. Delimitación espacial

El proyecto de investigación se realizó en la zona de libre acceso del parque Campo Marte (Fig. 1) del distrito de Jesús María, departamento de Lima, el cual tiene un área total de  $133\,814\text{ m}^2$ , con una altitud de  $123\text{ msnm}$  y con coordenadas geográficas  $12^{\circ}4'5,82''\text{ S}$  y  $77^{\circ}2'28,24''\text{ W}$ . La distancia del área de estudio al mar es de  $4\,816,53$  metros.

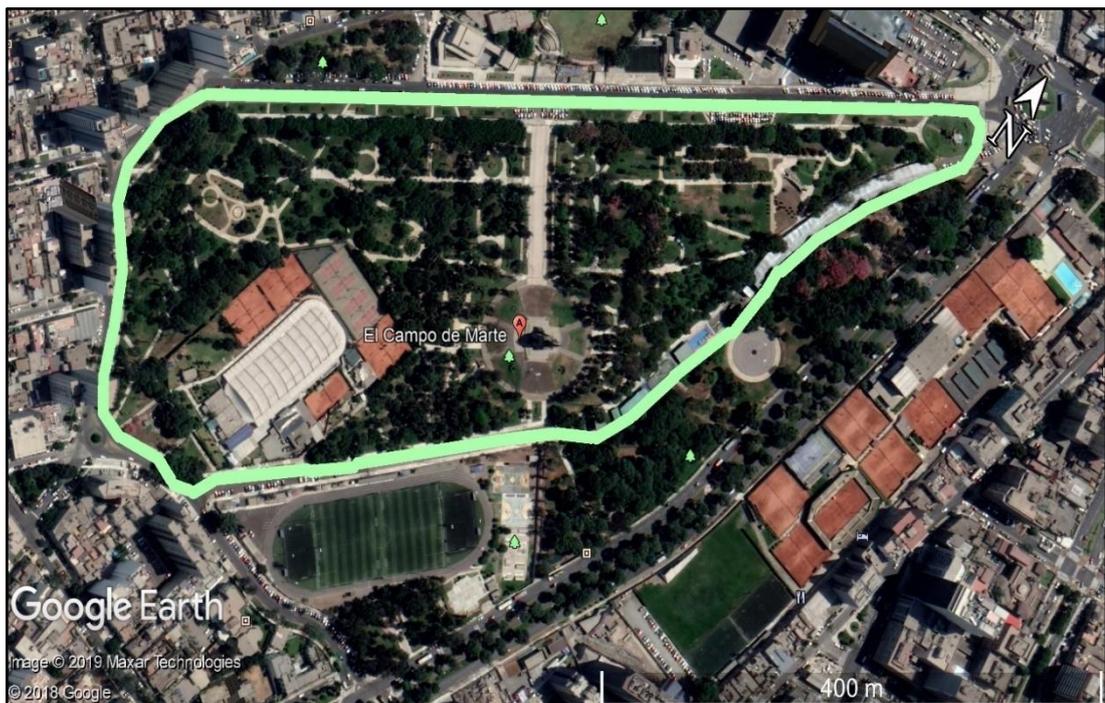


Figura 1. Ubicación de la zona de estudio.  
Fuente: Google earth Pro 2019.

## **1.4. Formulación del problema**

### **1.4.1. Problema general**

¿Cómo actuaría el líquen *Roccella gracilis* como bioindicador de la calidad del aire en el parque Campo Marte, Jesús María, Lima?

### **1.4.2. Problemas específicos**

- ¿Qué tipos de compuestos minerales indicadores de metales pesados se detectan en el líquen *Roccella gracilis*?
- ¿Cómo es el comportamiento del crecimiento del líquen *Roccella gracilis* del parque Campo Marte mediante un modelo de regresión?
- ¿Cuáles son los factores bióticos, meteorológicos y condiciones del sustrato que influye en el crecimiento y dispersión del líquen *Roccella gracilis*?

## **1.5. Objetivos**

### **1.5.1. Objetivo general**

Evaluar al líquen *Roccella gracilis* como bioindicador de la calidad del aire en el parque Campo Marte, Jesús María, Lima.

### **1.5.2. Objetivos específicos**

- Determinar los tipos de compuestos minerales indicadores de metales pesados en el líquen *Roccella gracilis*.
- Determinar el comportamiento del crecimiento del líquen *Roccella gracilis* del parque Campo Marte mediante un modelo de regresión.
- Analizar los factores bióticos, meteorológicos y condiciones del sustrato que influyen en el crecimiento y dispersión del líquen *Roccella gracilis*.

## CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes

Valdivia y Ramírez (2018) en su investigación llegaron a las siguientes conclusiones:

- Determinaron 42 especies de líquenes, de las cuales 7 especies se registraron solo en la zona control (ausencia de contaminación), 11 especies pertenecieron únicamente a la zona pasivo (presencia de contaminación por el pasivo ambiental), y 24 especies en ambas zonas de estudio. La mayoría de líquenes fue de biotipo crustoso. La presencia de especies comunes en ambas zonas de estudio confirmó la existencia de las mismas comunidades de líquenes antes de la perturbación ambiental generada por los pasivos ambientales.
- Respecto a los resultados del Índice de Pureza Atmosférica (IPA) se concluyó que la mayor riqueza de especies con mayor porcentaje de cobertura y frecuencia estuvo dada por la estación con el IPA más alto. El valor del IPA en la zona control fue más alto que los de la zona pasivo.
- Las especies *Diploschistes* cf. *scroposus*, *Diploschistes* cf. *cinereocaesius*, *Xanthoria elegans*, *Lecidia* cf. *grisella*, *Placomaronea candelaroides*, *Rimelia* sp. y *Lecidea* cf. *vorticosa*, al registrarse solo en la zona control (áreas de menor contaminación) pudieron ser consideradas como bioindicadores de la

calidad del aire ya que demostraron sensibilidad a la presencia de contaminantes en la zona de estudio.

- El análisis de metales pesados mediante el microscopio electrónico de barrido ambiental fue realizado en la especie *Usnea durietzii*, en el cual se registró metales pesados como cobre, zinc y plomo, existiendo relación con las actividades que realizaba la empresa Santo Toribio S.A.
- Se concluyó que los líquenes tienen la capacidad de acumular los metales y servir como bioindicadores, en este sentido pueden servir como herramienta en programas de monitoreo de la calidad del aire abiótico en los proyectos mineros.

Pereira, Tapia, Errázuriz & Basualto (2018) en su investigación determinaron las concentraciones de Cu, Cr, Fe, Pb y Zn en tres especies de líquenes colectados en tres zonas de la ciudad de Talca de la Región del Maule, Chile. La cuantificación de metales pesados se realizó mediante espectroscopía de absorción atómica con llama. Las fuentes de emisión fueron la industria de curtiduría y tráfico vehicular. Los mayores niveles de concentración fueron en el siguiente orden descendente Fe, Zn, Pb, Cu, Cr y Cd. Se concluyó que las especies foliosas pueden ser consideradas como bioindicadores de la calidad del aire.

Ferry (2018) en su trabajo de investigación concluyó que el análisis de metales pesados mediante la microscopía electrónica de barrido ambiental es adecuado para el estudio de partículas depositadas en muestras de líquenes. Registró metales como Titanio, Aluminio, Hierro y Bario en altas concentraciones en la zona Habich (Lima) y Teatino 2 (Reserva Nacional Lomas de Lachay). En las muestras de la zona Teatino 1 las concentraciones de óxidos fueron bajas a diferencia de la zona de Habich.

Otro trabajo de investigación referido a líquenes como indicadores de la calidad ambiental fue realizado por Mendoza (2018), quién llegó a las siguientes conclusiones:

- El uso de líquenes como bioindicadores permitió evaluar la calidad del aire de la ciudad de Chachapoyas, a pesar que los forófitos no son uniformes en el lugar.
- La ciudad de Chachapoyas presentó bajos valores de Índice de Pureza Atmosférica Modificado (IPAm), entendiéndose como una zona con aire contaminado.
- La correlación entre el IPAm y las variables pH de la corteza del forófito, la especie, la temperatura y la humedad es insignificante, solo es significativo con la variable diversidad.

Llatance (2017) en su trabajo de investigación identificó un total de 57 especies de los cuales la mayor cantidad de líquenes fue del biotipo crustoso mientras la menor fue la de biotipo fruticoso. De acuerdo a su investigación, líquenes fruticosos son más sensibles a la contaminación, mientras que los líquenes de biotipo crustoso son los más tolerantes. Por esa razón se observó que los líquenes fruticosos están ausentes en 66 estaciones, de las cuales en 11 fueron las que presentaron menor Índice de Pureza Atmosférica (IPA), es decir estaciones en las que hubo presencia mínima de líquenes y áreas de mayor contaminación. Sin embargo, los líquenes *Parmotrema* sp.2 y *Ramalina* sp.1 son especies que se han adaptado a la contaminación de la zona.

Otro trabajo de investigación referido a líquenes como bioindicadores es realizado por Ambrosio (2017), el cual llegó a las siguientes conclusiones principales:

- En el estudio se registró 3 especies de líquenes: *Candelaria concolor*, *Parmelia caperata* y *Physcia stellaris*. Los líquenes mencionados se

identificaron en 3 zonas de estudio (avenida, plazuela y parque) en una misma especie de árbol (*Fresno excelsior*).

- Con los resultados de área ocupada (abundancia) y el número de especies (riqueza) de líquenes presentes en la especie de árbol *Fraxinus excelsior*, se logró determinar el IPA para cada zona. Según lo mencionado, las zonas con menor IPA fueron aquellas que presentaban mayor flujo vehicular.
- El uso de líquenes como bioindicadores es una alternativa más económica a diferencia de la instalación de un sistema de monitoreo abiótico que requiere un presupuesto costoso.

Rosabal (2016) en su investigación llegó a las siguientes conclusiones principales:

- Los factores del sustrato como rugosidad, área del tronco, concentración de fenoles en la corteza influyeron en la segregación de las especies liquénicas en los forófitos.
- La asociación liquen y forófito presentó un bajo número de especies.
- La gradiente vertical influyó considerablemente en la colonización de los líquenes sobre los forófitos, comprobándose un patrón de alojamiento en la parte más baja del árbol. La altura del árbol y el ancho de la copa influyeron en la diversidad de los líquenes. La distribución espacial de los líquenes no fue influenciada por la cobertura del dosel en el interior del bosque.

La investigación realizada por Roig et al. (2010) en la ciudad de Valencia concluyó que tiene una alta contaminación con Cu, Mo, Sb y Cd, encontrándose en los líquenes valores mayores a lo normales en el aire de la zona de estudio. La contaminación del aire es generada por las industrias de cerámica, agrícola, construcción y parque automotor. De acuerdo a la investigación, líquenes crustáceos pueden ser considerados como bioindicadores de la contaminación del

aire al igual como lo son los líquenes epifíticos; asimismo, la especie *Caloplaca* sp. tiene una mayor capacidad para acumular los metales pesados en su talo.

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Liquen**

La definición de liquen (Fig. 2) aprobada por la mayoría de liquenólogos de la Asociación Internacional de Liquenología en 1982 fue: “Un liquen es una asociación de un hongo y un simbionte fotosintético, de la que resulta un talo estable de estructura específica”. Asimismo, son considerados colonizadores de rocas y suelo, que es favorecido por su capacidad a resistir ambientes extremos (Moreno, Sánchez y Hernández, 2007). De acuerdo a Mata, Umaña y Chaves (2009) los líquenes son una unión simbiótica entre un micobionte (hongo) y uno o más fotobiontes (organismo autótrofo fotosintético) que puede ser una cianobacteria o un alga verde, además, el hongo produce las estructuras reproductivas y determina la forma de la mayoría de los líquenes.

Los líquenes viven en una estrecha asociación simbiótica mutualista, en este sentido el micobionte es heterótrofo, es decir necesita compuestos orgánicos para nutrirse; por otro lado, el fotobionte realiza la fotosíntesis y produce hidratos de carbono (Cubas, Núñez, Crespo y Divakar, 2010). Giacobone y Cabrera (2009) indicaron que estos organismos lograron absorber los nutrientes del aire y a la vez los contaminantes que perjudicaron su crecimiento y reproducción, lo que desencadenó en su muerte.

Estos organismos simbióticos están distribuidos desde los trópicos hasta los polos, desde las zonas a nivel del mar hasta las altas montañas; y viven sobre diferentes tipos de superficie inerte o viva (Barreno y Pérez, 2003; Segura, 2013 y Cubas et al., 2010). En este sentido, son considerados bioindicadores de la contaminación en el planeta ya que están distribuidos en

diferentes ecosistemas y en distintos climas extremos. Giacobone y Cabrera (2009) indicaron que los líquenes pueden adaptarse a cualquier superficie, árbol, suelo y construcción.



*Figura 2.* Líquen folioso (*Punctelia* sp.)  
Fuente: Fotografía de Antony Calderon (Reserva Nacional de Lachay, 2019).

### **2.2.2. Asociación simbiótica**

#### ***Fotobionte***

De acuerdo a Cubas et al. (2010) el fotobionte es el que produce los hidratos de carbono a partir de  $CO_2$  y agua durante la fotosíntesis, por tanto, el micobionte se beneficia de este proceso. Se considera como fotobionte a las algas y cianobacterias.

#### ***Micobionte***

El micobionte brinda un medio favorable para el fotobionte realice la fotosíntesis, asimismo le protege de la radiación solar, favorece la hidratación y permite el acceso del  $CO_2$  (Cubas et al., 2010).

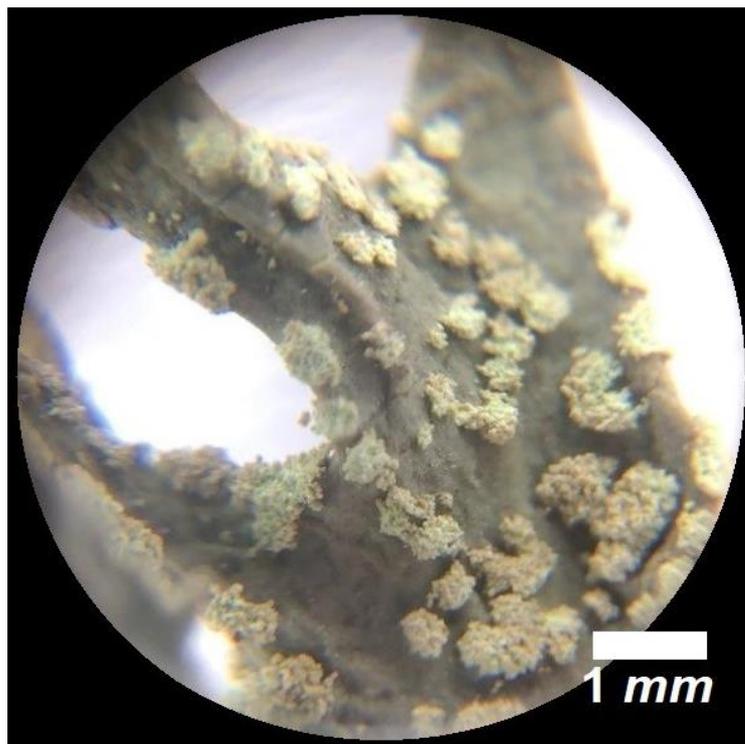
### 2.2.3. Estructuras reproductoras

Los líquenes presentan reproducción sexual y asexual (Barreno y Pérez, 2003) y vegetativa (Morales et al., 2009).

#### ***Reproducción vegetativa***

Este tipo de reproducción se da a partir de la fragmentación del talo (Morales, Lucking y Anze, 2009). Este proceso se produce por la pérdida de agua en el talo, para que posteriormente se rompa por causa de la fuerza del viento, facilitando la dispersión de los fragmentos, de tal manera que cada fragmento puede generar un talo nuevo en otro lugar.

En los talos se originan los propágulos que son unidades que sirven para la diseminación y reproducción vegetativa. Barreno y Pérez (2003) mencionan que existen diferentes tipos propágulos siendo los más comunes: isidios, esquizidios, filidios, blastidios y soledios. Los autores además mencionan que los líquenes foliosos y fruticosos es común la presencia de isidios y soledios.



*Figura 3.* Líquen *Roccella gracilis* Bory, se observa la presencia de soledios (60x).

Fuente: Fotografía de Antony Calderon (Lima, 2019).

## ***Reproducción sexual***

Algunos aspectos de la reproducción sexual de los líquenes todavía no son estudiados minuciosamente, por ejemplo, el mecanismo de fertilización (Morales et al., 2009). De acuerdo a Barreno y Pérez (2003) las ascósporas y ascos están contenidos en los ascomas.

### **2.2.4. Formas de crecimiento**

La forma de desarrollo del liquen lo determina la relación entre el micobionte y el fotobionte (Cubas et al., 2010). Los mismos autores mencionan que los biotipos más frecuentes son los siguientes:

#### ***Líquenes crustáceos o crustosos:***

Son aquellos que tienen forma de costra, se encuentran fuertemente unido al sustrato y “carecen de córtex inferior y no se pueden separar del sustrato sin romperlos” (Cubas et al., 2010, p.2).

#### ***Líquenes foliosos o foliáceos:***

De acuerdo a Cubas et al. (2010) presentan forma de hojas y se encuentran parcialmente unidos al sustrato. Asimismo, pueden captar el agua de la atmósfera y del sustrato (Barrero y Pérez, 2003).

#### ***Líquenes fruticulosos o fruticosos:***

Presentan forma de arbusto ramificado y tienen contacto con el sustrato por una pequeña parte (Cubas et al., 2010). Conforme a Barreno y Pérez (2003), estos líquenes pueden ser colgantes o erectos. Estos autores mencionan que la humedad del aire influye en la hidratación de estos líquenes, por esa razón tienden a colonizar zonas donde las nieblas son más frecuentes.

### **2.2.5. Factores ecológicos que influyen en el crecimiento del líquen**

De acuerdo a Mistry (1998) el crecimiento de los líquenes está influenciado por diferentes factores como la temperatura ambiental, humedad, la incidencia de luz, textura de sustrato, disturbios bióticos (presencia de arañas, caracoles, etc.), entre otros.

#### ***Factores abióticos***

Barreno y Pérez (2003) mencionan que los líquenes pueden desarrollarse sobre diferentes tipos de sustratos inertes y orgánicos. La textura del sustrato influye en la colonización de los líquenes, ya que estos tienden a desarrollarse en determinadas texturas de sustrato. Los autores mencionados comentan que el pH de la corteza de los forófitos, ácidos o básicos, influye en la colonización de los líquenes. Giacobone y Cabrera (2009) indican que los líquenes son sensibles a las variaciones de pH del ambiente como son las lluvias ácidas. El clima, la luz, viento, temperatura y la humedad influyen en el desarrollo y crecimiento de los líquenes (Barrero y Pérez, 2003).

#### ***Factores bióticos***

Entre las diferentes especies de líquenes pueden competir por el espacio el cual colonizarán. El hombre, determinados insectos y plantas pueden afectar de manera directa el crecimiento y colonización de los líquenes (Barrero y Pérez, 2003).

### **2.2.6. Líquenes como bioindicadores de calidad del aire**

Según Capó (2007) bioindicadores son aquellos organismos o comunidades que presentan cambios cuando existe alteraciones en el ambiente. Según las conclusiones de Loppi & Pirintsos (2003) los líquenes son efectivos para retener los metales pesados presentes en el ambiente. Los líquenes pueden ser considerados como bioindicadores puesto que en ellos

se puede identificar reacciones relacionadas con las alteraciones ambientales como son la presencia de contaminación (Barreno y Pérez, 2003). En ecosistemas forestales el uso de líquenes epífitos demostró ser eficaz para determinar los riesgos potenciales en el entorno generados por tráfico de vehículos (Loppi & Pirintsos, 2003). A partir del estudio de los líquenes se puede determinar el grado de contaminación en una determinada zona, pueden actuar como señales de alarma ante cambios en el ambiente como lo son la presencia de contaminación (Hawksworth, Iturriaga y Crespo, 2005).

Los líquenes están considerados como los bioindicadores más eficaces dado que obtienen los nutrientes directamente de la atmósfera, presentan una amplia distribución en el planeta y no poseen un aparato excretor (Barreno y Pérez, 2003; Brodo et al., 2001). La importancia de los bioindicadores radica en que nos permiten medir y monitorear el estado de los recursos naturales e identificar los impactos de los contaminantes sobre dichos organismos (Segura, 2013).

Los líquenes son considerados como bioindicadores de la calidad del aire, según Loppi & Pirintsos (2003), ya que presentan las siguientes características biológicas:

- Carecen de raíz y de un sistema de conducción, por tanto, depende del aire para adquirir sus nutrientes.
- No presentan cutícula (estructura selectiva y protectora del medio externo) por tanto no presenta una protección ante las sustancias tóxicas del medio, en este sentido, absorben los contaminantes y nutrientes a través de su superficie.
- Presentan un crecimiento lento y son longevos, por lo tanto, están expuestos a largos periodos de contaminación y cambios en el medio.
- Son sésiles y perennes, es decir no pierden parte de sus estructuras y por tanto pueden ser muestreados en cualquier periodo de su ciclo de vida.

### 2.2.7. Índice de Pureza Atmosférica

El índice de pureza atmosférica (IPA) es uno de los métodos más utilizados para determinar la calidad atmosférica con el uso de líquenes como bioindicadores. De acuerdo a Le Blanc & De Sloover (1970) el IPA relaciona la frecuencia, diversidad y cobertura de los líquenes en una determinada área de estudio, de esta manera las zonas con altos niveles de contaminación del aire se distinguen por presentar una baja diversidad de líquenes. Sin embargo, en el método se debe considerar que las estaciones a muestrear en el área de estudio deben tener las mismas condiciones geomorfológicas, ecológicas y meteorológicas.

### 2.2.8. Liquen *Roccella gracilis* Bory

Ramírez (2018) en su trabajo *Clave para la determinación de géneros y familias de líquenes del Perú* menciona que el género *Roccella* presentan talo aplanado con color blanco a gris y ascosporas con tres septos.

Brodo, Duran & Sharnoff (2001) describe a *Roccella gracilis* Bory como liquen fruticoso arbustivo con ramas aplanadas o cilíndricas, de color gris pálido parduzco a gris violeta; médula sólida; corteza generalmente compuesta de células en forma de empalizada (perpendicular a la superficie). Fotobionte verde (*Trentepohlia* sp.). Apotecio de tipo lecanórico, negro o marrón, con un hipotecio negro; ascosporas incoloras, generalmente de 4 células, fusiformes, rectas o curvas. Química: córtex y médula con hipoclorito de sodio (C) da coloración roja, reacción positiva (+) en la mayoría de las especies con presencia de para-dépsidos como la eritrina, el ácido lecanórico, y el ácido roccellico.

*Roccella gracilis* Bory se caracteriza por su talo sorediado con ramas planas y C+ soredio rojo, tiene ascosporas más delgadas (3-4  $\mu\text{m}$  de ancho)

que los de *R. decipiens*, además, *R. gracilis* tiene un aspecto más suave y menos talos robustos que los de su especie hermana *R. decipiens* (Tehler, Irestedt, Wedin & Ertz, 2009).

Brodo et al. (2001) menciona que generalmente el hábitat de *Roccella gracilis* son las rocas costeras y la corteza del árbol, en ambos casos a pleno sol. El mismo autor agrega que las especies de género se vuelven comunes solo al sur de la frontera de EE. UU., especialmente en Baja California en México. *Roccella gracilis* se encuentra a lo largo de las costas del norte del área de San Francisco en California, sigue en las Islas Galápagos y llega hasta Arequipa al sur de Lima (Perú), también se encuentra en la región del Caribe. Crece en regiones costeras en cualquier sustrato adecuado, preferiblemente en los troncos, ramas de árboles y arbustos y también en rocas verticales y acantilados (Tehler et al., 2009).

Especies europeas mediterráneas, canarias y sudamericanas de *Roccella* sp. son recolectadas para producir los tintes morados llamados *orchil*. El tornasol, un pigmento que se vuelve rojo o azul en soluciones ácidas o alcalinas, respectivamente, se fabrica a partir de especies europeas de *Roccella* (Brodo et al., 2001).

- Dominio: Eukaryota
  - Reino: Fungi
    - Filo: Ascomycota
      - Clase: Arthoniomycetes
        - Orden: Arthoniales
          - Familia: Roccellaceae
            - Género: *Roccella*
              - Especie: *Roccella gracilis*

### **2.2.9. Contaminación del aire**

Se define como la presencia de sustancias tóxicas en el aire, que son generados de manera natural o antropogénica, que alteran su naturaleza, dando como consecuencia daños a la salud de la población (Segura, 2013 y De Nevers, 2008). Las emisiones del parque automotor, fuentes industriales, entre otros son un conjunto de problemas que engloba a la contaminación del aire (De Nevers, 2008).

De acuerdo a Segura (2013), la contaminación del aire afecta a la productividad de las personas y por tanto a la productividad de las empresas, causando pérdidas de horas hombre y pérdidas económicas por enfermedades.

### **2.2.10. Metales pesados**

Conforme a Vásquez (2015) cuando los metales pesados se emiten al ambiente no son degradados química ni biológicamente de manera natural, por tanto, permanece perenne en el ambiente.

Díaz (2006) afirma: “los líquenes funcionan como acumuladores biológicos eficientes, los resultados del experimento de enriquecimiento demuestran que su uso es factible para la remoción de metales pesados en agua” (p.155). En este sentido, los líquenes pueden bioacumular metales pesados en sus estructuras.

De acuerdo al reporte publicado por la Organización Mundial de la Salud (2004), en todo el mundo aproximadamente 346 000 personas murieron de intoxicación no intencional. La mayor cantidad de las muertes se produjo en países en vías de desarrollo.

### 2.2.11. Marco normativo

Tabla 1  
*Marco normativo nacional sobre calidad del aire*

N.º	Título	Número
1	Ley General del Ambiente	Ley N.º 28611
2	Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire y establecen disposiciones complementarias	D.S. N.º 003-2017-MINAM
3	Aprueban el Reglamento de los Niveles de Estados de Alerta Nacionales para Contaminantes del Aire	D.S. N.º 009-2003-SA
4	Protocolo de Monitoreo de Calidad del Aire y Gestión de Datos	R.D. N.º 1404/2005/DIGESA
5	Límites Máximos Permisibles de Emisiones Contaminantes para Vehículos Automotores que circulen en la Red Vial	D.S. N.º 009-2012- MINAM

### 2.3. Definición de términos básicos

**Bioacumulador:** Son aquellos organismos que tienden a acumular sustancias dentro de sus estructuras (Hawksworth et al., 2005).

**Bioindicador:** Son atributos de ciertos organismos que al ser expuestos a la contaminación presentan efectos visibles (Guerrero, Patarroyo y Rodríguez, 2006).

**Calidad del aire:** La calidad del aire relacionada a la liquenobiota está ligada a la disminución y desaparición de la población liquénica y a la permanencia de los más resistentes (Santoni & Lijteroff, 2006).

**Contaminante:** La normativa nacional lo define como aquella sustancia química que al ser introducida en el suelo, aire o cuerpo de agua puede afectarlo negativamente (OEFA, 2015).

**Liquen:** Se define como la asociación de un hongo (micobionte) y el otro (o los otros) un alga y/o una cianobacteria (Brodo, Duran & Sharnoff, 2001).

**Liquen crustáceo:** Son aquellos líquenes que están fuertemente adheridos al sustrato (Amo de Paz y Burgaz, 2009).

**Liquen epífita:** Son aquellos que crecen sobre otras plantas, generalmente en la corteza de los troncos de los árboles (Amo de Paz y Burgaz, 2009).

**Liquen fruticuloso:** Son aquellos líquenes que crecen de forma perpendicular y adheridos al sustrato por un punto o pie (Amo de Paz y Burgaz, 2009).

**Liquenobiota:** Conjunto de especies de líquenes en una determinada zona.

**Soredios:** Excrecencia reproductiva vegetativa, compuesta de hifas y fotobiontes no presenta córtex (Ramírez, 2018).

**Talo:** Parte vegetativa de los líquenes (Ramírez, 2018).

**Forófito:** Árbol en donde crecen los líquenes.

**CAPÍTULO III**  
**DESARROLLO DEL TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL**

**3.1. Materiales y objeto de estudio**

**3.1.1. Materiales**

Tabla 2  
*Materiales y equipos*

	<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>
<b>Materiales de gabinete</b>		
1. Ordenador portátil	1 u	ASUS ® X540U
2. Papel bond	100 u	80 g
3. Software	1 u	Google Earth Pro ®, WRPLOT ®.
4. Material de escritorio en general	1 u	Lapiceros, borrador, resaltador, engrapador, etc.
<b>Materiales de campo</b>		
5. Formato de campo	varios	Elaboración propia
6. Papel milimetrado	1 u	Usado como escala
7. Cinta métrica	2 u	Extensible y plegable
8. Sobres de papel	varios	Elaboración propia
9. Navaja	1 u	Metal
10. Brújula	1 u	Uso orientación cardinal
11. Clinómetro	1 u	Elaboración propia
12. Lupa	1 u	Lupa de aumento de 60x
13. Grilla liquenológica	1 u	10x50cm
<b>Equipos de campo</b>		
14. Cámara fotográfica	1 u	NIKON ® D3500 24.2 megapíxeles y lente 18-55mm

### 3.1.2. Objeto de estudio

#### *Liquen evaluado*

El parque Campo Marte cuenta con 4 especies de líquenes de los cuales 3 son de biotipo son crustosos y 1 de biotipo fruticuloso. Se consideró como objeto de estudio al líquen *Roccella gracilis* Bory de biotipo fruticuloso, ya que es una especie de mayor frecuencia en el parque y por su facilidad en colectarlo.

A criterio del investigador se seleccionaron 20 individuos de *R. gracilis* para el seguimiento mensual del crecimiento de este organismo, el cual se realizó mediante fotografías. Estos individuos fueron elegidos de una determinada zona del parque (Ver Tabla 3 y Figura 7). Debido que el líquen evaluado tiene un crecimiento lento, se eligieron 2 muestras que tuvieran un crecimiento considerable, para la cuantificación de metales mediante el microscopio electrónico de barrido ambiental.

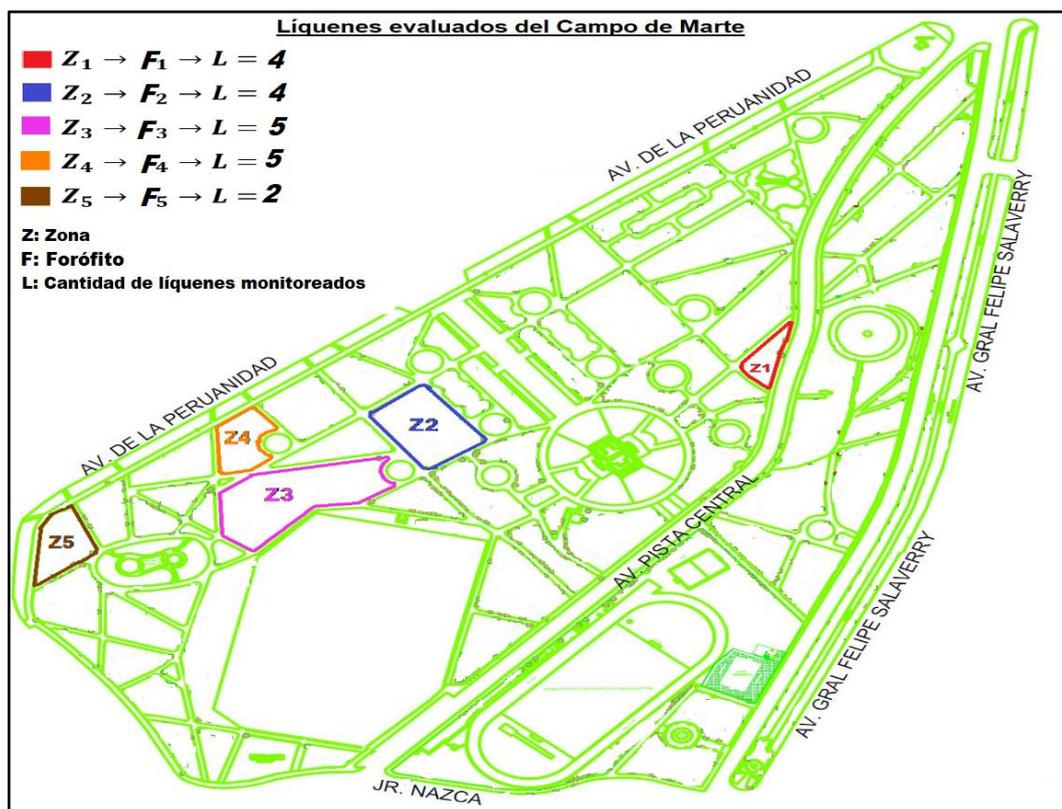


Figura 4. Zonas seleccionadas (Z1, Z2, Z3, Z4 y Z5) con presencia de forófitos y líquenes de *Roccella gracilis* Bory en las cuales se realizó el seguimiento de su crecimiento.

Tabla 3  
Cantidad de líquenes por zona en que se evaluó el crecimiento

Área	Zona	Forófito	Cantidad de líquenes	
$A_1$	$Z_1$	$F_1$	<i>Melia azedarach</i>	4
$A_2$	$Z_2$	$F_2$	<i>Melia azedarach</i>	4
$A_2$	$Z_3$	$F_3$	<i>Melia azedarach</i>	5
$A_2$	$Z_4$	$F_4$	<i>Melia azedarach</i>	5
$A_2$	$Z_5$	$F_5$	<i>Melia azedarach</i>	2

### **Forófitos evaluados**

Los criterios para la selección de los árboles evaluados en cada zona, fueron los siguientes:

- Que tengan presencia del líquen *Roccella gracilis* Bory en la parte del fuste (tronco) del árbol.
- Que no tuvieran signos de alteración humana (excepto encalados que es una mezcla de agua y cal con que se pintan la parte baja del tronco del árbol utilizada para evitar plagas.

Tabla 4  
Forófitos evaluados

N.º	Área	Zona	Forófito	Especie	Ubicación	
					X	Y
1	$A_1$	$Z_1$	$f_1$	<i>Melia azedarach</i>	277883	8665166
2	$A_2$	$Z_2$	$f_2$	<i>Melia azedarach</i>	277695	8665081
3	$A_2$	$Z_3$	$f_3$	<i>Melia azedarach</i>	278480	8665040
4	$A_2$	$Z_4$	$f_4$	<i>Melia azedarach</i>	277582	8665042
5	$A_2$	$Z_4$	$f_5$	<i>Melia azedarach</i>	277581	8665064

### 3.2. Metodología

#### A. Fase de campo

De los 1005 individuos de árboles del parque, solo 5 cumplieron con los requisitos planteados (Fig. 5).



Figura 5. Ubicación de los forófitos evaluados.  
Fuente: Google earth Pro 2019.

#### **Delimitación del área de estudio**

El área de estudio (Fig. 6) se dividió en 2 subáreas: subárea 1 ( $A_1$ ) al norte y subárea 2 ( $A_2$ ) al sur. Asimismo, cada área verde del parque se denominó como zona, identificadas con las letras del abecedario en mayúscula, de las cuales las zonas en las que se evaluará el crecimiento del líquen *Roccella gracilis* Bory serán denominadas:  $Z_1$ ,  $Z_2$ ,  $Z_3$ ,  $Z_4$  y  $Z_5$ .

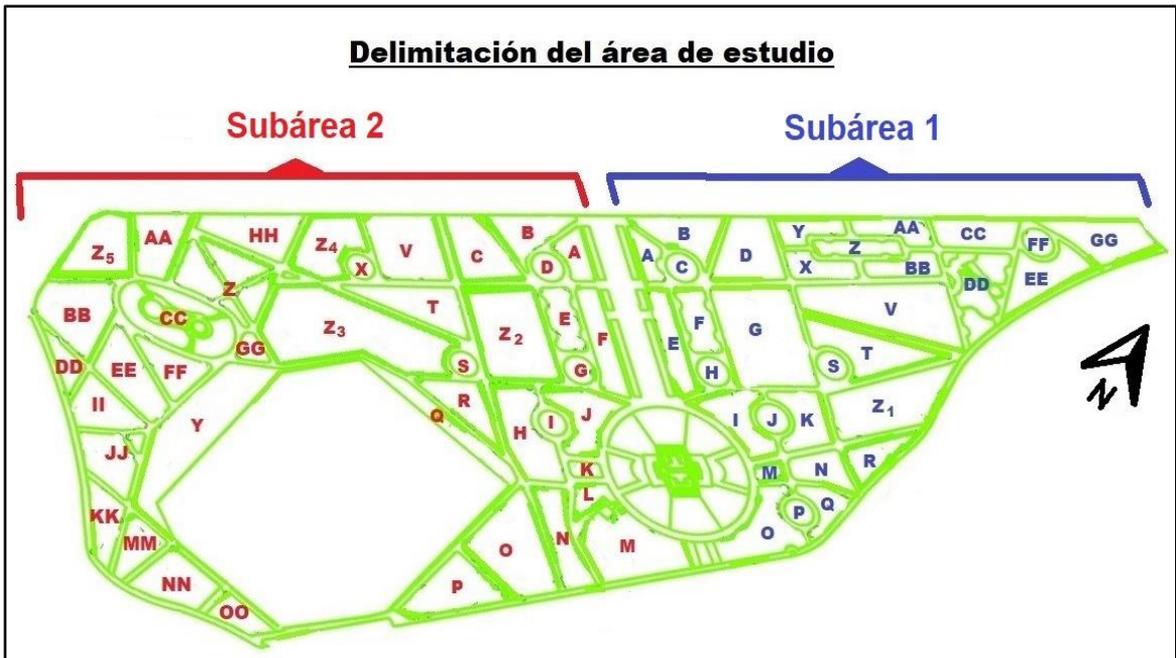


Figura 6. División del área de estudio en subáreas y por zonas.

### ***Crecimiento y desarrollo del líquen *Rocella gracilis* Bory***

El líquen fue fotografiado mensualmente con una escala milimetrada (Fig. 7), posteriormente las fotos fueron insertadas en un software especializado para hallar el área cubierta por este organismo. Con la información se determinó la ecuación de la curva de crecimiento del líquen en función al tiempo y tamaño. Las fotografías mensuales permitieron conocer la región del líquen que tuvo un crecimiento significativo y para realizar las cuantificaciones representativas de los metales pesados por microscopía electrónica de barrido ambiental (MEBA). En este sentido, es importante medir el crecimiento del líquen para conocer en cuánto tiempo el líquen ha acumulado los metales pesados.

La evaluación de los líquenes fue mensual desde julio del 2018 hasta octubre del 2019.



*Figura 7.* Fotografía del líquen *Roccella gracilis* Bory con escala milimetrada.  
Fuente: Fotografía de Antony Calderon (Lima, 2019).

### ***Población arbórea del parque***

El mapeo de la de los árboles en el parque permitió conocer y registrar cuales de ellos tenían la presencia de líquenes. Cada especie de árbol se identificó con un símbolo específico.

### ***Toma de datos en campo***

La toma de datos de campo se basó en los factores que influyen en el crecimiento de los líquenes (Mistry, 1998). Por tanto, en campo se recogieron los siguientes datos:

#### **a) Transparencia de follaje**

El grado de incidencia solar sobre los líquenes se determinó utilizando la metodología de Schomaker et al. (2007) para conocer la de transparencia de follaje y, medir cantidad de luz que pasa a través de la copa del árbol. En esta metodología se hace uso de la tarjeta de densidad de copa – transparencia de follaje (Anexo 5), en el cual las áreas negras representan la parte del árbol que bloquea la luz (transparencia del 0%), y las áreas claras representan un árbol recién defoliado

(transparencia del 99%). En la estimación de la transparencia se debe excluir el follaje de lianas, ramas muertas y partes donde falte follaje.

### **b) Inclinación**

La inclinación del tronco de cada forófito se determinó con el uso de un clinómetro, basándonos en las tres categorías de Heywood (1952). Las pendientes suaves son menores a 22,5 °; pendientes medias entre 22,5 ° a 67,5 °; y pendientes rectas mayores a 67,5 °.

### **c) Sustrato**

El tipo de sustrato se clasificó en corteza fracturada, escamosa y lisa, según Kaplanski, Venier y Tarazona (2004).

### **d) Circunferencia del tronco del forófito**

La circunferencia del tronco del árbol se determinó a una altura de 120 *cm* del suelo basándonos en la metodología del IPA y a 130 *cm* del suelo para la Circunferencia a la Altura de Pecho (*CAP*). En gabinete se halló el Diámetro a la Altura de Pecho (*DAP*), con la siguiente fórmula:  $DAP = CAP/\pi$

### **e) Altura total y altura de fuste**

La altura total del forófito comprende desde el nivel suelo hasta el ápice del árbol y la altura del fuste que comprende desde el nivel del suelo hasta donde se bifurcan las ramas. Tales alturas fueron medidas.

### **f) Encalado:**

Los encalados en los árboles es una mezcla de agua y cal el cual se pinta sobre la parte baja del árbol para fines de evitar plagas. Se anota la presencia de estos en los forofitos.

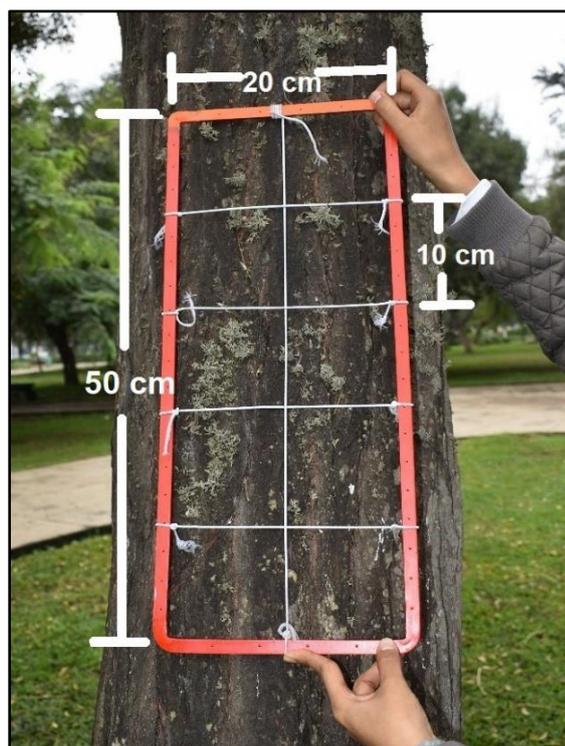
### **g) Telarañas:**

En los árboles se evidenciaron tela de arañas y se determinó el lado cardinal del forófito en la cual hubo presencia de telarañas, las cuales evitan el crecimiento de los líquenes.

### **h) Toma de datos de abundancia y frecuencia**

En las zonas de estudio hubo limitada presencia de diversidad liquénica, por lo cual no se utilizó la metodología para calcular del Índice de Pureza Atmosférica (IPA), por tanto, se tomó parte de este procedimiento, para calcular la abundancia (cantidad de individuos) y frecuencia (repeticiones del liquen en los cuadrantes de la grilla). Los forófitos evaluados fueron cinco.

Designadas las zonas de estudios y los forófitos, se recolectaron datos de abundancia y frecuencia de líquenes, se utilizó una grilla liquenológica (Fig. 8) de 50x20 cm, dividida con nylon en 10 partes de 10x10 cm y con bordes de metal. La grilla fue apoyada en el tronco en relación a los puntos cuatro cardinales (N, S, E, W y SW) y a una altura de 120 cm del suelo.



*Figura 8.* Medidas de la grilla liquenológica.

Fuente: Fotografía de Antony Calderon (Lima, 2019).

## ***Factores meteorológicos influyentes en el crecimiento de *Roccella gracilis****

Las mediciones de calidad de aire deben incluir los datos de una estación meteorológica para la ayuda en la interpretación y predicción de la dispersión de contaminantes (DIGESA, 2005). En este sentido, se consideró los datos meteorológicos de la Estación de Monitoreo de la Calidad del Aire del parque perteneciente al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI).

El crecimiento de los líquenes depende de diferentes factores como la temperatura ambiental, la incidencia de luz solar, humedad (Mistry, 1998); en este sentido, se tomó consideración a los siguientes factores meteorológicos: Temperatura, humedad, precipitación, velocidad y dirección del viento.

### ***Colecta de líquenes***

La colecta de las muestras del líquen *Roccella gracilis* Bory se realizó con la ayuda de una navaja y fueron depositadas en sobres de papel teniendo cuidado de ocasionarles daño y evitando contaminación cruzada. La determinación en campo de los líquenes fue realizada con una lupa de mano 60x. La muestra colectada y determinada fue rotulada con información (fecha, número de muestra, color y datos para fines de la investigación). Finalmente, el líquen del parque Campo Marte fue llevado al laboratorio para el análisis de metales pesados.

### ***B. Fase de gabinete***

#### ***Determinación de líquenes***

Las especies de los líquenes del parque fueron determinadas consultando la bibliografía y claves para género y especie. La morfología fue analizada y se realizaron pruebas químicas mediante reacciones de color que poseen los componentes del líquen, con el objetivo de determinar el género y especie de estos organismos presentes en el área de estudio, asimismo se contó con el apoyo del especialista en líquenes el biólogo Ángel Ramírez Ordaya.

El género del líquen *Roccella gracilis* Bory, fue determinado en primer lugar consultando el trabajo de Ramírez (2018): *Clave para la determinación de géneros y familias de líquenes del Perú*. En el cual describe al género *Roccella* con biotipo fruticoso, talo aplanado de color blanco a gris y con presencia de ascosporas con tres septos.

La especie fue determinada mediante la revisión de la publicación de Tehler et al. (2009) en la cual menciona que *Roccella gracilis* presenta médula amarillento resistente, talo aplanado que reacciona con el reactivo hipoclorito de sodio (C) dando positivo si da color rojo.

### ***Análisis en Microscopía Electrónica de Barrido Ambiental (MEBA)***

El microscopio electrónico de barrido ambiental (MEBA) permite observar muestras biológicas sin tratamiento previo, usa electrones para generar una imagen. Los líquenes en general no presentan un aparato excretor, por tanto los metales no son eliminados, sino son absorbidos y acumulados. Basándonos en lo anterior mencionado, una de las características por las que los líquenes son bioindicadores de la calidad del aire, por lo tanto las muestras de *Roccella gracilis* Bory fueron analizadas por MEBA en la empresa MyAP.

La finalidad fue de comprobar la existencia y la capacidad de absorción de metales pesados en el área de estudio en el líquen. Los metales pesados se acumulan en la parte superficial e interna de la estructura líquénica.

La muestra fue colocada en una cámara de vacío, la cual fue bombardeada por electrones, ellos rebotaron y se generó una lectura de concentración de un determinado elemento químico. Posteriormente se analizó mediante el software EDAX génesis.

Las muestras de líquenes analizados fueron dos (Líquen A y B), los cuales tuvieron un crecimiento significativo a diferencia del resto de individuos. El segmento del talo que creció en el tiempo de evaluación fue evaluada. Este proceso

fue representado en un gráfico EDX (Dispersión de Energía por Rayos X), la cual es la base de su análisis.

Existe tres tipos de imágenes que genera el MEBA:

- Electrones Secundarios: Imágenes LFD (*Large Field Detector*), brinda una imagen de la morfología de la muestra.
- Electrones Retrodispersados: SSD (*Solid State Detector*), proporciona mayor detalle de las regiones de la muestra porque posee mayor energía que los secundarios.
- Imágenes Mixtas: Unión de las dos anteriores.

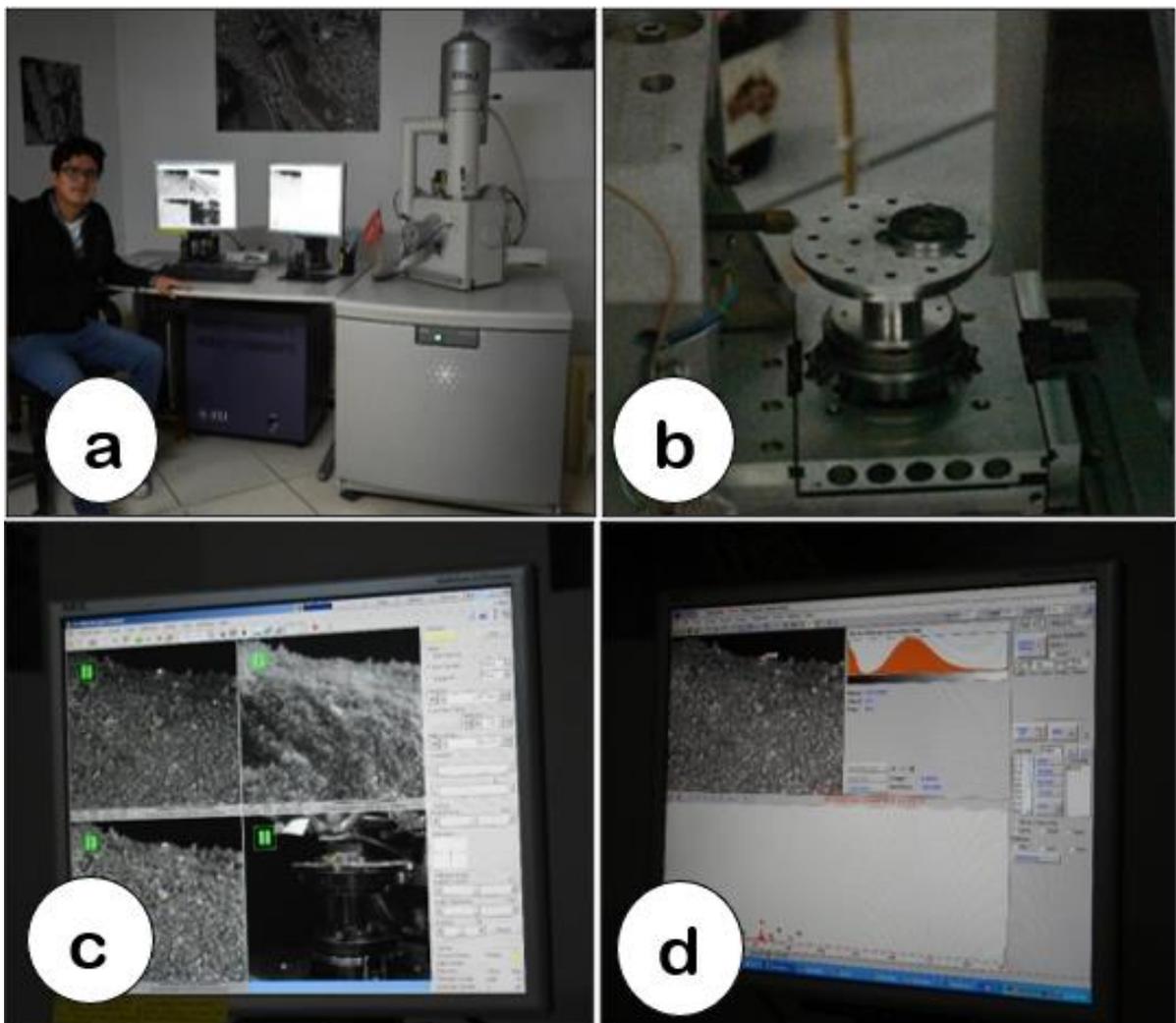


Figura 9. a) Microscopio electrónico de barrido ambiental. (b) Análisis de la muestra. (c) Visualización en donde se detalla los tres tipos de imágenes. (d) Gráficos EDX Dispersión de energía por rayos X. Fuente: Fotografía de Antony Calderon (Lima, 2019). Centro de Microscopía Electrónica y Aplicaciones en el Perú MYAP.

### 3.3. Resultados

#### 3.3.1. Líquenes

En cuanto a los líquenes, se determinaron 4 especies de los cuales 3 son de biotipo crustoso y 1 de biotipo fruticuloso. El liquen *R. gracilis* presenta el biotipo fruticoso, es de color oliva y corticícola; el liquen cf. *Arthonia* sp. es de biotipo crustáceo; de color gris; con apotecios negros, de forma irregular, de tipo lecideíno y creciendo al ras del talo. El liquen cf. *Lecidea* sp. es de biotipo crustáceo; de color gris; con apotecio negros de forma regular, de tipo lecideíno y sésil. El liquen *Graphis* sp. es de biotipo crustáceo y con apotecios alargados (lirellas). (Tabla 5 y Fig. 15).

Tabla 5  
*Líquenes del parque Campo Marte*

N.º	Familia	Especie	Biotipo
1	<i>Roccellaceae</i>	<i>Roccella gracilis</i> Bory	Fruticoso
2	Cf. <i>Arthoniaceae</i>	Cf. <i>Arthonia</i> sp.	Crustoso
3	Cf. <i>Lecideaceae</i>	Cf. <i>Lecidea</i> sp.	Crustoso
4	<i>Graphidaceae</i>	<i>Graphis</i> sp.	Crustoso

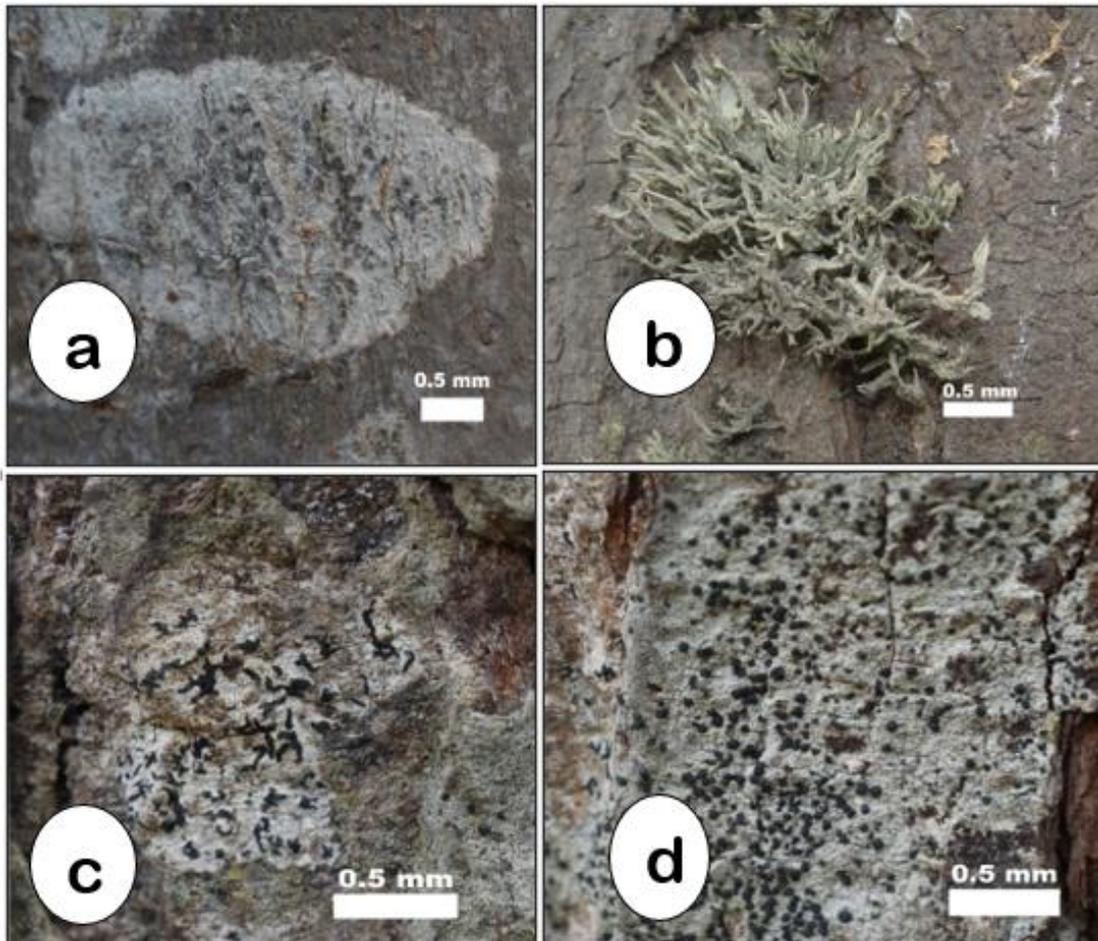


Figura 10. Líquenes del parque Campo Marte, (a) cf. *Arthonia* sp., (b) *Roccella gracilis* Bory, (c) *Graphis* sp. y (d) cf. *Lecidea* sp.

### 3.3.2. Árboles

#### ***Composición de especies arbóreas***

El parque Campo Marte presentó 29 especies de árboles agrupados en 14 familias con un total de 1005 individuos de los cuales solo en 25 (aprox. 2,49%) hubo la presencia del líquen *Roccella gracilis* Bory.

Tabla 6  
Lista de especies de árboles

N.º	Familia	Especie	Nombre común
1.	Anacardiaceae	<i>Mangifera indica</i>	"mango"
2.	Anacardiaceae	<i>Schinus molle</i>	"pirú, molle"
3.	Anacardiaceae	<i>Schinus terebinthifolius</i>	"molle costeño"
4.	Araucariaceae	<i>Araucaria</i> sp.	"araucaria"
5.	Araucariaceae	<i>Araucaria angustifolia</i>	"pino misionero"
6.	Bignoniaceae	<i>Jacaranda</i> sp.	"moneda del Papa"
7.	Bignoniaceae	<i>Kigelia africana</i>	"árbol de las salchichas"
8.	Bignoniaceae	<i>Tecoma</i> sp.	"bignonia amarilla"
9.	Bignoniaceae	<i>Spathodea campanulata</i>	"tulipanero africano"
10.	Casuarinaceae	<i>Casuarina cunninghamiana</i>	"pino australiano"
11.	Fabaceae	<i>Albizia lebbek</i>	"ébano de oriente"
12.	Fabaceae	<i>Erythrina</i> sp.	"colorín"
13.	Fabaceae	<i>Inga edulis</i>	"paca"
14.	Fabaceae	<i>Tipuana tipu</i>	"tipuana"
15.	Fabaceae	<i>Parkinsonia aculeata</i>	"azote de Cristo "
16.	Lauraceae	<i>Persea</i> sp.	"palta"
17.	Malvaceae	<i>Ceiba pentandra</i>	"ceiba"
18.	Malvaceae	<i>Hibiscus tiliaceus</i>	"majagua"
19.	Meliaceae	<i>Cedrela</i> sp.	"cedro"
20.	Meliaceae	<i>Melia azedarach</i>	"azedarach, cinamomo"
21.	Moraceae	<i>Ficus benjamina</i>	"benjamina"
22.	Moraceae	<i>Morus nigra</i>	"moral"
23.	Myrtaceae	<i>Eucalyptus globulus</i>	"eucalipto blanco"
24.	Oleaceae	<i>Fraxinus uhdei</i>	"fresno mexicano"
25.	Oleaceae	<i>Fraxinus</i> sp.	"fresno"
26.	Proteaceae	<i>Grevillea robusta</i>	"roble australiano"
27.	Salicaceae	<i>Populus alba</i>	"álamo"
28.	Salicaceae	<i>Salix humboldtiana</i>	"sauce criollo"
29.	Sapindaceae	<i>Koelreuteria</i> sp.	"papelillo "

La familia botánica con mayor cantidad de individuos fue Moraceae y Casuarinaceae. Mientras que la familia con menor individuos fue Lauraceae y Proteaceae. Sin embargo, la familia botánica con mayor cantidad de especímenes fue Fabaceae.

Tabla 7  
Abundancia absoluta y relativa de especies arbóreas

N.º	Especie	Abundancia	
		Absoluta	Relativa
1.	<i>Casuarina cunninghamiana</i>	173	17,21 %
2.	<i>Ficus benjamina</i>	147	14,63 %
3.	<i>Schinus terebinthifolius</i>	88	8,76 %
4.	<i>Melia azedarach</i>	82	8,16 %
5.	<i>Koelreuteria sp.</i>	82	8,16 %
6.	<i>Schinus molle</i>	66	6,57 %
7.	<i>Eucalyptus globulus</i>	47	4,68 %
8.	<i>Spathodea campanulata</i>	47	4,68 %
9.	<i>Tipuana tipu</i>	39	3,88 %
10.	<i>Fraxinus sp.</i>	33	3,28 %
11.	<i>Tecoma sp.</i>	30	2,99 %
12.	<i>Morus nigra</i>	27	2,69 %
13.	<i>Ceiba pentandra</i>	22	2,19 %
14.	<i>Fraxinus uhdei</i>	22	2,19 %
15.	<i>Albizia lebeck</i>	20	1,99 %
16.	<i>Cedrela sp.</i>	19	1,89 %
17.	<i>Jacaranda sp.</i>	15	1,49 %
18.	<i>Hibiscus tiliaceus</i>	12	1,19 %
19.	<i>Araucaria sp.</i>	9	0,90 %
20.	<i>Inga edulis</i>	7	0,70 %
21.	<i>Parkinsonia aculeata</i>	5	0,50 %
22.	<i>Salix humboldtiana</i>	3	0,30 %
23.	<i>Araucaria angustifolia</i>	2	0,20 %
24.	<i>Erythrina sp.</i>	2	0,20 %
25.	<i>Mangifera indica</i>	2	0,20 %
26.	<i>Grevillea robusta</i>	1	0,10 %
27.	<i>Kigelia africana</i>	1	0,10 %
28.	<i>Persea sp.</i>	1	0,10 %
29.	<i>Populus alba</i>	1	0,10 %
<i>Total</i>		1005	100 %

Tabla 8  
Abundancia por familia botánica

N.º	Familia *	Abundancia
1	Moraceae	174
2	Casuarinaceae	173
3	Anacardiaceae	156
4	Meliaceae	101
5	Bignoniaceae	93
6	Sapindaceae	82
7	Fabaceae	73
8	Oleaceae	55
9	Myrtaceae	47
10	Malvaceae	34
11	Araucariaceae	11
12	Salicaceae	4
13	Lauraceae	1
14	Proteaceae	1
Total		1005

(\*) Sistema de clasificación taxonómica según APG IV (2016)

Entre los árboles determinados, solo en *Melia azedarach*, *Cedrela* sp. y *Fraxinus uhdei* se registró *Roccella gracilis* Bory; 11 árboles correspondieron a *M. azedarach*, 4 árboles a *F. uhdei* y 10 a *Cedrela* sp. El árbol con más individuos en el parque fue *Casuarina cunninghamiana* con un total de 173 individuos que representa el 17,21 %, en segundo lugar, fue *Ficus benjamina* con 147 individuos que representaron el 14,63 %. Las especies que presentaron solo un individuo fueron *Grevillea robusta*, *Kigelia africana*, *Persea* sp. y *Populus alba*.

**Distribución espacial de las especies arbóreas del parque Campo Marte**

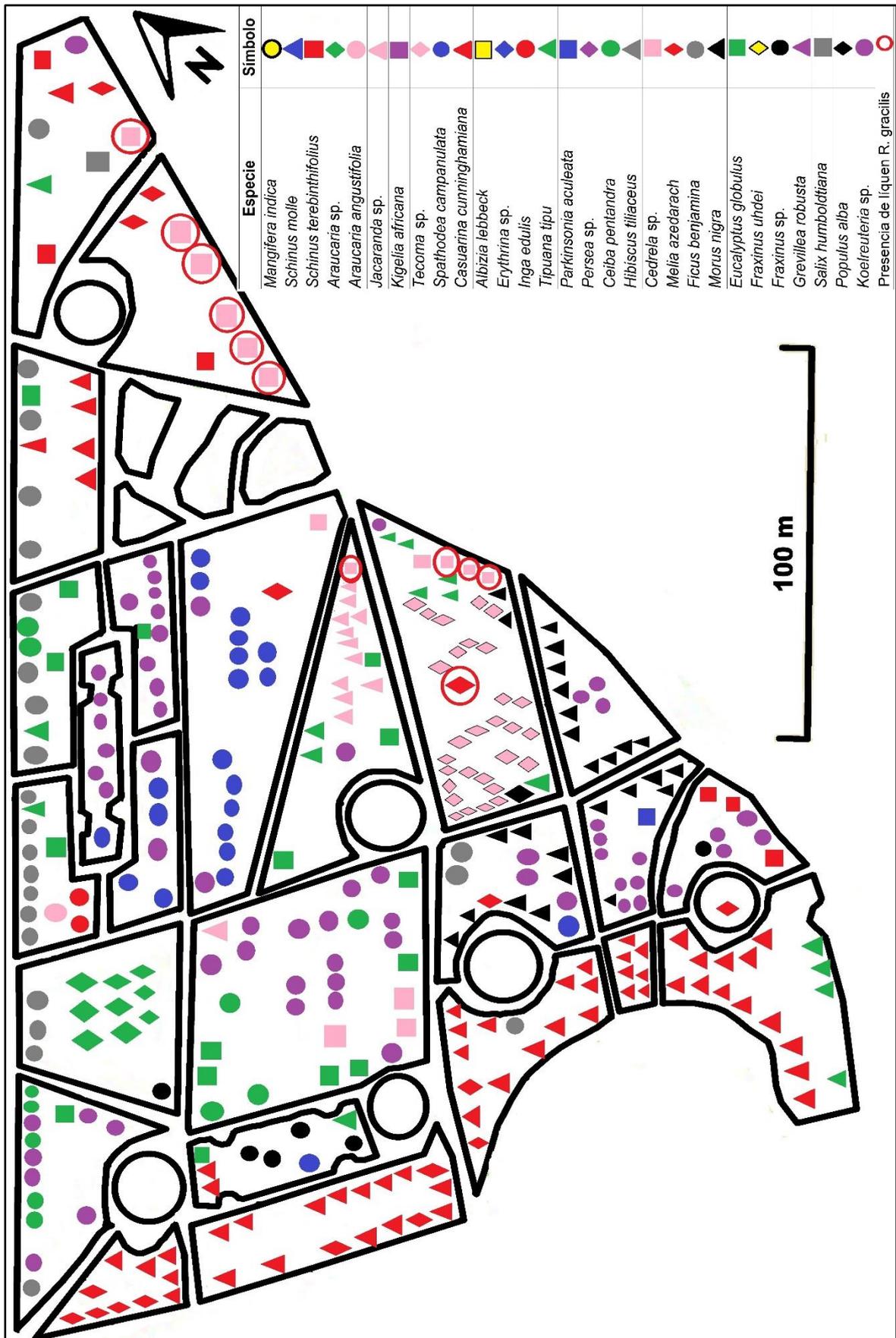


Figura 11. Mapa de distribución espacial de las especies arbóreas del Subárea 1.



Figura 12. Mapa de distribución espacial de las especies arbóreas del Subárea 2.

La distribución espacial de las especies de árboles del parque fue esquematizada mediante un mapa, con el objetivo de presentar una línea base de población arbórea y mostrar los árboles con presencia de *Roccella gracilis*. Esto servirá de apoyo para futuros estudios en el parque y para conocer cómo ha variado la liquenobiota a través del tiempo.

### 3.3.3. Forófitos y líquenes

El tipo de corteza que presentó *Melia azedarach* fue fracturada larga, *Fraxinus uhdei* fue fracturada corta y *Cedrela* sp. fue fracturada larga. Por tanto, *Roccella gracilis* tiende a crecer en cortezas fracturadas, con fisuras y hendiduras.

Tabla 9  
Especies arbóreas y la presencia de *R. gracilis*

Especie arbórea	Total de individuos	Presencia de <i>R. gracilis</i>	
		Cantidad	Porcentaje
<i>Melia azedarach</i>	82	11	13.41 %
<i>Fraxinus uhdei</i>	22	4	18.18 %
<i>Cedrela</i> sp.	19	10	52.63 %

#### a) Características de los forófitos evaluados

Los resultados de las características de los forófitos evaluados se muestran en la Tabla 10. De acuerdo a estos resultados la media de la CAP fue 109 cm. El promedio de la inclinación y altura total de los forófitos evaluados fue respectivamente 79.40° y 10.32 m. Respecto a la transparencia de follaje los valores fueron altos.

Tabla 10  
Características de los forófitos evaluados

Forófito	Circunferencia		DAP (cm)	Inclinación	Altura (m)		Transparencia de follaje (%)
	120 (cm)	CAP 130 (cm)			Total	Fuste	
$f_1$	111	120	38.20	82°	10.19	4.19	60
$f_2$	124	123	39.15	80°	12.84	3.33	65
$f_3$	124	125	39.79	70°	9.89	2.84	80
$f_4$	88	83	26.42	80°	8.20	3.63	90
$f_5$	96	94	29.92	85°	10.47	4.01	95
Media	108.6	109	34.70	79.40	10.32	3.60	78

CAP: Circunferencia a la altura del pecho. DAP: Diámetro a la altura del pecho.

### b) Telarañas y encalado

El lado de los forófitos que tuvo los nidos de arañas fue la orientación Noreste. Se observó que 4 de los 5 forófitos hubo presencia de encalado. Asimismo, se observó que la mayor abundancia de líquenes estuvo ubicada en la parte ramificada del árbol.

Tabla 11  
Presencia de telarañas y encalado en forófitos evaluados

Forófito	Telarañas		Presencia de encalado
	Presencia	Orientación	
$f_1$	Sí	E	No
$f_2$	Sí	NE	Sí
$f_3$	Sí	E	Sí
$f_4$	Sí	NE	Sí
$f_5$	Sí	NE	Sí

**c) Abundancia y frecuencia de *Roccella gracilis***

En los cinco forófitos evaluados se determinó la abundancia y frecuencia del líquen *R. gracilis* en las orientaciones cardinales: Norte, Sur, Este, Oeste y Suroeste, esta última se evaluó puesto que la dirección del viento predominante de la zona de estudio proviene en esa dirección.

Tabla 12  
Abundancia y frecuencia *R. gracilis* en forófitos evaluados

Forófito	Norte		Sur		Este		Oeste		Suroeste	
	A	F	A	F	A	F	A	F	A	F
$f_1$	0	0	0	0	0	0	5	3	3	3
$f_2$	0	0	9	6	1	1	1	1	12	7
$f_3$	0	0	58	10	0	0	37	8	78	10
$f_4$	0	0	56	9	23	5	5	4	20	5
$f_5$	0	0	52	9	2	1	2	2	18	2

A: Abundancia, F: Frecuencia

Los valores de abundancia y frecuencia de *Roccella gracilis* fueron mayores en la exposición cardinal Sur, Oeste y Suroeste, por lo tanto, esta especie presenta un patrón de segregación hacia dicha orientación cardinal. Además, el lado del árbol que presenta orientación Norte presentó los menores valores, siendo este lado ideal para el anidamiento de arañas, puesto que se evidenció presencia de telarañas en dicha orientación. Los patrones abundancia y distribución espacial encontrados entre las orientaciones cardinales fueron influenciadas por las condiciones de humedad y exposición solar.

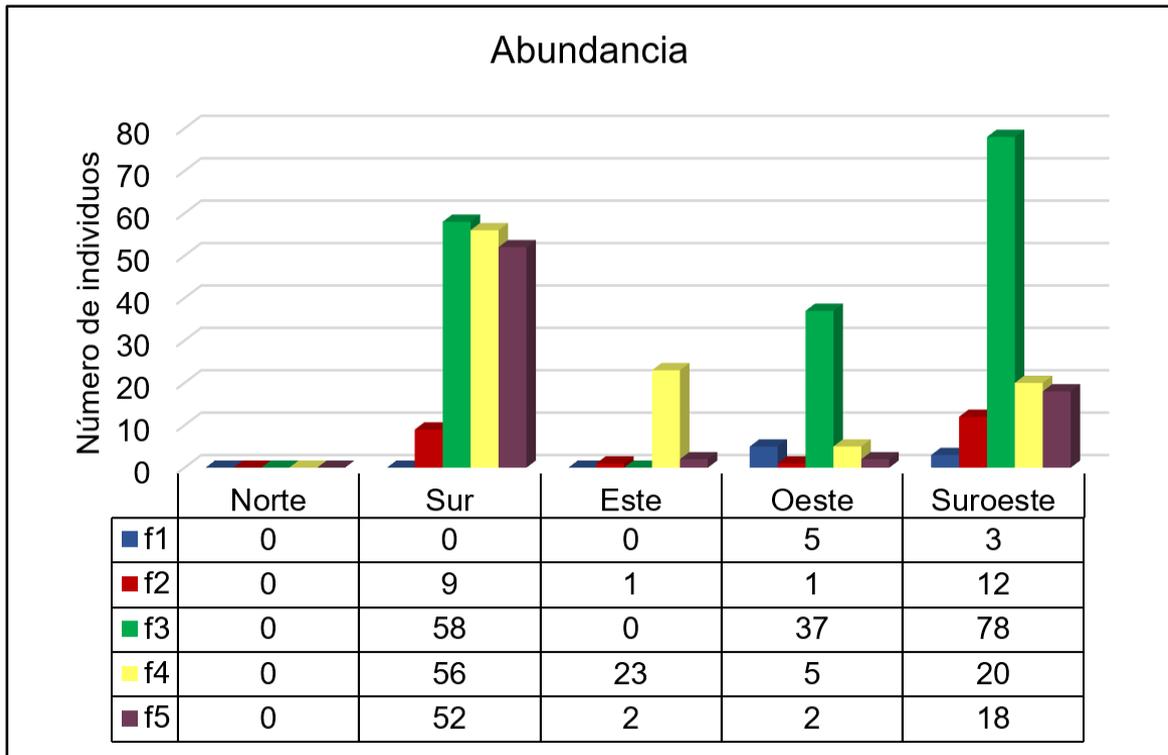


Figura 13. Abundancia (cantidad de individuos) de líquenes en cada forófito evaluado.

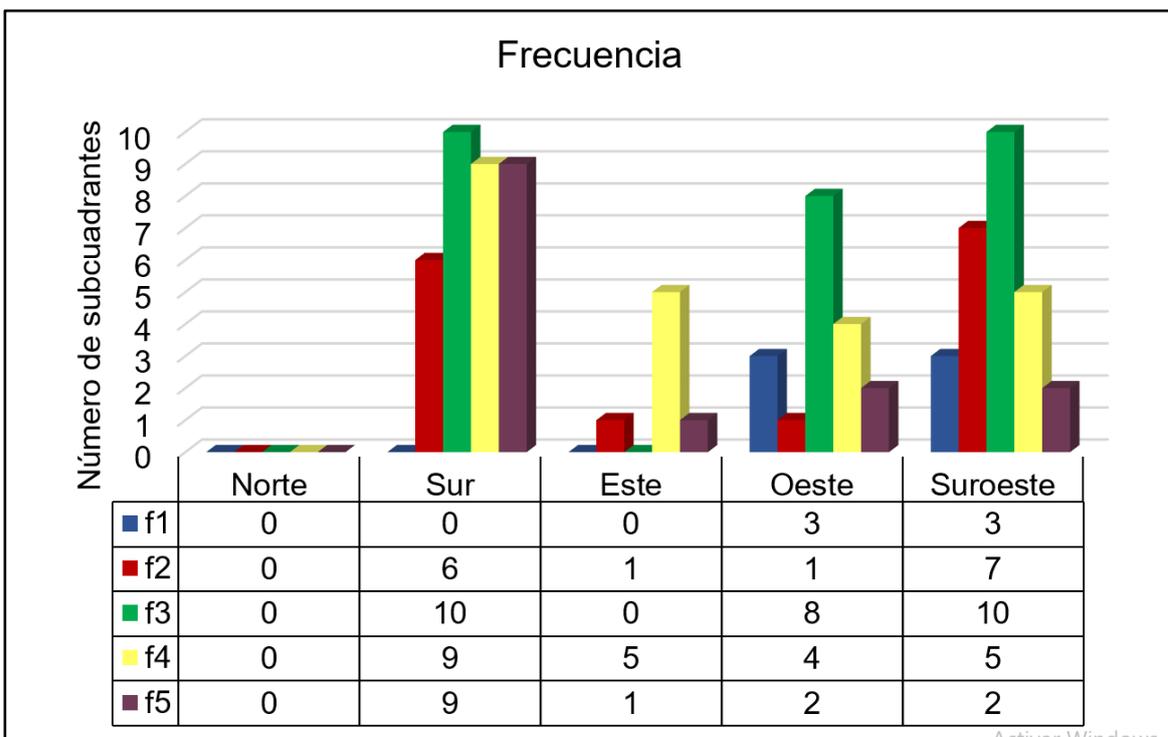


Figura 14. Frecuencia de líquenes en cada forófito evaluado.

### 3.3.4. Ecuación de la curva de crecimiento del líquen A

El registro fotográfico con escala milimetrada y su posterior análisis con un software especializado permitió determinar el área de cada líquen desde una vista superior paralela al sustrato. Las medidas del líquen A se presentan en la Tabla 13, con la cual se graficó la curva de crecimiento en función al área y tiempo (Fig. 15).

Tabla 13  
Área del líquen A

Año	Mes	Área (cm <sup>2</sup> )	
2018	Julio	M1	0,989468
2018	Agosto	M2	1,067143
2018	Septiembre	M3	1,101530
2018	Octubre	M4	1,118709
2018	Noviembre	M5	1,240282
2018	Diciembre	M6	1,282914
2019	Enero	M7	1,401036
2019	Febrero	M8	1,410667
2019	Marzo	M9	1,419011
2019	Abril	M10	1,429145
2019	Mayo	M11	1,440258
2019	Junio	M12	1,518854
2019	Julio	M13	1,572711
2019	Agosto	M14	1,597434
2019	Septiembre	M15	1,601246
2019	Octubre	M16	1,672341

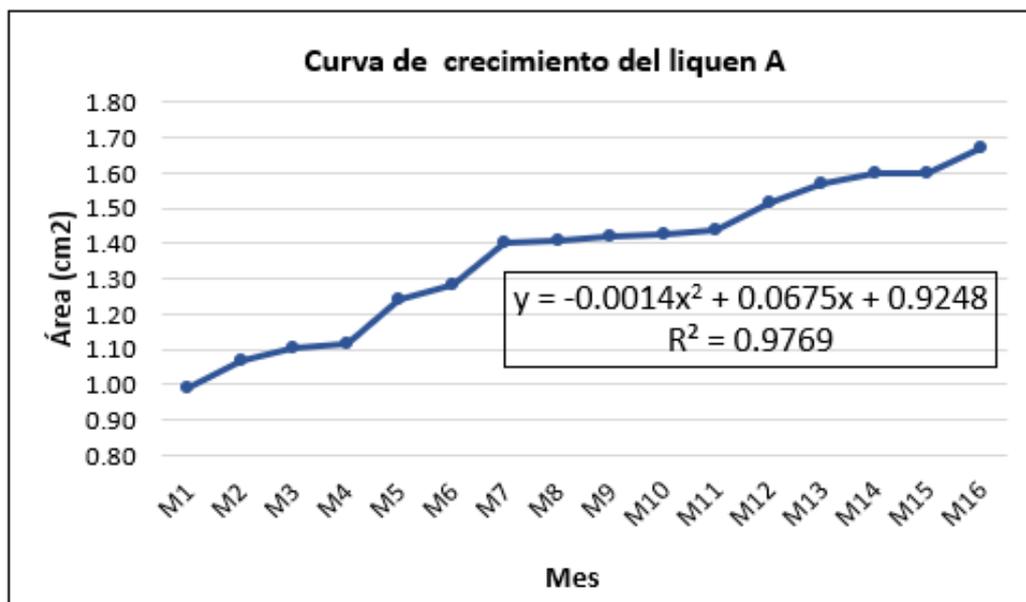


Figura 15. Curva de crecimiento del líquen A.

### 3.3.5. Ecuación de la curva de crecimiento del líquen B

El registro fotográfico con escala milimetrada y su posterior análisis con un software especializado permitió determinar el área de cada líquen desde una vista superior paralela al sustrato. Las medidas del líquen B se presentan en la Tabla 14, con la cual se graficó la curva de crecimiento (Fig. 16).

Tabla 14  
Área del líquen B

Año	Mes	Área (cm <sup>2</sup> )	
2018	Julio	M1	0,804915
2018	Agosto	M2	0,897639
2018	Septiembre	M3	0,982101
2018	Octubre	M4	1,196312
2018	Noviembre	M5	1,299819
2018	Diciembre	M6	1,308673
2019	Enero	M7	1,319107
2019	Febrero	M8	1,321839
2019	Marzo	M9	1,418884
2019	Abril	M10	1,492573
2019	Mayo	M11	1,501255
2019	Junio	M12	1,513384
2019	Julio	M13	1,677294
2019	Agosto	M14	1,702361
2019	Septiembre	M15	1,709867
2019	Octubre	M16	1,729365

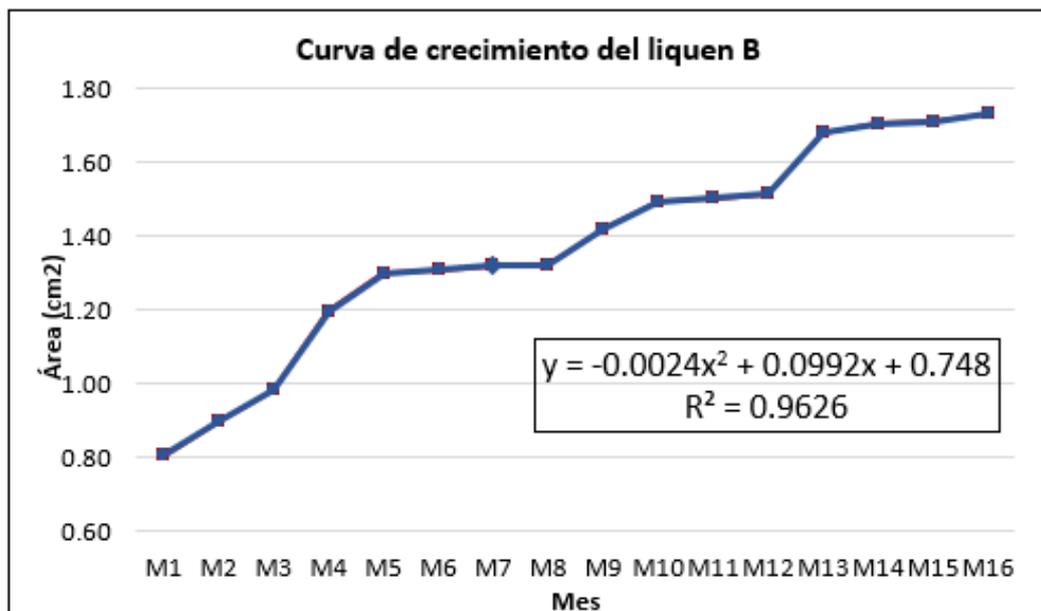


Figura 16. Curva de crecimiento del líquen B.

### 3.3.6. Determinación de metales pesados

El análisis de metales pesados se realizó en la parte del líquen que tuvo un crecimiento significativo en el tiempo de evaluación. Para este análisis se usó dos individuos del líquen *Roccella gracilis* Bory. A continuación, se muestran los resultados del análisis de la presencia de los metales pesados mediante el microscopio electrónico de barrido ambiental; en tablas donde se detalla los elementos en peso porcentaje (Wt %) y la representación gráfica.

#### **Muestra A: Líquen de la Zona 4.**

El líquen A fue uno de los individuos de *Roccella gracilis* evaluados en el forófito 4 ( $f_4$ ) de la zona 4.

Tabla 15  
*Partículas minerales determinadas en el líquen A*

N.º	Nombre común	Fórmula química
1.	Barita	$BaSO_4$
2.	Calcopirita	$CuFeS_2$
3.	Celestina	$SrSO_4$
4.	Galena	$PbS$
5.	Goethita	$FeO(OH)$
6.	Tennantita	$Cu_{12}As_4S_{13}$

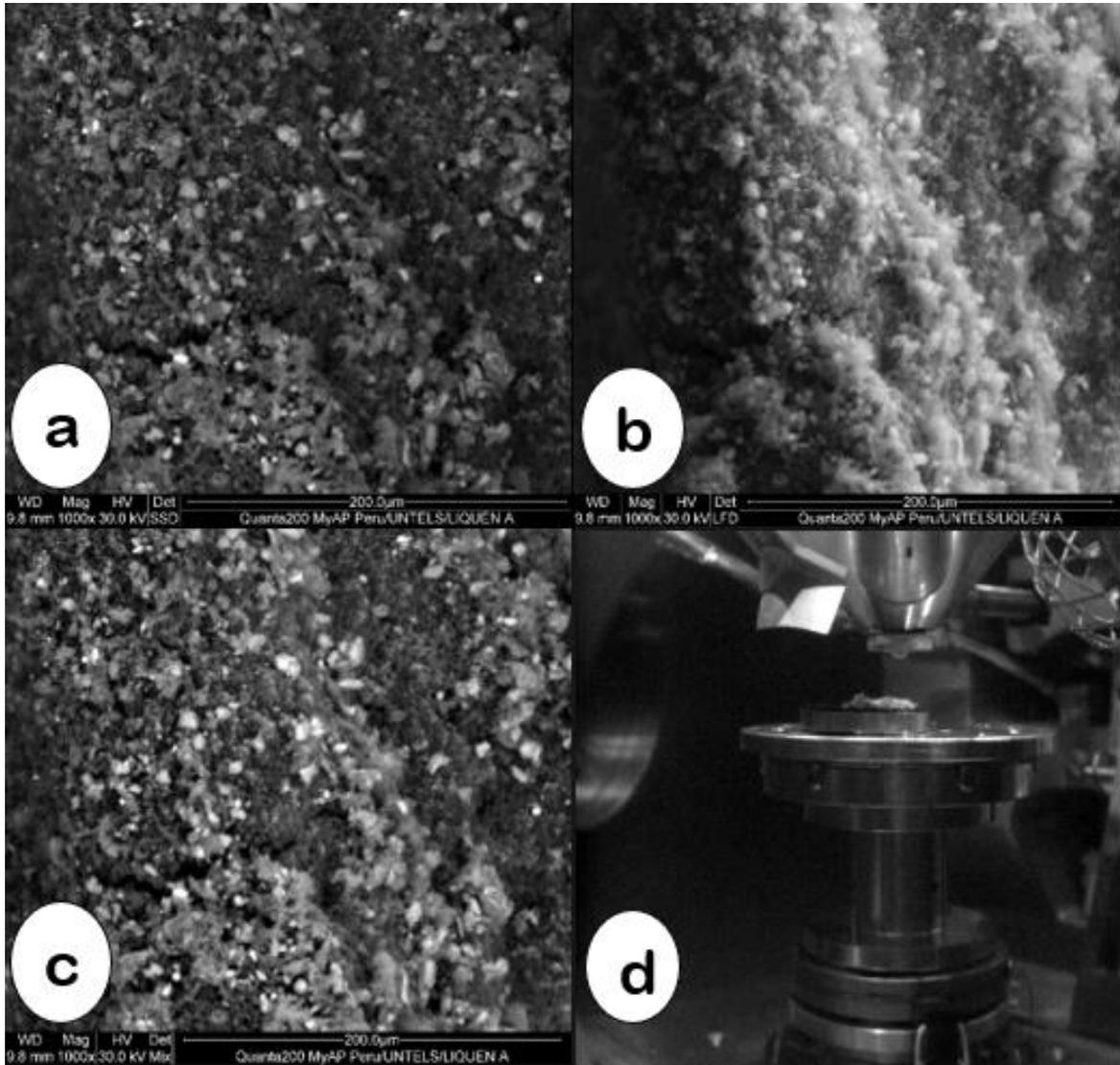


Figura 17. Imágenes SSD, LFD y mixta de la región 1 de la muestra A. (a) Imagen SSD. (b) Imagen LFD muestra la morfología de la región 1 del líquen *R. gracilis*. (c) Imagen mixta muestra la presencia de partículas adheridas al líquen. (d) Muestra colocada en el microscopio.

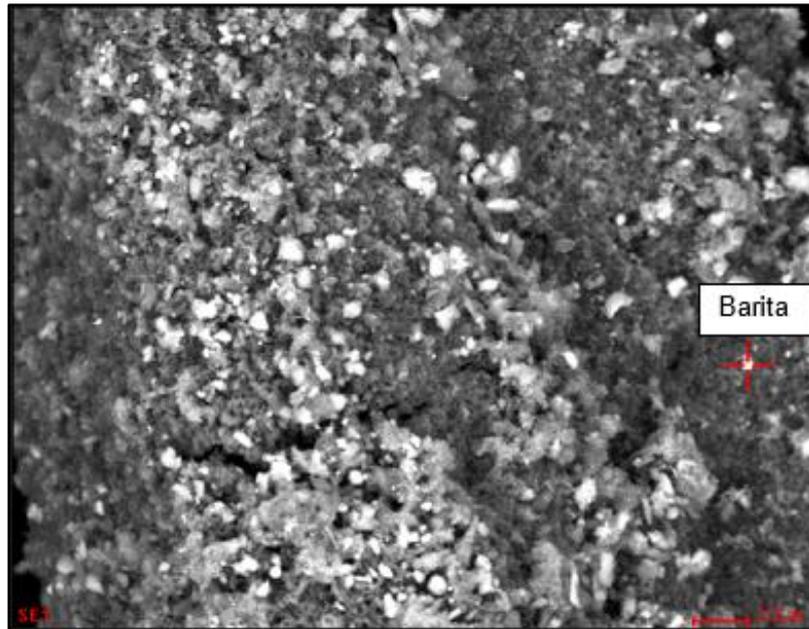


Figura 18. Partícula de barita hallada en la región 1 de la muestra A.

Tabla 16  
Concentración de elementos químicos del mineral barita

Elemento	Wt (%)
O	59.58
S	9.83
Ba	30.58

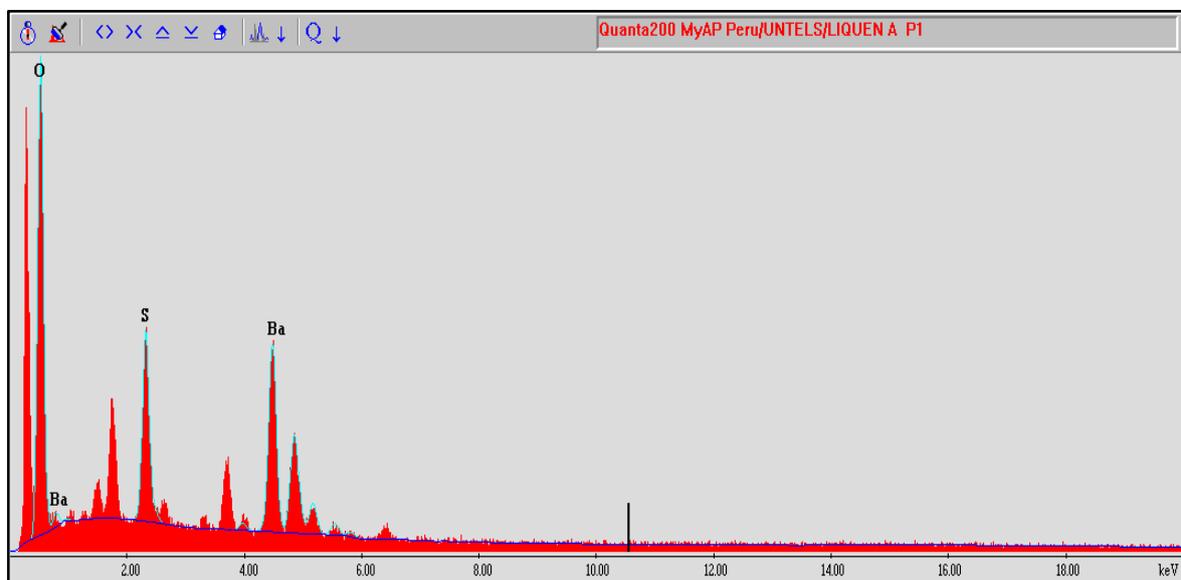


Figura 19. Espectroscopía de energía dispersa (EDS) del mineral barita analizada de la región 1 de la muestra A.

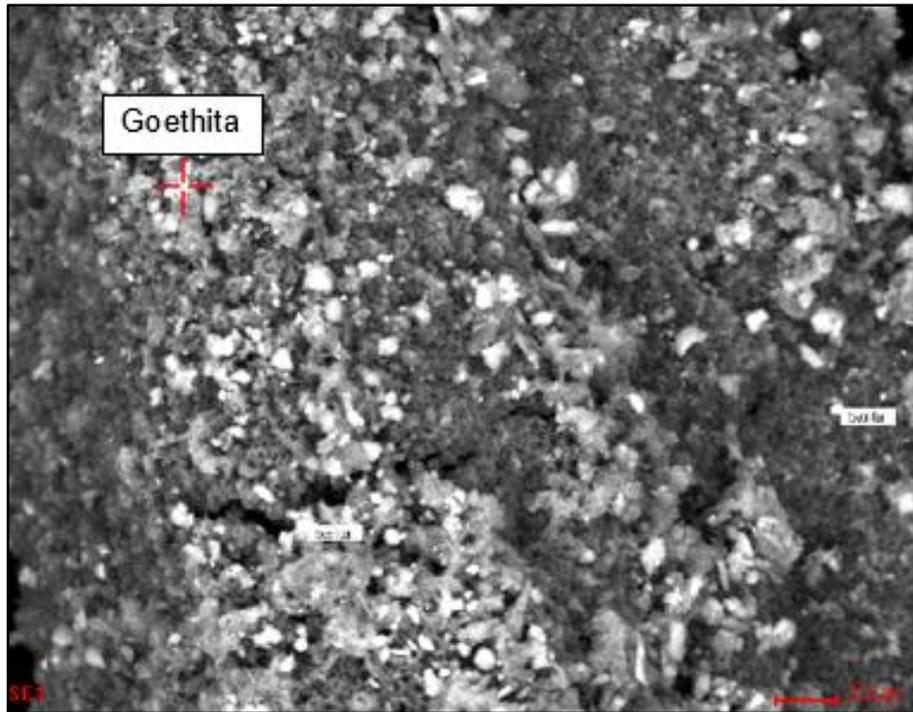


Figura 20. Partícula de goethita hallada en la región 1 de la muestra A.

Tabla 17  
Concentración de elementos químicos del mineral goethita

Elemento	Wt (%)
O	46.97
Ti	3.60
V	0.11
Fe	49.32

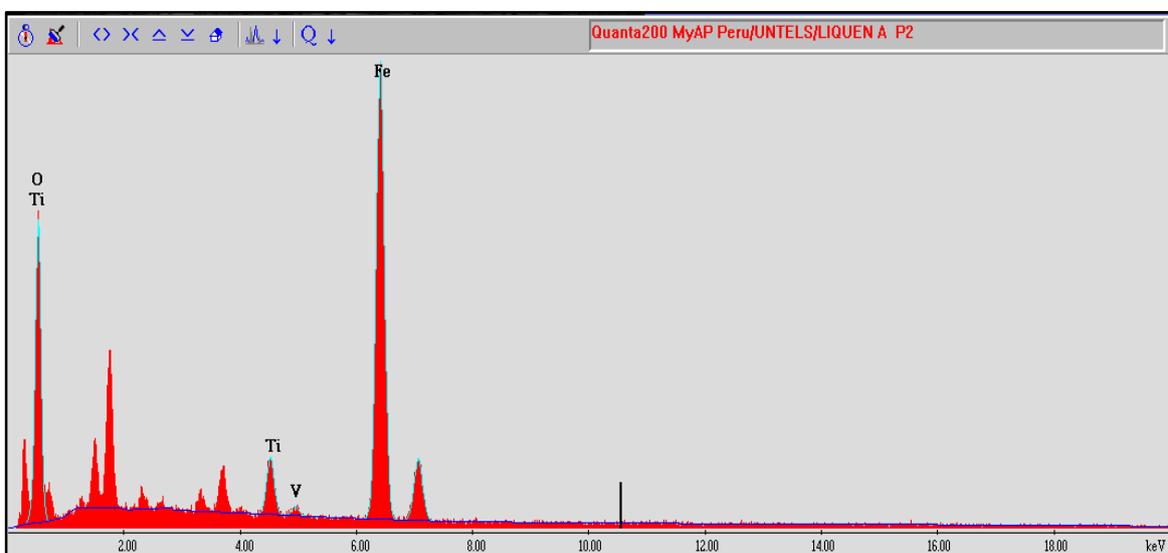


Figura 21. Espectroscopía de energía dispersa (EDS) del mineral goethita, analizada en la región 1 de la muestra A.

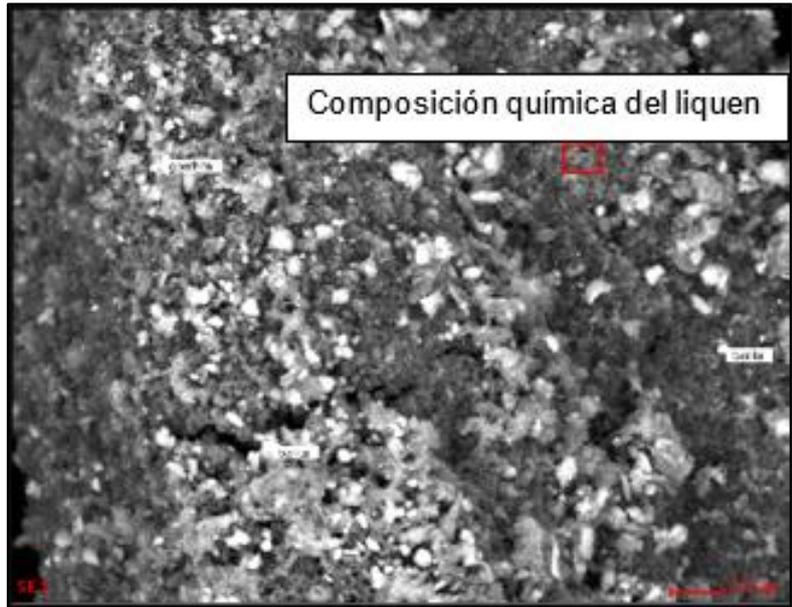


Figura 22. Composición química del liquen *Roccella gracilis*.

Tabla 18  
Composición química de *R. gracilis*

Elemento	Wt (%)
C	57.24
O	36.78
Na	0.50
Mg	0.18
Al	0.34
Si	0.81
P	0.02
S	0.31
Cl	0.59
K	0.18
Ca	2.81
Fe	0.24

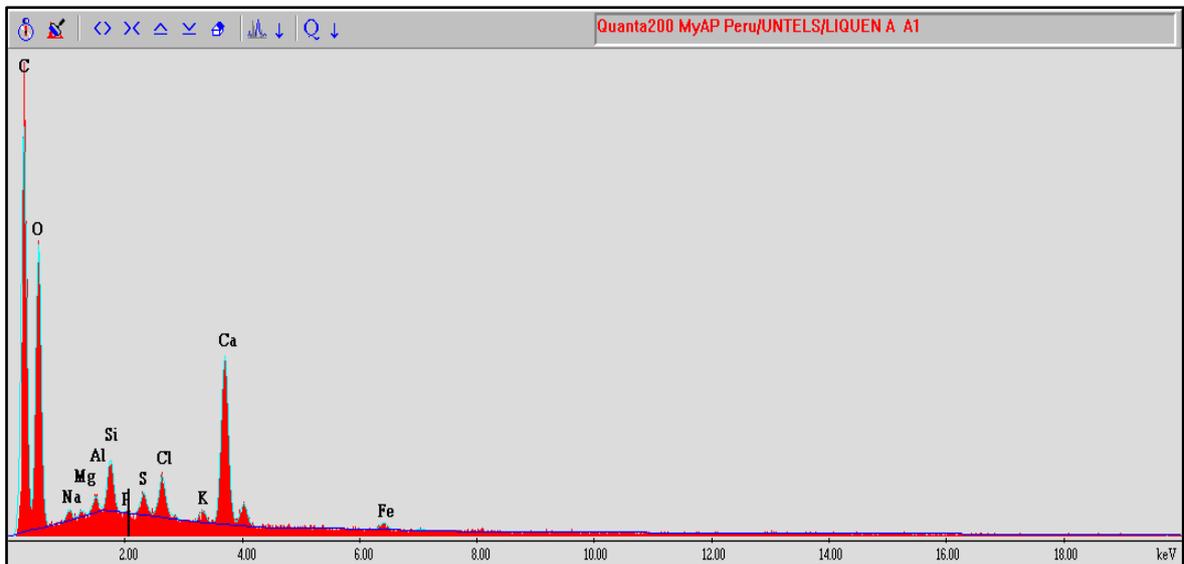


Figura 23. Espectroscopía de energía dispersa (EDS) de *R. gracilis* de la región 1 de la muestra A.

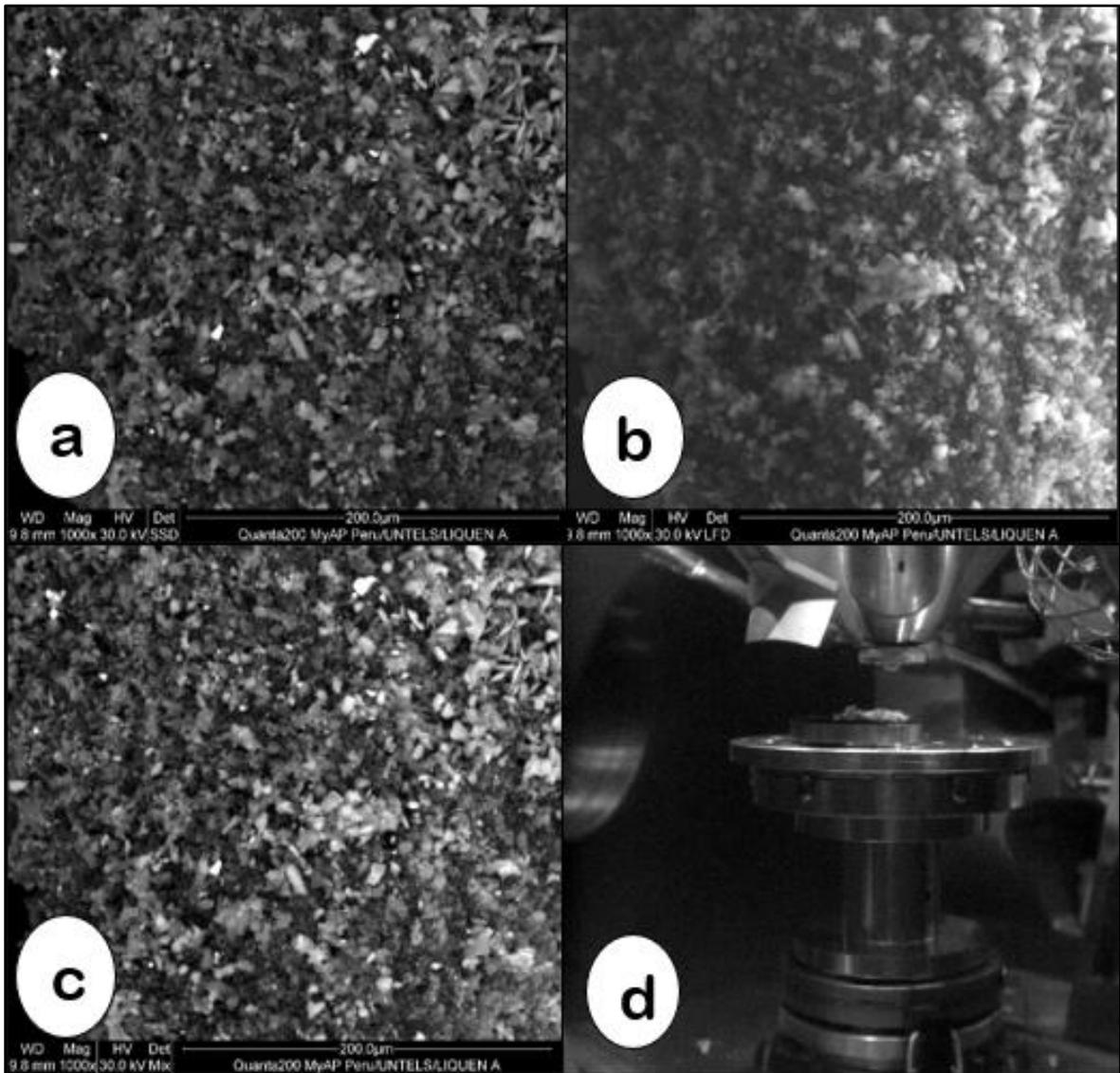


Figura 24. Imágenes SSD, LFD y mixta de la región 2 de la muestra A. (a) Imagen SSD. (b) Imagen LFD muestra la morfología de la región 2 del líquen *R. gracilis*. (c) Imagen mixta muestra la presencia de partículas adheridas al líquen. (d) Muestra colocada en el microscopio.

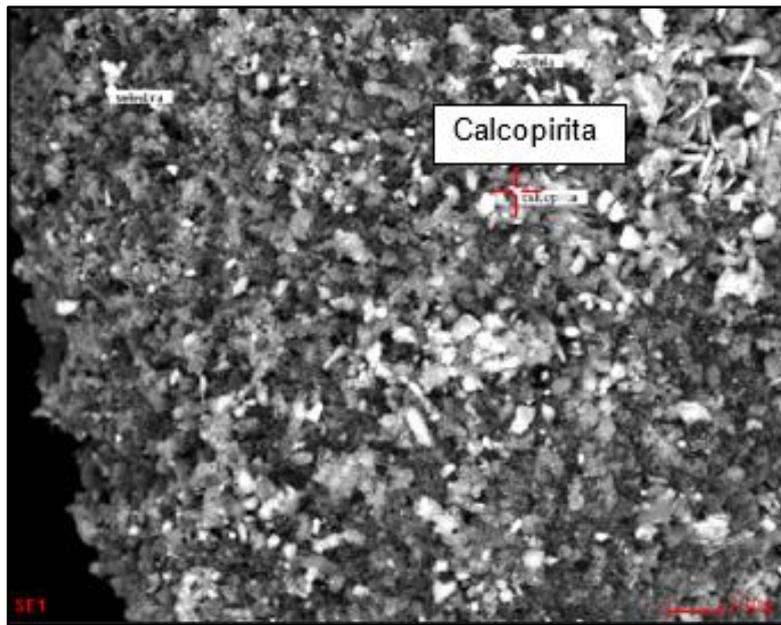


Figura 25. Partícula de calcopirita hallada en la región 2 de la muestra A.

Tabla 19

Concentración de elementos químicos del mineral calcopirita

Elemento	Wt (%)
S	37.34
Fe	29.05
Cu	33.61

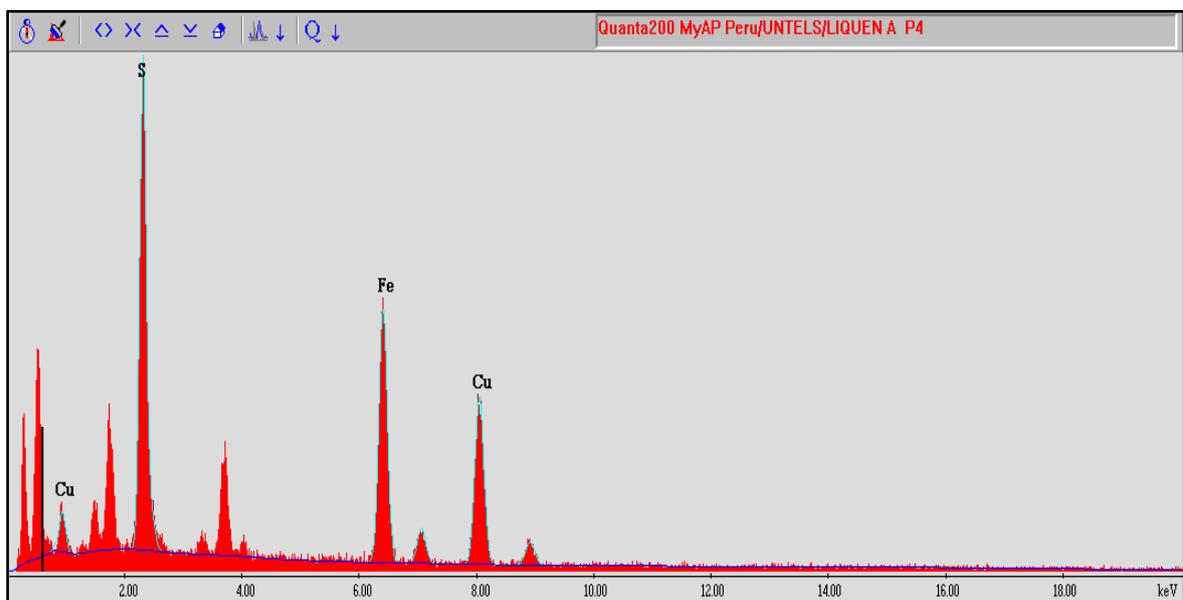


Figura 26. Espectroscopía de energía dispersa (EDS) del mineral calcopirita analizada de la región 2 de la muestra A.

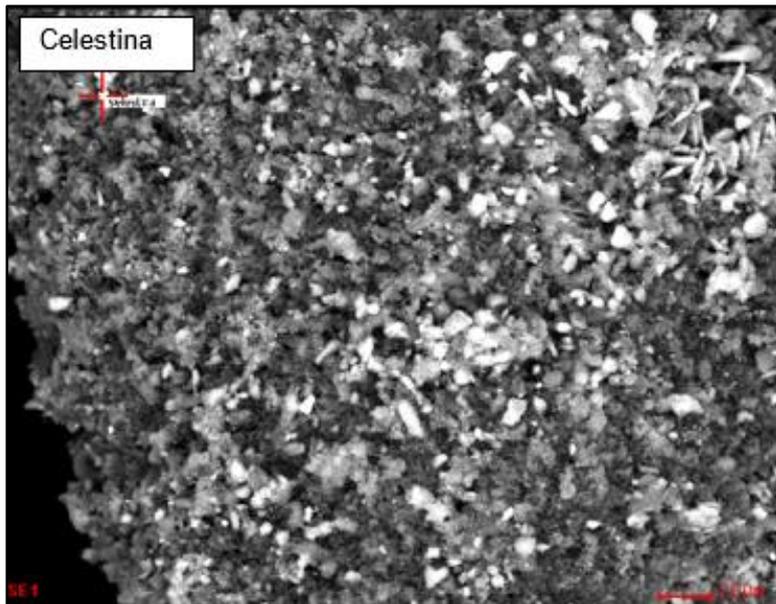


Figura 27. Partícula de celestina hallada en la región 2 de la muestra A.

Tabla 20  
Concentración de elementos químicos del mineral celestina

Elemento	Wt (%)
O	46.59
S	14.80
Sr	38.61

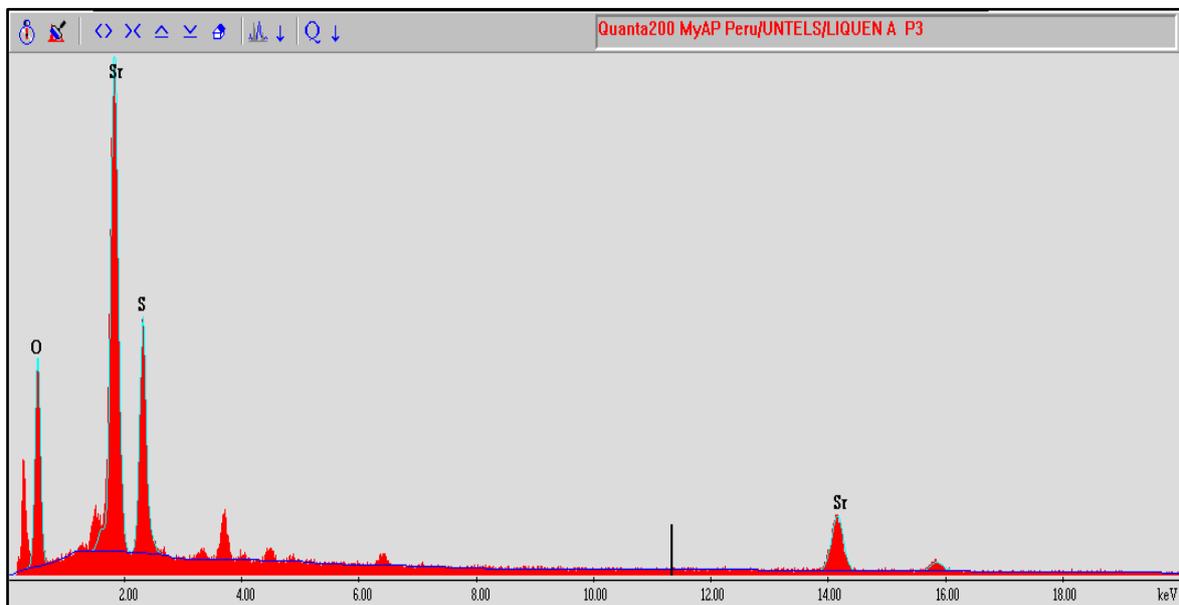


Figura 28. Espectroscopía de energía dispersa (EDS) del mineral celestina analizada de la región 2 de la muestra A.

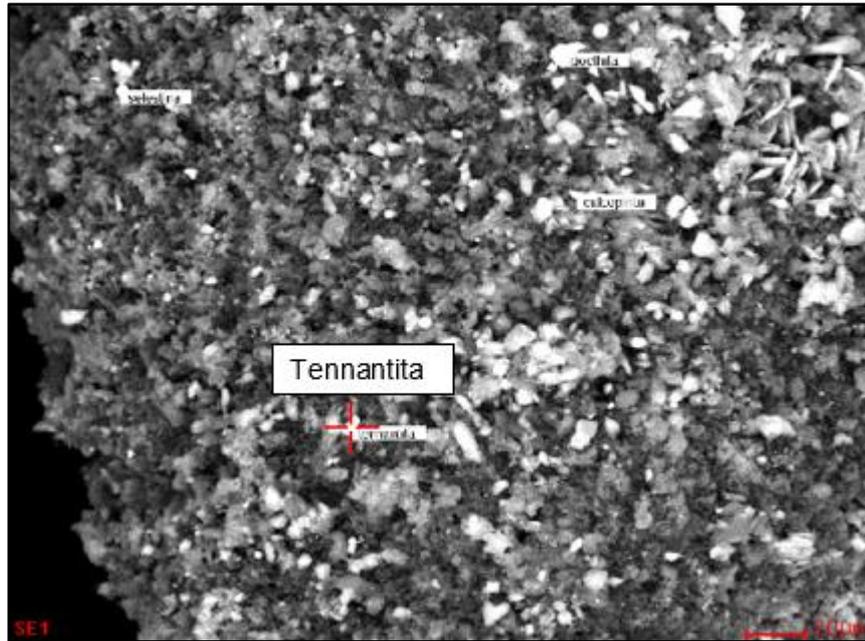


Figura 29. Partícula de tennantita hallada en la región 2 de la muestra A.

Tabla 21

Concentración de elementos químicos del mineral tennantita

Elemento	Wt (%)
S	37.08
Cu	42.31
As	20.62

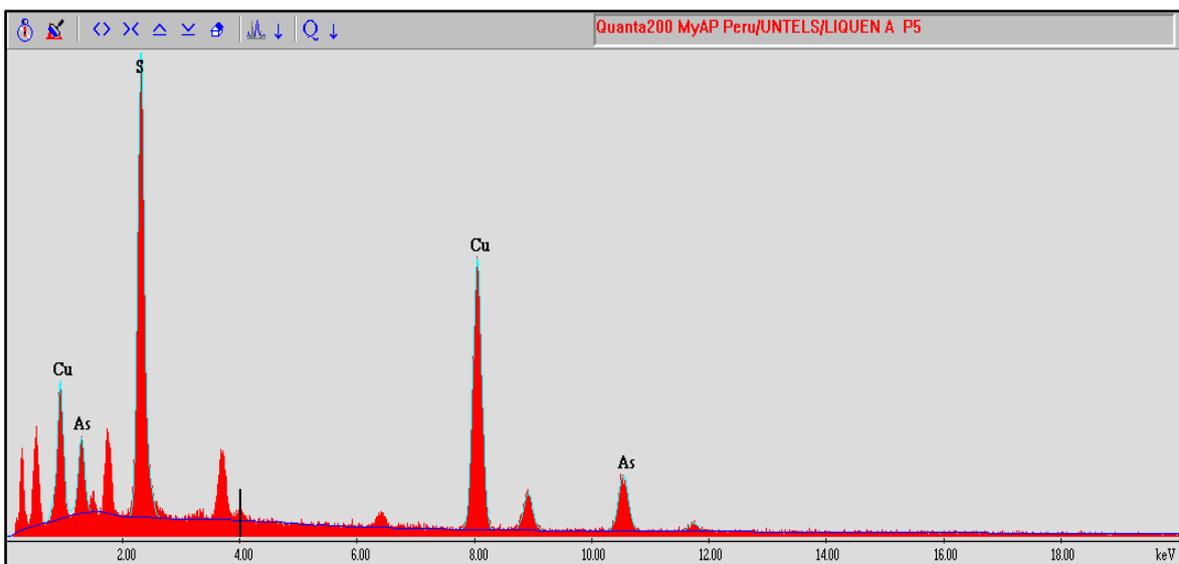


Figura 30. Espectroscopía de energía dispersa (EDS) del mineral tennantita analizada en la región 2 de la muestra A.

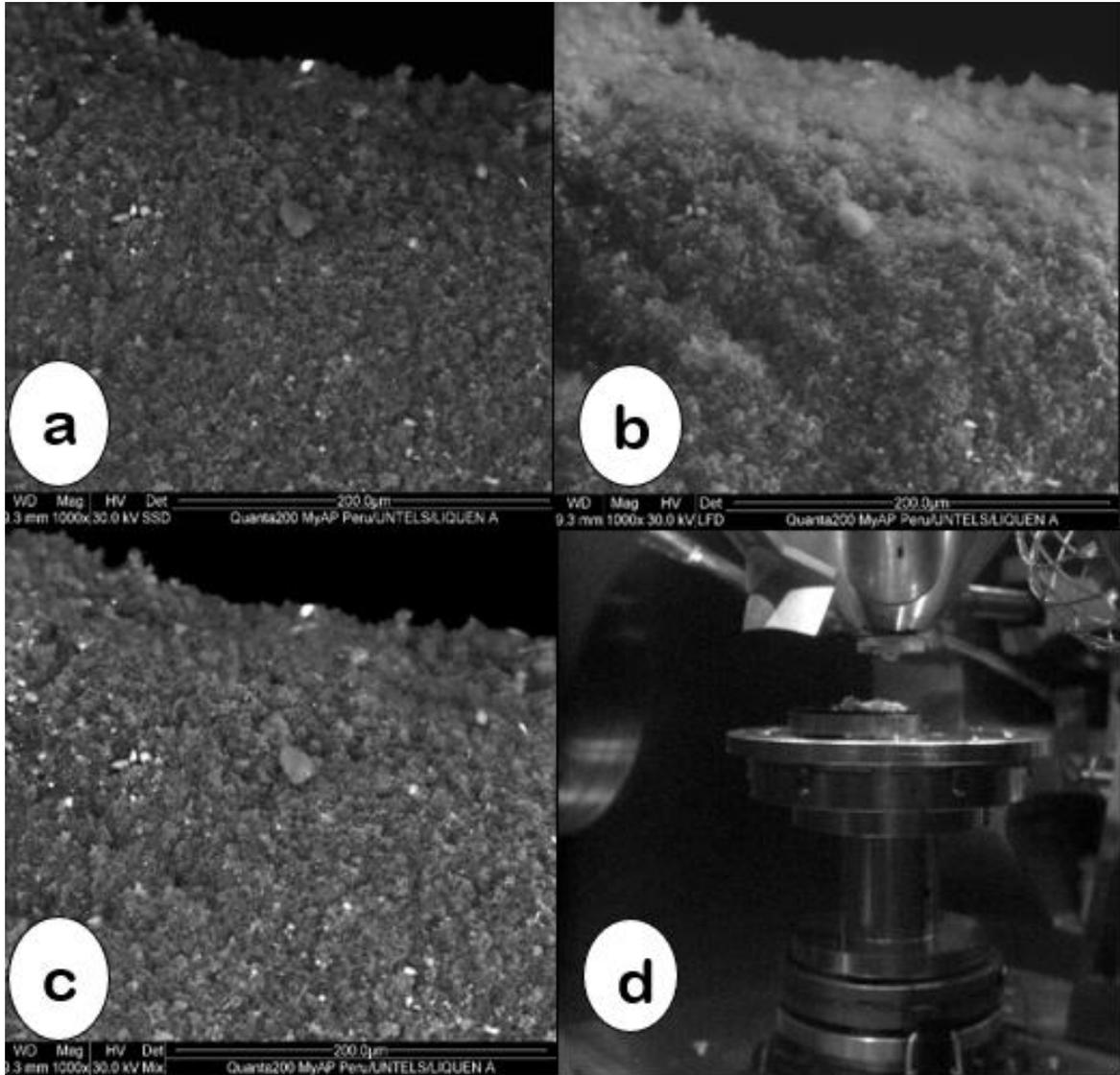


Figura 31. Imágenes SSD, LFD y mixta de la región 3 de la muestra A. (a) Imagen SSD. (b) Imagen LFD muestra la morfología de la región 3 del líquen *R. gracilis*. (c) Imagen mixta muestra la presencia de partículas adheridas al líquen. (d) Muestra colocada en el microscopio.

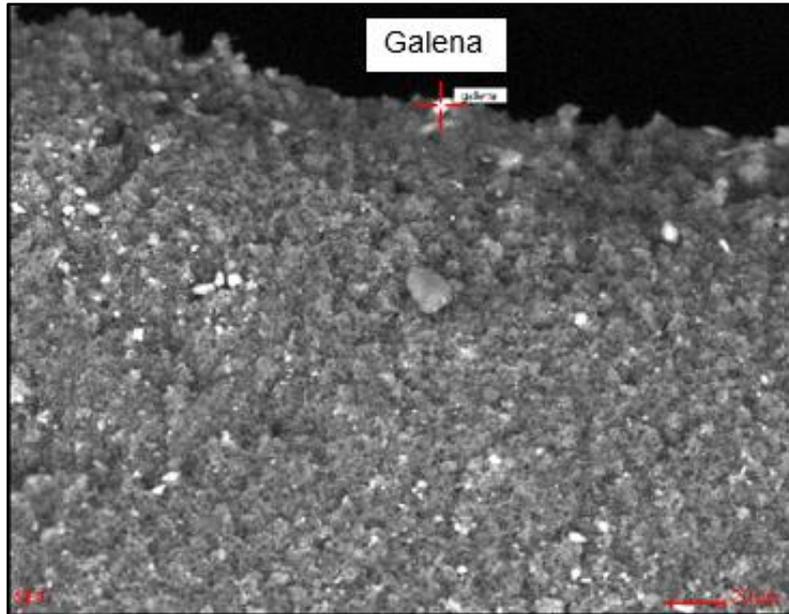


Figura 32. Partícula de galena hallada en la región 3 de la muestra A.

Tabla 22

*Concentración de elementos químicos del mineral galena*

Elemento	Wt (%)
S	14.75
Pb	85.25

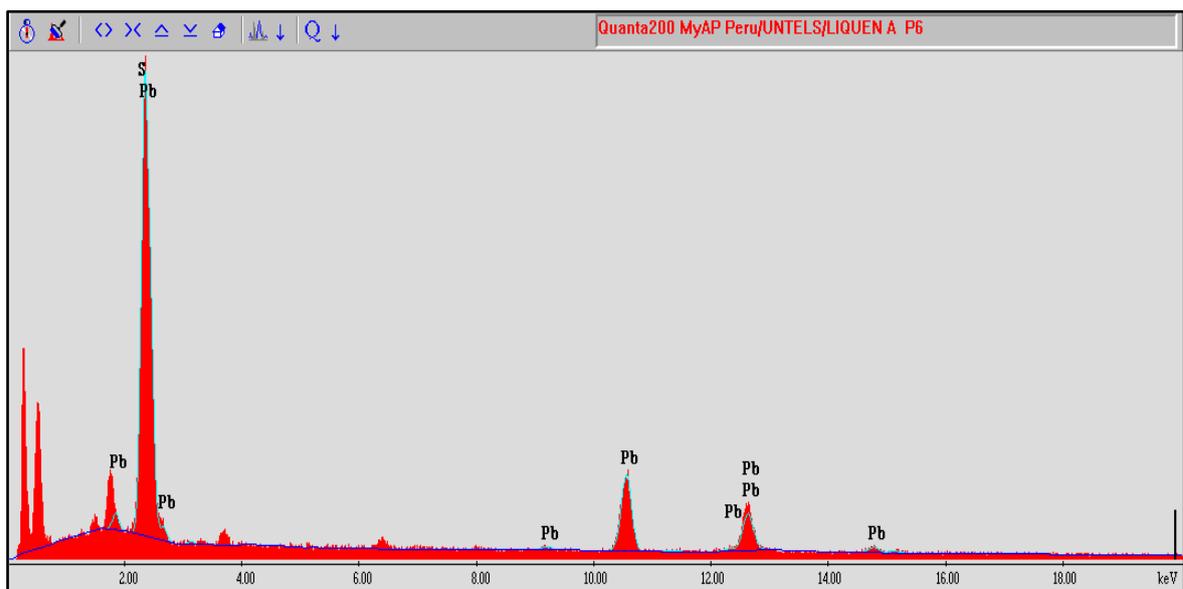


Figura 33. Espectroscopía de energía dispersa (EDS) del mineral galena analizada de la región 3 de la muestra A.

### Muestra B: Liquen de la Zona 3.

El liquen B fue uno de los individuos de *R. gracilis* evaluados en el forófito 3 ( $F_3$ ) de la zona 3.

Tabla 23  
Partículas minerales del liquen B

N.º	Nombre común	Fórmula química
1.	Barita	$BaSO_4$
2.	Calcopirita	$CuFeS_2$
3.	Celestina	$SrSO_4$
4.	Galena	$PbS$
5.	Goethita	$FeO(OH)$
6.	Tennantita	$Cu_{12}As_4S_{13}$
7.	Marmatita	$(ZnFe)S$

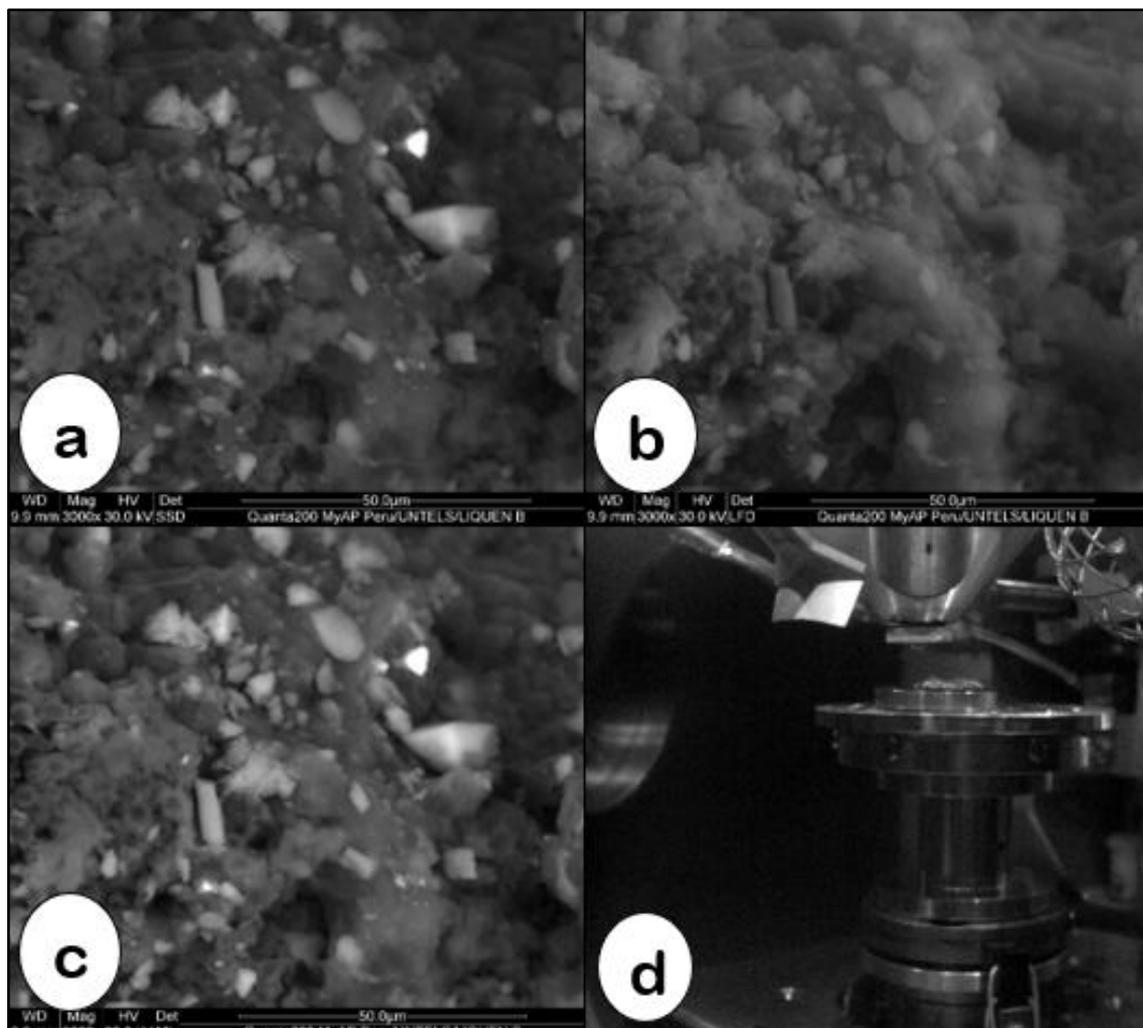


Figura 34. Imágenes SSD, LFD y mixta de la región 1 de la muestra B. (a) Imagen SSD. (b) Imagen LFD muestra la morfología de la región 1 del liquen *R. gracilis*. (c) Imagen mixta muestra la presencia de partículas adheridas al liquen. (d) Muestra colocada en el microscopio.

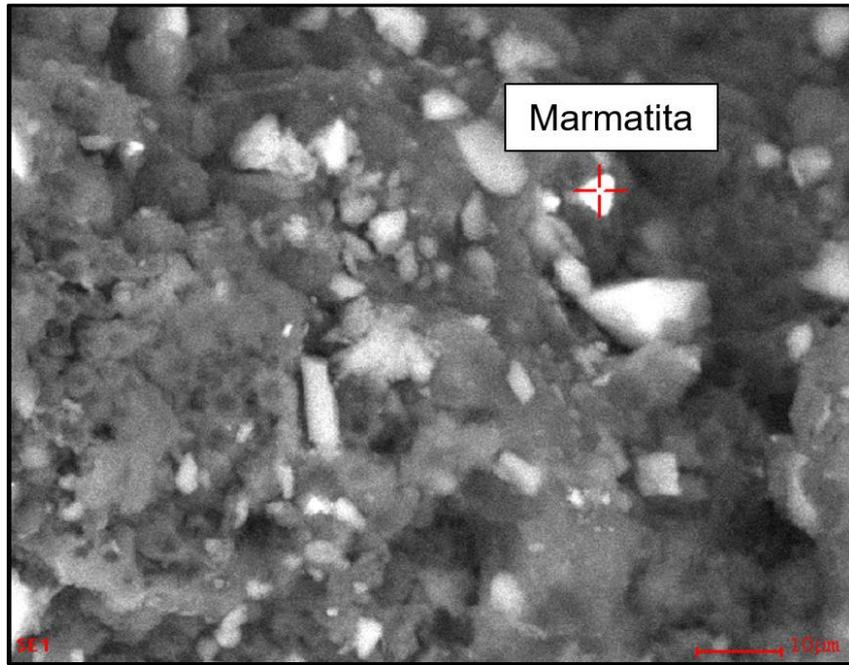


Figura 35. Partícula de marmatita hallada en la región 1 de la muestra B.

Tabla 24  
Concentración de elementos químicos del mineral marmatita

Elemento	Wt (%)
S	41.08
Cd	0.67
Fe	9.15
Co	0.43
Zn	48.67

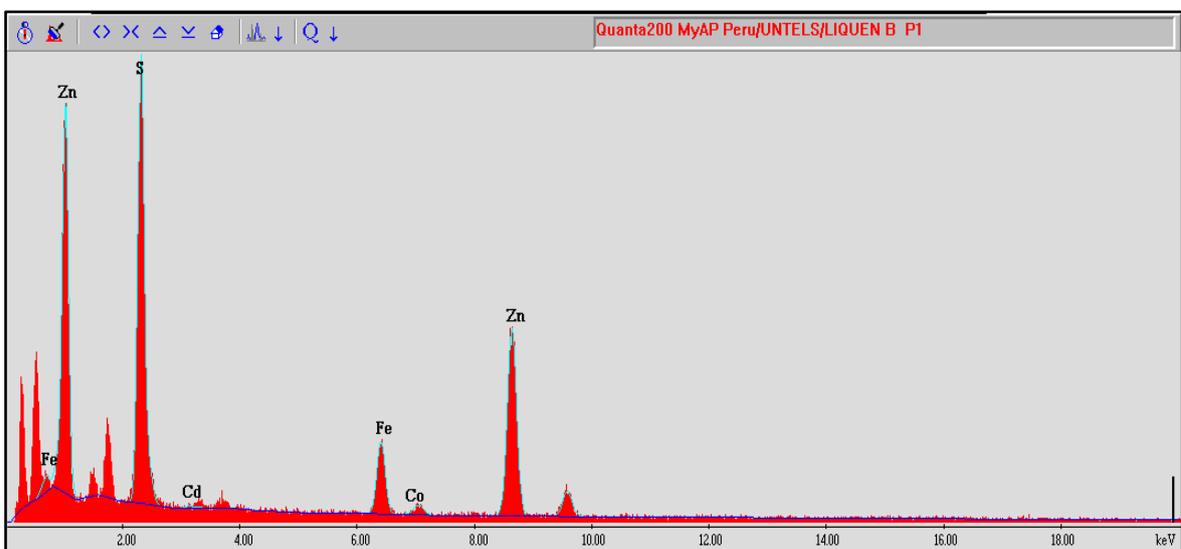


Figura 36. Espectroscopía de energía dispersa (EDS) del mineral marmatita analizada de la región 1 de la muestra B.

### 3.3.7. Factores meteorológicos

#### a) *Temperatura ambiental:*

La temperatura promedio mensual más alta fue 25,02 °C la cual se registró en el mes de febrero del 2019 y la temperatura mínima fue de 15,01 °C en agosto del 2019.

Tabla 25  
*Datos de temperatura ambiental*

Temperatura media mensual (°C)		
Año	Mes	Temperatura (°C)
2018	Julio	16.56
2018	Agosto	16.08
2018	Septiembre	16.36
2018	Octubre	17.65
2018	Noviembre	19.23
2018	Diciembre	21.17
2019	Enero	23.27
2019	Febrero	25.02
2019	Marzo	23.25
2019	Abril	21.44
2019	Mayo	18.77
2019	Junio	16.54
2019	Julio	15.62
2019	Agosto	15.01
2019	Septiembre	15.79
2019	Octubre	16.46
Media		18.64

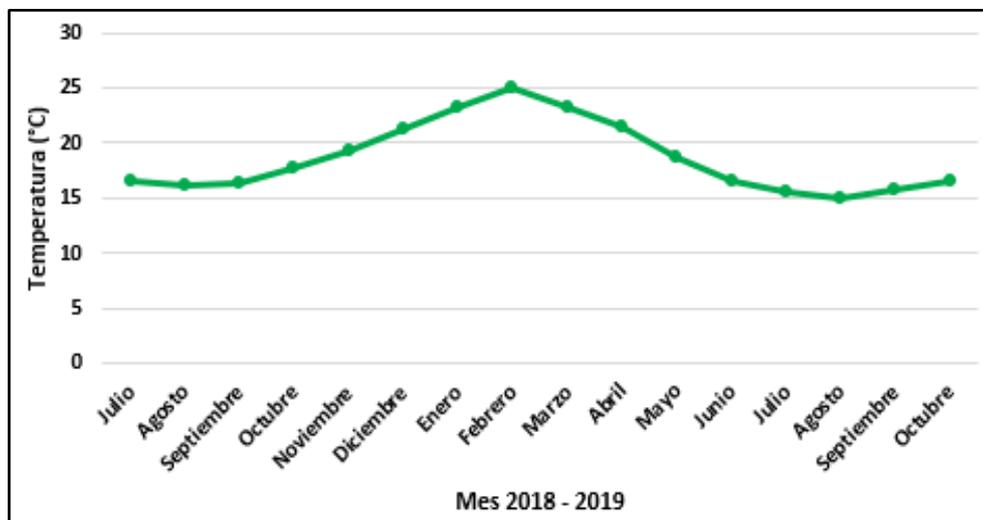


Figura 37. Variación mensual de la temperatura del periodo julio 2018 – octubre 2019. Datos meteorológicos de la estación meteorológica del SENAMHI.

**b) Humedad relativa**

El mes de junio del 2019 se registró la mayor humedad relativa media mensual la cual fue 89.03 %. La humedad relativa mínima fue de 76,28 % en el mes de febrero del 2019.

Tabla 26  
*Datos de humedad relativa*

Humedad Relativa media mensual (%)		
Año	Mes	Humedad
2018	Julio	87.73
2018	Agosto	86.27
2018	Septiembre	85.83
2018	Octubre	83.64
2018	Noviembre	80.08
2018	Diciembre	79.52
2019	Enero	78.86
2019	Febrero	76.28
2019	Marzo	76.91
2019	Abril	80.46
2019	Mayo	85.36
2019	Junio	89.03
2019	Julio	88.84
2019	Agosto	88.38
2019	Septiembre	87.66
2019	Octubre	85.12
Media		83.75

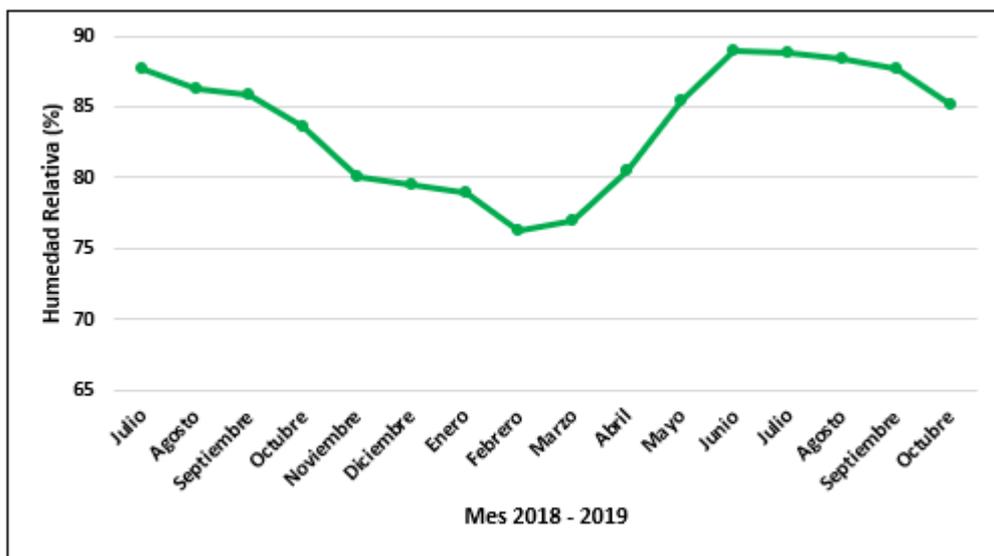


Figura 38. Variación mensual de la humedad relativa del periodo julio 2018 – octubre 2019. Datos meteorológicos de la estación meteorológica del SENAMHI.

### c) Precipitación

El mes de julio del 2018 registró la mayor precipitación mensual la cual fue 4,2 mm. La precipitación mensual mínima fue 0 mm registrado en el mes de diciembre del 2018, marzo y abril del 2019.

Tabla 27  
Datos de precipitación

Precipitación Total Mensual (mm)		
Año	Mes	Precipitación
2018	Julio	4.20
2018	Agosto	1.6
2018	Septiembre	1.7
2018	Octubre	2.7
2018	Noviembre	0.2
2018	Diciembre	0
2019	Enero	0.5
2019	Febrero	0.1
2019	Marzo	0
2019	Abril	0
2019	Mayo	2.5
2019	Junio	3.4
2019	Julio	3.5
2019	Agosto	5.9
2019	Septiembre	2.7
2019	Octubre	1
Media		1.88

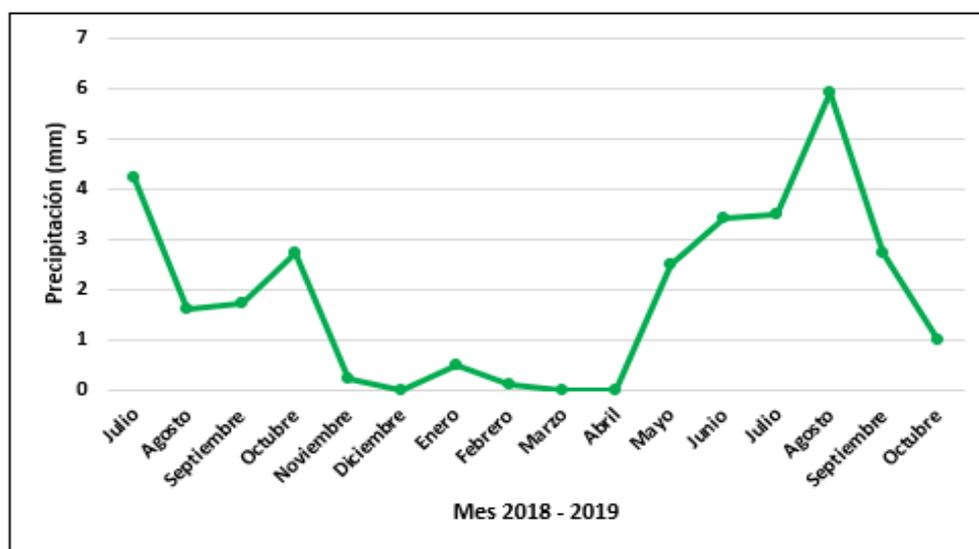


Figura 39. Variación mensual de la precipitación total del Periodo julio 2018 – octubre 2019. Datos meteorológicos de la estación meteorológica del SENAMHI.

#### d) Velocidad del viento

El mes de noviembre del 2018 se registró el valor máximo de velocidad la cual fue 2,8 m/s. La velocidad del viento mínima fue 1,82 m/s registrado en el mes de junio del 2019.

Tabla 28  
Datos de velocidad del viento

Velocidad del Viento Media Mensual (m/s)		
Año	Mes	Velocidad (m/s)
2018	Julio	2.02
2018	Agosto	2.21
2018	Septiembre	2.47
2018	Octubre	2.57
2018	Noviembre	2.8
2018	Diciembre	2.69
2019	Enero	2.55
2019	Febrero	2.64
2019	Marzo	2.52
2019	Abril	2.28
2019	Mayo	2.05
2019	Junio	1.82
2019	Julio	1.98
2019	Agosto	2.05
2019	Septiembre	2.41
2019	Octubre	2.39
Media		2.34

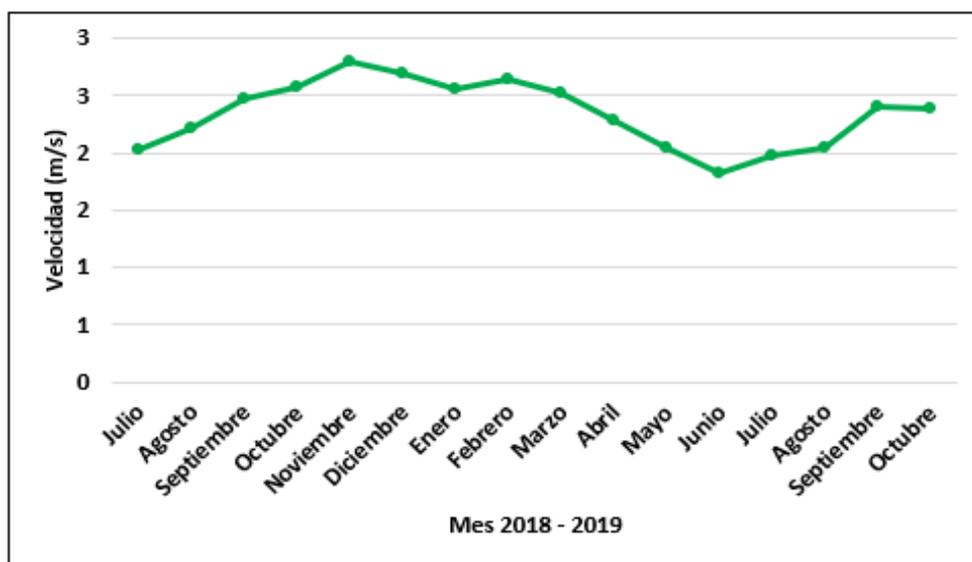


Figura 40. Variación mensual de la velocidad del viento del periodo julio 2018 – octubre 2019. Datos meteorológicos de la estación meteorológica del SENAMHI.

### e) Dirección del viento

La dirección del viento predominante periodo julio 2018 – octubre 2019 fue Suroeste (SW), desplazándose desde el Sureste hacia el Noreste.

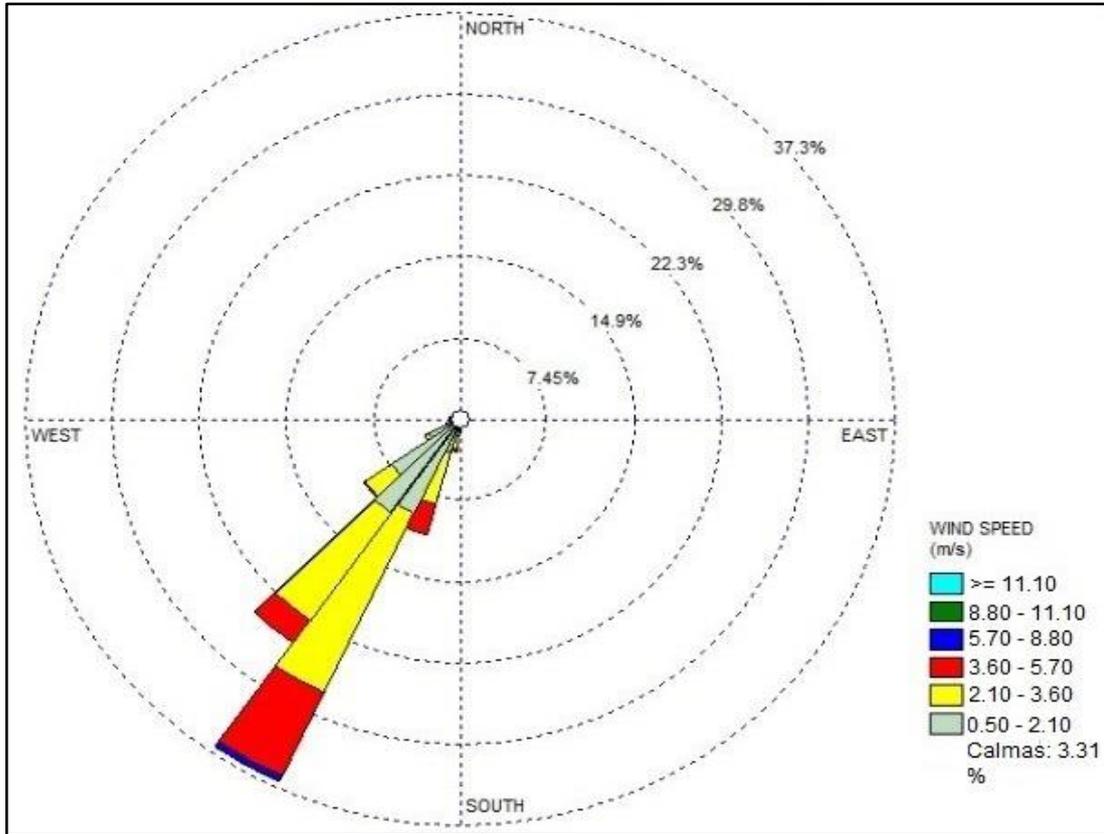


Figura 41. Rosa de Vientos elaborada con los datos de la estación meteorológica Campo Marte.

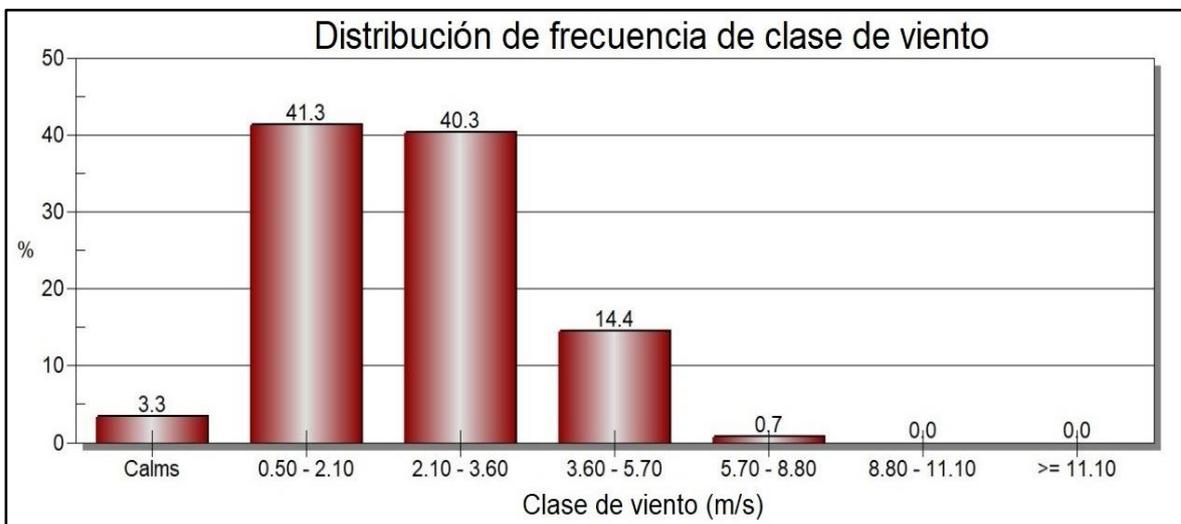


Figura 42. Distribución de frecuencia de la clase de viento.

En la Figura 43 se observa que las velocidades del viento registradas, el 41,3 % estuvieron entre 0,50 y 2,1 m/s estos son vientos de tipo ventolina y vientos suaves; el 40,3% representaron las velocidades que oscilaron entre 2,1 y 3,6 m/s clasificados como vientos de tipo suave y leve; y el 14,4% representaron las velocidades que oscilaron entre 3,60 y 5,7 m/s clasificados como vientos de tipo leve a moderado.

### **Ubicación geográfica de la rosa de viento**

Los vientos predominantes provinieron del Suroeste desplazándose hacia el Noroeste.

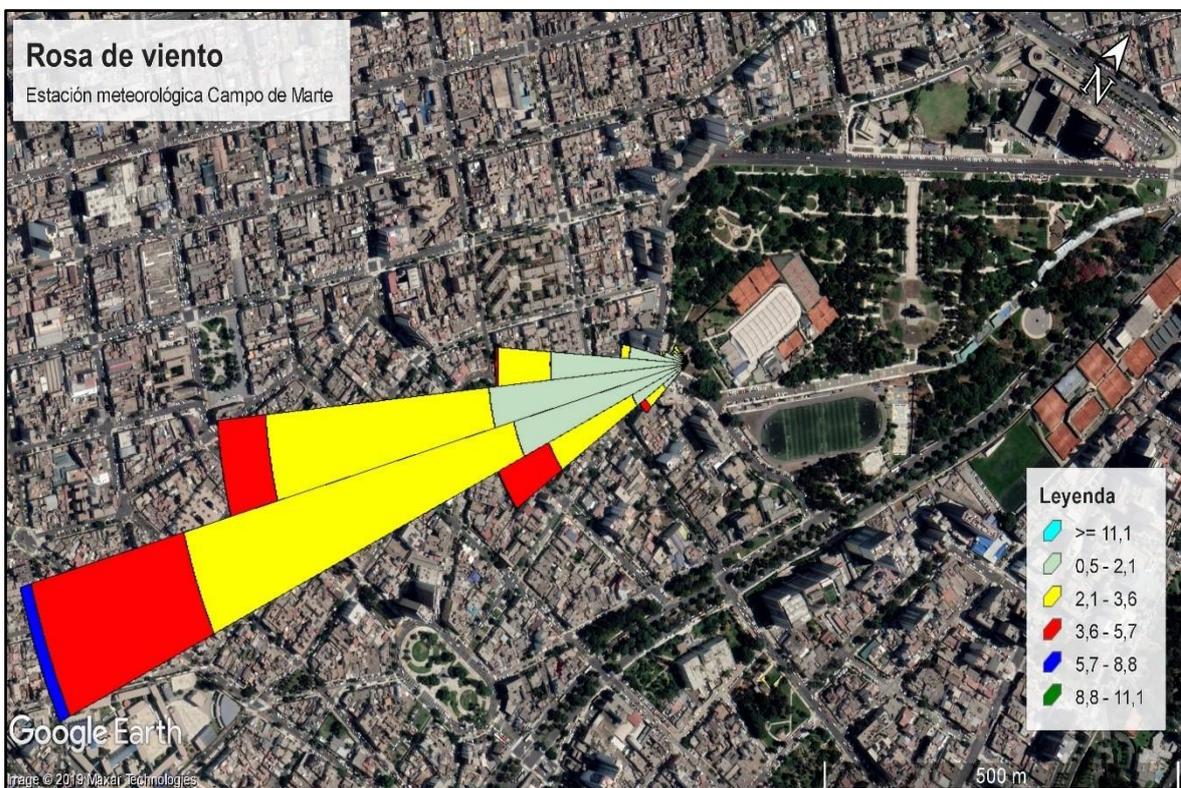


Figura 43. Rosa de Vientos superpuesto en Google Earth Pro.

## DISCUSIÓN

En el estudio presentado por Tovar y Aguinaga (1994) mencionaron las especies *Ramalina* sp., *Chrysothrix* sp. y *Arthonia* sp., en este trabajo se corrige el nombre de *Ramalina* por *Roccella gracilis* Bory y se registra adicionalmente las especies cf. *Lecidea* sp. y *Graphis* sp.

Del total de 4 especies de líquenes encontradas, 3 corresponde al biotipo crustoso y 1 al biotipo fruticoso, siendo concordante con lo expuesto por Le Blanc & De Sloover (1970) que en general los líquenes crustosos son menos sensibles a la contaminación y los líquenes fruticosos son más sensibles. Adicionalmente, los líquenes de biotipo crustoso fueron los más frecuentes en el parque, debido a la elevada humedad relativa, puesto que, según Lakatos, Rascher & Budel (2006) los líquenes de este biotipo dejan escurrir eficientemente el flujo de agua de las ramas superiores del árbol.

Canseco, Anze y Franken (2006) y Lijteroff, Lima y Prieri (2009) al comparar la liquenobiota de dos áreas geográficas con similares características, la mayor cobertura y frecuencia de líquenes se presentó en las zonas donde existió menos contaminación antropogénica como es el caso de la zona central del parque. En este sentido, los valores altos de abundancia y frecuencia fueron registrados en la zona centrales del parque, y los menores valores estuvieron registrados en las zonas periféricas, cercanas a la avenida General Felipe Salaverry y Jirón Nazca, puesto que se encontraron sometidos constantemente a los efectos de contaminación del parque automotor.

De acuerdo a Brodo et al. (2001) generalmente el hábitat de *Roccella gracilis* es la corteza del árbol a pleno sol, en zonas costeras. Lo anterior mencionado coincide con lo reportado en la presente investigación, puesto que la transparencia de follaje tuvo una media de 78 %, siendo un valor alto que evidencia la alta incidencia solar sobre los líquenes registrados en los forófitos *Melia azedarach*. Asimismo, el lado cardinal del árbol en el que *R. gracilis* tiende a crecer presentó una mayor exposición a la radiación solar durante todo el día. Por lo tanto, el liquen *R. gracilis* fue favorecido a crecer

en árboles que presentan alta iluminación solar durante el día y en zonas altas del árbol.

La cobertura, abundancia y tamaño de los líquenes *Roccella gracilis* varió significativamente respecto a la gradiente vertical sobre los árboles, se evidenció un patrón de anidamiento en las partes más alta del árbol, como las partes ramificadas, es decir a una altura promedio de 3.60 m. Lo anterior mencionado no estaría en concordancia con el trabajo realizado por Rosabal (2016) que demostró que los líquenes que estudió presentaron un patrón de alojamiento en la parte más baja del árbol. Además, Li et al. (2015) demostraron que la altura del forófito no influyó sobre la diversidad de líquenes.

En la presente investigación los factores del sustrato como la CAP y el tipo de corteza de los forófitos evaluados influyeron en la abundancia y frecuencia de *R. gracilis*, puesto que de acuerdo a Rosabal (2016) el área del tronco y la rugosidad influyeron en la segregación de las especies liquénicas.

Los valores altos de abundancia y frecuencia fueron registrados en el lado Sur y Suroeste del forófito, lo cual se caracterizó por presentar mayor influencia de la neblina que es desplazada por los vientos predominantes del Suroeste, según los datos meteorológicos del SENAMHI (2019). Los vientos provenientes del Suroeste desplazaron la neblina costera por toda la avenida Salaverry, propiciando mejores condiciones de humedad para el crecimiento de los líquenes, siendo concordante con lo expuesto por Lijteroff et al. (2009).

En los trabajos llevados a cabo por Valdivia y Ramírez (2018) y Ferry (2018) obtuvieron resultados significativos en el análisis de metales pesados mediante el microscopio electrónico de barrido ambiental. Del mismo modo, la presente investigación realizó el análisis de metales pesados mediante el MEBA en muestras representativas del liquen *Roccella gracilis* Bory perteneciente a la familia Roccellaceae.

Los elementos tóxicos encontrados en el presente estudio fueron Ba, Fe, Sr, Cu, As, Pb y Zn que pueden provenir de las emisiones de los gases emitidos por el parque automotor. De acuerdo a Chaparro et al. (2010) los vehículos de combustión interna pueden emitir metales como plomo (Pb), cobre (Cu), hierro (Fe), níquel (Ni), cadmio (Cd) y zinc (Zn), además el desgaste del sistema de frenos de los vehículos emite metales como bario (Ba), hierro (Fe), aluminio (Al), entre otros.

## CONCLUSIONES

El líquen *Roccella gracilis* Bory se considera como bioindicador de la calidad del aire puesto que bioacumuló en su estructura minerales con elementos pesados. Los análisis no arrojaron concentraciones altas de metales pesados en el líquen *Roccella gracilis*, sin embargo, la presencia de partículas y elementos, ya sea mínimas cantidades puede ser perjudicial para la salud de la población, puesto que se determinó partículas menores a  $2.5 \mu\text{m}$  de diámetro siendo estas 100% inhalables, depositándose en las zonas alveolares.

En el parque existió presencia de contaminación por los siguientes metales: Ba, Fe, Sr, Cu, As, Pb y ZN, ya que los análisis por MEBA de un segmento del líquen que tuvo crecimiento considerable reportaron las siguientes partículas minerales: barita, calcopirita, celestina, goethita, tennantita, galena y marmatita. Tales metales estuvieron presentes desde julio del 2018 hasta octubre del 2019.

Las muestras A y B analizadas del líquen *Roccella gracilis* Bory presentaron las siguientes ecuaciones de crecimiento:  $y = -0,0014x^2 + 0,0675x + 0,9248$  e  $y = -0,0024x^2 + 0,0992x + 0,748$ ; donde  $x$  es el tiempo en meses e  $y$  es el tamaño en  $\text{cm}^2$ . Esta información permitió conocer cuántos centímetros creció el organismo en el tiempo de estudio y posteriormente, facilitó analizar los metales pesados que el líquen acumuló en el segmento que presentó crecimiento.

Los árboles que están en el perímetro del parque (avenidas) no presentaron presencia del líquen *Roccella gracilis* debido a que se encuentran sometidos constantemente a los efectos de contaminación del parque automotor. Los árboles que están localizados en la zona central del parque son las que presentaron presencia del líquen *Roccella gracilis*. La alta humedad relativa en el área de estudio favorece la hidratación del talo en las temporadas de invierno y la baja humedad en las temporadas de verano inhibe el crecimiento del líquen. En ese sentido, la inhibición del crecimiento de los líquenes no es solo por el foco emisor

de la contaminación, sino está influenciado por la baja humedad relativa. La transparencia de follaje, tipo de corteza y altura del árbol y CAP influye en la abundancia y frecuencia del líquen *R. gracilis*. La orientación cardinal preferencial para el crecimiento de *R. gracilis* fue la cara Suroeste del forófito. Esto podría atribuirse a la dirección del viento Suroeste que desplaza la neblina del mar a la zona de estudio.

## RECOMENDACIONES

En futuras investigaciones considerar la liquenobiota presente en los diferentes parques de Lima Metropolitana como bioindicadores de la calidad del aire.

Estandarizar y ampliar para el Perú la metodología del uso de líquenes como bioindicadores, para zonas urbanas, rurales, mineras, industriales, etc.

Determinar el pH de la corteza del forófito y verificar el grado de asociación liquen-forófito.

En futuras investigaciones en el parque Campo Marte comparar la abundancia de líquenes en los forófitos de las zonas estudiadas. De esta forma, se podría determinar si la liquenobiota ha sufrido cambios a través del tiempo.

Se recomienda al Municipio establecer un programa de educación ambiental para que la población pueda tomar conciencia y preservar a los líquenes.

La metodología empleada en esta investigación puede ser aplicada en diversos lugares urbanos para identificar la calidad del aire.

Estudiar el flujo vehicular en las avenidas cercanas al parque.

## BIBLIOGRAFÍA

- Ambrosio, M. (2017). *Diversidad 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.
- Amo de Paz, G. y Burgaz, A. R. (2009). *Líquenes epifíticos del Hayedo de Montejo de la Sierra (Madrid)*. Madrid, España: Editorial Complutense.
- Barreno, E. y Pérez, S. (2003). *Líquenes de la Reserva Natural Integral de Muniellos, Asturias*. Oviedo, España: KRK Ediciones.
- Bedregal, P., Mendoza, P., Ubillús, M., Torres, B., Hurtado, J. y Espinoza, R. (2009). El uso de *Usnea* sp. y *Tillandsia capillaris*, como biomonitores de la contaminación ambiental en la ciudad de Lima, Perú. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 75(4), 479-487.
- Brodo, I. M., Duran, S. & Sharnoff, S. (2001). *Lichens of North America*. Massachusetts, Estados Unidos de América: Yale University Press.
- Calderón, A., Solier, R. y Ramírez, A. (2018). *Liquenobiota del Parque Campo Marte, Jesús María, Lima*. Arequipa, Perú: Trabajos científicos del II Congreso Nacional de Liquenología del Perú.
- Canseco A., Anze R. & Franken M. (2006). Comunidades de líquenes: indicadores de la calidad del aire en la ciudad de La Paz, Bolivia. *Acta Nova*, 286-307.
- Capo, M. (2007). *Principios de la Ecotoxicología: diagnóstico, tratamiento y gestión del medio ambiente*. Madrid, España: Editorial Tébar.
- Chaparro, M., Marié, D., Gogorza, C., Navas, A. & Sinito, A. (2010). Magnetic studies and scanning electron microscopy - X-ray energy dispersive spectroscopy analyses of road sediments, soils and vehicle-derived emissions. *Stud. Geophys. Geod.* 54, 633–650.
- Cubas, P., Nuñez, J., Crespo, A y Divakar, P. (2010). Líquenes qué son y su uso como bioindicadores. GEMM Proyecto de Innovación.

- De Nevers, N. (2008). *Ingeniería de control de la contaminación del aire*. México: McGraw-Hill Interamericana.
- Díaz, E. (2006). *Uso de líquenes como bioindicadores de presencia de metales pesados en áreas cercanas a empresas mineras en zonas de altura en Perú* (tesis para optar el grado académico de maestro en Ciencias). Universidad Nacional de Ingeniería, Perú.
- Ferry, G. (2018). *Calidad del aire mediante la liquenobiota saxícolas en la zona arqueológica de Teatino-Reserva Nacional Lomas de Lachay, Huacho-Lima-Perú, 2017* (tesis de pregrado). Universidad Nacional de la Amazonía Peruana, Perú.
- Giacobone, G. G. y Cabrera, S. E. (2009). *Líquenes como bioindicadores de calidad de aire*. Buenos Aires, Argentina: Buenos Aires Ciudad.
- 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 Industrial de Santander, Colombia.
- Hans, M. J. (1982). *Guía de campo de los helechos, musgos y líquenes de Europa*. Ediciones Omega S.A Barcelona, 256.
- Hawksworth, D. L, Iturriaga, T. y Crespo, A. (2005). Líquenes como bioindicadores inmediatos de contaminación y cambios medioambientales en los trópicos. *Revista Iberoamericana de Micología*, 22(2), 71-82.
- Heywood, V. H. (1952). El concepto de asociación en comunidades rupícolas. *Anal. Inst. Bot. I. Cavanilles* 11(2), 464-481.
- Kaplanski, M., Venier, J. A. y Tarazona, E. (2004). Cortezas. Glosario de Identificación y Descripción. *La cultura del árbol*, 40, 17-21.
- Lakatos, M., Rascher, U & Budel, B. (2006). Functional characteristics of corticolous lichens in the understory of tropical lowland. *New Phytologist*, 172, 679-695.
- Le Blanc, F. & De Sloover, J. (1970). Relation between industrialization and the distribution and growth of epiphytic lichens and mosses en Montreal. *Canadian Journal of Botany*, 48, 1485-1495.

- Li, S., Liu, W., Li D., Song, L., Shi, X. & Lu, H. (2015) Species richness and vertical stratification of epiphytic lichens in subtropical primary and secondary forests in southwest China. *Fungal Ecology*, 17, 30-40.
- Lijteroff, R., Lima, L. y Prieri, B. (2009). Uso de líquenes como bioindicadores de contaminación atmosférica en la Ciudad de San Luis, Argentina. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 25, 111-120.
- Llantance, W. (2017). *Determinación de la calidad del aire mediante el uso de líquenes en la microcuenca del Lago Pomacochas, distrito Florida, provincia Bongará, departamento Amazonas, 2016 – 2017* (tesis de pregrado). Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, Perú.
- 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.
- Mata, M. Umaña, L. y Chaves, J. L. (2009). *Protocolo para la recolecta, descripción, identificación y mantenimiento de hongos*. Costa Rica: InBio Costa Rica.
- Mendoza, J. (2018). *Evaluación de la calidad del aire empleando líquenes como indicadores en la ciudad de Chachapoyas, Amazonas, 2017* (tesis de pregrado). Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, Perú.
- 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, 409-441.
- Morales, E., Lucking, R. y Anze, G. (2009). *Una introducción al estudio de los líquenes de Bolivia*. Cochabamba, Bolivia: Universidad Católica Boliviana.
- Moreno, E., Sánchez, A. y Hernández, M. (2007). *Guía ilustrada de hongos liquenizados de Venezuela*. Caracas, Venezuela: Fundación Instituto Botánico de Venezuela.
- Ocroposma, M. (1991). Ramalina (lichens) en los Parque de Lima. *Espacio y Desarrollo*, (3), 29-39.

- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (2015). Instrumentos Básicos para la Fiscalización Ambiental. Recuperado de [https://www.oefa.gob.pe/?wpfb\\_dl=13978](https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=13978)
- Organización Mundial de la Salud (2004). The global burden of disease: 2004 update. Recuperado de: [https://www.who.int/healthinfo/global\\_burden\\_disease/GBD\\_report\\_2004update\\_full.pdf?ua=1](https://www.who.int/healthinfo/global_burden_disease/GBD_report_2004update_full.pdf?ua=1)
- Organización Mundial de la Salud (2006). Preventing disease through healthy environments: a global assessment of the burden of disease from environmental risks. Recuperado de [https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/204585/9789241565196\\_eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/204585/9789241565196_eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Pereira, I., Tapia, J., Errázuriz, I. & Basualto, S. (2018). Comparative study of the presence of heavy metals utilizing epiphytic corticolous lichens in Talca city, Maule Region, Chile. *Gayana Botánica*, 75(1), 494-500.
- Ramírez A., Márquez G., Cano A. & E. Valle. 2013. Línea de base liquénica para monitorear la calidad del aire en el parque El Olivar (San Isidro, Lima). Libro de resúmenes de la XXII Reunión Científica (ICBAR), Lima. p. 63.
- Ramírez, A. M. (2018). Clave para la determinación de géneros y familias de líquenes del Perú Versión 2018-2019. Arequipa, Perú: Trabajos científicos del II Congreso Nacional de Liquenología del Perú.
- Ramírez, A. M. (2018). Trabajos científicos del II Congreso Nacional de Liquenología del Perú.
- Ramírez, A. M., Márquez, G., Cano, A. & Valle, E. (2013). Línea de base liquénica para monitorear la calidad del aire en el parque El Olivar (San Isidro, Lima). Lima, Perú: Libro de resúmenes de la XXII Reunión Científica (ICBAR).
- 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 Estudos de Conservação e Restauro*, 2, 21-37.

- Rosabal, D. (2016). *Diversidad, patrones de coexistencia y distribución espacial líquenes corticícolas en la pluvisilva montana de la Gran Piedra, Santiago de Cuba* (tesis para optar el grado de Doctor en Ciencias Biológicas). Universidad de Oriente, Cuba.
- Sánchez-Aizcorb, V. (2017). *¿Qué tan saludables se encuentran nuestras áreas verdes?: Estudio piloto usando diversidad de aves como indicador* (Tesis para optar el grado de Licenciado en Biología). Universidad Peruana Cayetano Heredia, Lima.
- Santoni, S. C., Lijteroff, R. (2006). Evaluación de la calidad del aire mediante el uso de bioindicadores en la provincia de San Luis, Argentina. *Rev. Int. Contam. Ambient.*, 22(1), 49-58.
- Schomaker, M. E., Zarnoch, A. J., Bechtold, W. A., Latelle, D. J., Burkman, W. G. & Cox, S. M. (2007). Crown – Condition Classification: A guide to data collection and análisis. Recuperado de: [https://www.srs.fs.usda.gov/pubs/gtr/gtr\\_srs102.pdf](https://www.srs.fs.usda.gov/pubs/gtr/gtr_srs102.pdf)
- Segura, S. (2013). *Caracterización de la contaminación atmosférica en seis parques recreacionales del Distrito Metropolitano de Quito mediante el uso de bioindicadores* (tesis de pregrado). Universidad Central Del Ecuador, Ecuador.
- SENAMHI (2015) Evaluación de la calidad del aire en Lima Metropolitana 2015. p. 89. [https://issuu.com/senamhi\\_peru/docs/evaluacion\\_calidad\\_de\\_aire\\_lima\\_m\\_e\\_t](https://issuu.com/senamhi_peru/docs/evaluacion_calidad_de_aire_lima_m_e_t). Acceso: 01/08/2018.
- Tehler, A., Irestedt, M., Wedin, M. & Ertz, D. (2009). Origin, evolution and taxonomy of American Roccella (Roccellaceae, Ascomycetes). *Systematics and Biodiversity*, 7(3), 307-317.
- Tovar, D. y Aguinaga, R. (1994). Líquenes bioindicadores de la contaminación atmosférica. *Revista de Química*, 8(2), 135-152.

Valdivia, D. A. y Ramírez, A. M. (2018). Uso de líquenes como bioindicadores de contaminación atmosférica en el pasivo ambiental minero Santo Toribio, Áncash, Perú. *The Biologist (Lima)*, 16(1), 77-95.

Vásquez, M. (2015). *Estudio de los efectos de la contaminación atmosférica sobre los bioindicadores liquénicos y degradación de los mismos* (tesis para optar el grado de doctor). Universidad de las Palmas de Gran Canaria, España.



Anexo 2. Ficha de campo 2.

**A: Abundancia      F: Frecuencia**

Ubicación del árbol			Lado del forofito				Lado Mayor cantidad	Líquenes en parte Alta o Baja	Observaciones
Parte	Zona	Forófito	Norte (N)	Sur (S)	Este (E)	Oeste (W)			
			A						
			F						
			A						
			F						
			A						
			F						
			A						
			F						
			A						
			F						
			A						
			F						
			A						
			F						
			A						
			F						
			A						
			F						
			A						
			F						
			A						
			F						
			A						
			F						
			A						
			F						
			A						
			F						
			A						
			F						
			A						
			F						
			A						
			F						
			A						
			F						

Anexo 3. Trabajo de campo.



Anexo 4. Trabajo de campo



*Shinus terebinthifolius*



*Tecoma* sp.



*Fraxinus* sp.



*Araucaria* sp.

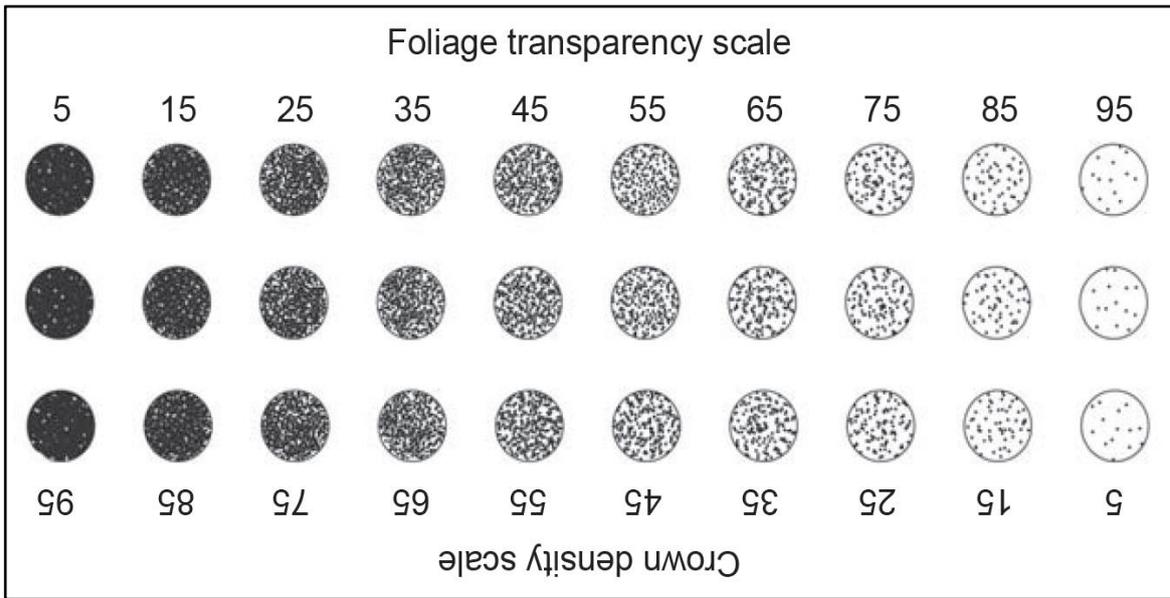


*Ceiba pentandra*

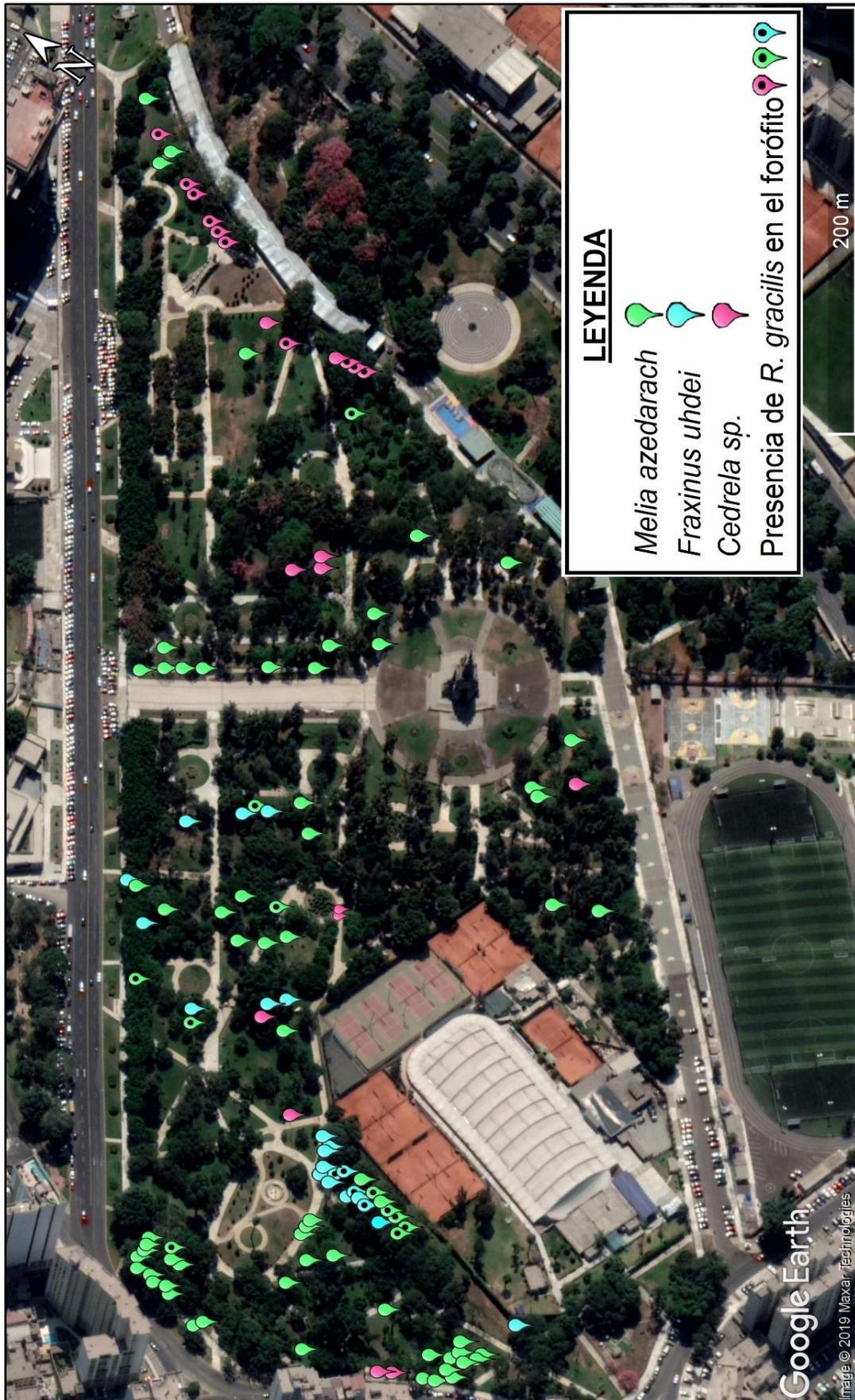


*Spathodea campanulata*

Anexo 5. Tarjeta de densidad de copa – transparencia de follaje.



Anexo 6. Distribución espacial de forófitos con presencia de *R. gracilis*.



Anexo 7. Constancia de determinación de líquenes.



Asociación Proyectos Ecológicos Perú

R.U.C. 20602150730



### CONSTANCIA DE DETERMINACIÓN DE LÍQUENES N°9

Por la presente dejo constancia que la muestra proporcionada por el joven Antony Gaspar Calderón Chipayo con DNI: 48573400 fue determinado y le corresponde la siguiente clasificación taxonómica:

Reino: Fungi  
Phyllum: Ascomycota  
Clase: Arthoniomycetes  
Orden: Arthoniales  
Familia: Roccellaceae  
Género: Roccella  
Especie: *Roccella gracilis* Bory

Lima, 12 de noviembre del 2019

**Blgo. Ángel Manuel Ramírez Ordaya**

Presidente de la Asociación de Proyectos Ecológicos Perú  
Jr. Los castaños 718, urb. Las Palmeras, distrito Los Olivos, Lima  
Correo electrónico: liquenes\_peru@yahoo.com  
<https://www.facebook.com/ProyectoLiquenesPeru>

