

UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR

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



**“DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DE AIRE A TRAVÉS DE LA
MORFOLOGÍA DE MACROLÍQUENES EN DOS ECOSISTEMAS DE
LIMA, 2021”**

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Para optar el Título Profesional de

INGENIERO AMBIENTAL

PRESENTADO POR EL BACHILLER

HUAMANI ATAYUPANQUI, SILVIA

ASESOR

RAFAEL RUTTE, ROBERT RICHARD

Villa El Salvador

2021

DEDICATORIA

A mi Familia, por todo su apoyo incondicional.

Al sacrificio y trabajo de mis padres.

A mi mascota, Osita, que es parte de mi vida.

AGRADECIMIENTO

Agradecer a la naturaleza, los Apus de las Lomas

Mi más sincero agradecimiento a mi asesor Robert Richard por la paciencia en cada sesión.

Un agradecimiento especial a Ángel Ramírez, biólogo representante de la Asociación Proyectos Ecológicos Perú, quién, me brindó la orientación y guía en el mundo de los líquenes.

Y por último gracias a la Asociación Proyectos Ecológicos Perú y los permisos gestionados para realizar la investigación en las lomas de Lachay y Amancaes.

INDICE

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
LISTADO DE FIGURAS.....	vi
LISTADO DE TABLAS.....	vii
RESUMEN.....	viii
INTRODUCCIÓN.....	ix
CAPÍTULO I.....	10
ASPECTOS GENERALES.....	10
1.1 Contexto.....	10
1.2 Delimitación.....	19
1.2.1 Delimitación temporal.....	19
1.2.2 Delimitación espacial.....	19
1.3 Objetivos.....	22
1.3.1 Objetivo general.....	22
1.3.2 Objetivos específicos.....	22
CAPITULO II.....	23
MARCO TEÓRICO.....	23
2.1 Antecedentes.....	23
2.2 Bases teóricas.....	25
2.2.1 Liquen.....	25
2.2.2 Taxonomía.....	26
2.2.3 Clasificación de líquenes.....	28
2.2.4 Reproducción de líquenes.....	31
2.2.5 Distribución de los líquenes.....	31
2.2.6 Liquen como bioindicador de la calidad de aire.....	32
2.2.7 Monitoreo de la calidad de aire.....	34
2.2.8 Índice de pureza atmosférica (IPA).....	36
2.3 Definición de términos básicos.....	37
CAPÍTULO III.....	38
DESARROLLO DEL TRABAJO PROFESIONAL.....	38
3.1 Determinación y análisis del problema.....	38
3.2 Modelo de solución propuesto.....	39

3.2.1 Materiales y equipos.....	39
3.2.2 Metodología.....	40
3.3 Resultados	50
3.3.1 Identificación de líquenes.....	50
3.3.2 Características de los sustratos rocosos evaluados.....	52
3.3.3 Abundancia de líquenes.....	54
3.3.4 Tamaño de líquenes.....	57
3.3.5 Determinación de la calidad del aire	60
CONCLUSIONES.....	63
RECOMENDACIONES	64
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	65
ANEXOS	68
Anexo 1 Simbiosis entre un alga y un hongo	68
Anexo 2 Trabajo de campo	69

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de ubicación de las Lomas de Amancaes y Lachay.....	10
Figura 2. Variación mensual de la temperatura en loma de Lachay	11
Figura 3. Variación mensual de la temperatura en lomas de Amancaes.....	12
Figura 4. Humedad relativa en loma de Lachay.....	13
Figura 5. Humedad relativa en lomas de Amancaes.....	14
Figura 6. Velocidad del viento para lomas de Amancaes.....	15
Figura 7. Ubicación geográfica de la rosa de viento	16
Figura 8. Rosa de viento para las lomas de Amancaes	17
Figura 9. Mapa de ubicación del ACR Lomas de Amancaes.....	20
Figura 10. Mapa de Ubicación de la Loma de Lachay.....	21
Figura 11. Microambientes en las rocas	29
Figura 12. Líquenes sobre la corteza del árbol	30
Figura 13. Ubicación de la rejilla sobre el tronco	36
Figura 14. Área de estudio para las lomas de Amancaes	41
Figura 15. Área de estudio para la loma de Lachay.....	42
Figura 16. Ubicación de las rocas evaluadas en la loma de Lachay.....	44
Figura 17. Ubicación de las rocas evaluadas en las lomas de Amancaes.....	45
Figura 18. Registro de coordenadas en UTM	46
Figura 19. Orientación cardinal de la superficie de la roca	47
Figura 20. Selección de sustrato.....	48
Figura 21. Registro de datos de abundancia y tamaño	49
Figura 22. Líquenes en la loma de Lachay.....	51
Figura 23. Líquenes en las lomas de Amancaes.....	52
Figura 24. Rocas cubiertas de vegetación y sin presencia de líquenes.....	54
Figura 25. Depredadores de los líquenes	56
Figura 26. Abundancia del género Parmotrema sp en otras áreas de las rocas....	56

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Datos de Temperatura ambiental para lomas de Lachay.....	11
Tabla 2. Datos de temperatura ambiental para lomas de Amancaes	12
Tabla 3. Datos de humedad relativa para loma de Lachay	13
Tabla 4. Datos de humedad relativa para lomas de Amancaes.....	14
Tabla 5. Datos de velocidad del viento para lomas de Amancaes.....	15
Tabla 6. Materiales	39
Tabla 7. Equipos.....	39
Tabla 8. Coordenadas UTM y altitud de las dos áreas de estudio	40
Tabla 9. Líquenes de la loma de Lachay	50
Tabla 10. Líquenes de las lomas de Amancaes	52
Tabla 11. Características de las rocas en la Reserva loma de Lachay	53
Tabla 12. Características de las rocas en las Lomas de Amancaes	53
Tabla 13. Abundancia de líquenes en la loma de Lachay	54
Tabla 14. Abundancia de líquenes en lomas de Amancaes	55
Tabla 15. Tamaño del talo liquénico en las lomas de Amancaes.....	57
Tabla 16. Tamaño del talo liquénico en la loma de Lachay.....	59
Tabla 17. Número de individuos en función del tamaño, loma de Lachay.....	61
Tabla 18. Número de individuos en función del tamaño, lomas de Amancaes.....	62

RESUMEN

El presente trabajo determinó la calidad ambiental del aire a través de la morfología de los macrolíquenes en la ciudad de Lima. La metodología que se usó para determinar la calidad del aire fue elegir un área sin contaminación atmosférica y otra área impactada. El área sin contaminación fue la reserva nacional de Lachay y el área impactada fue las lomas de Amancaes.

A través del Google Earth se establecieron los lugares de evaluación en base a la distancia del mar y la altitud. En cada zona se seleccionaron cinco rocas siguiendo algunos criterios establecidos.

En cada roca se hizo un transecto lineal de 50 cm para evaluar la cantidad de los y el tamaño de los macrolíquenes. El transecto lineal fue puesto entre una altura de 60 a 85 cm. Los datos del tamaño fueron agrupados a criterio del investigador y en base a su crecimiento. Para determinar la calidad del aire se tomaron los resultados obtenidos en la loma de Lachay como un estándar de buena calidad.

Los líquenes que se determinaron en la Loma de Lachay para evaluar su abundancia y tamaño fueron los líquenes *Parmotrema* sp, *Ramalina* sp y *Usnea* sp. Solo los del género *Parmotrema* sp y *Ramalina* sp fueron identificadas en las Lomas de Amancaes.

Los líquenes evaluados en la loma Lachay que presenten un tamaño mayor a 2cm representan un indicador de la buena calidad del aire. El tamaño y cantidad de los líquenes evaluados en las lomas de Amancaes estuvieron por debajo de la zona control, lo que representa una mala calidad del aire.

El único género que no se registró en las lomas de Amancaes de las tres que se evaluaron en la loma de Lachay fue el líquen *Usnea*, el género *Usnea* representa a un bioindicador de buena calidad de aire ya que solo estuvo presente en la loma de control (Reserva Nacional de Lachay).

INTRODUCCIÓN

Actualmente existe diversos métodos para evaluar la calidad del aire, estos métodos utilizan equipos que requieren de análisis físicos y químicos. A nivel nacional existe una metodología aprobada por Decreto supremo N° 010-2019-MINAM para el monitoreo de la calidad ambiental del aire. Los parámetros a evaluar son los gases, material particulado provenientes principalmente de las actividades industriales y del parque automotor.

Según el Instituto Nacional de Ecología (sf), existe un método que usa bioindicadores para evaluar la calidad de aire, sin embargo, a pesar de que existe varios estudios con el uso de estos, son mayormente enfocados en guías metodológicas, y no en proponer un estándar para evaluar la calidad de aire.

En la ciudad de Lima y casi todo el litoral costero está presente el ecosistema de lomas, las cuales al encontrarse a una mayor altitud que la ciudad representan un área con potencial para evaluar la calidad de aire debido a la humedad y dirección del viento. Uno de los motivos principales por lo que la zona de lomas es un área con potencial para determinar la calidad de aire es por posición geográfica y la presencia de los líquenes, especialmente los de “forma foliáceos y fruticosos por su rápido crecimiento” (Cubas et al, 2010)

Por lo ya expuesto, en el presente trabajo se busca determinar la calidad del aire usando bioindicadores y analizando los diversos factores que influyen en el desarrollo de estos.

CAPÍTULO I

ASPECTOS GENERALES

1.1 Contexto

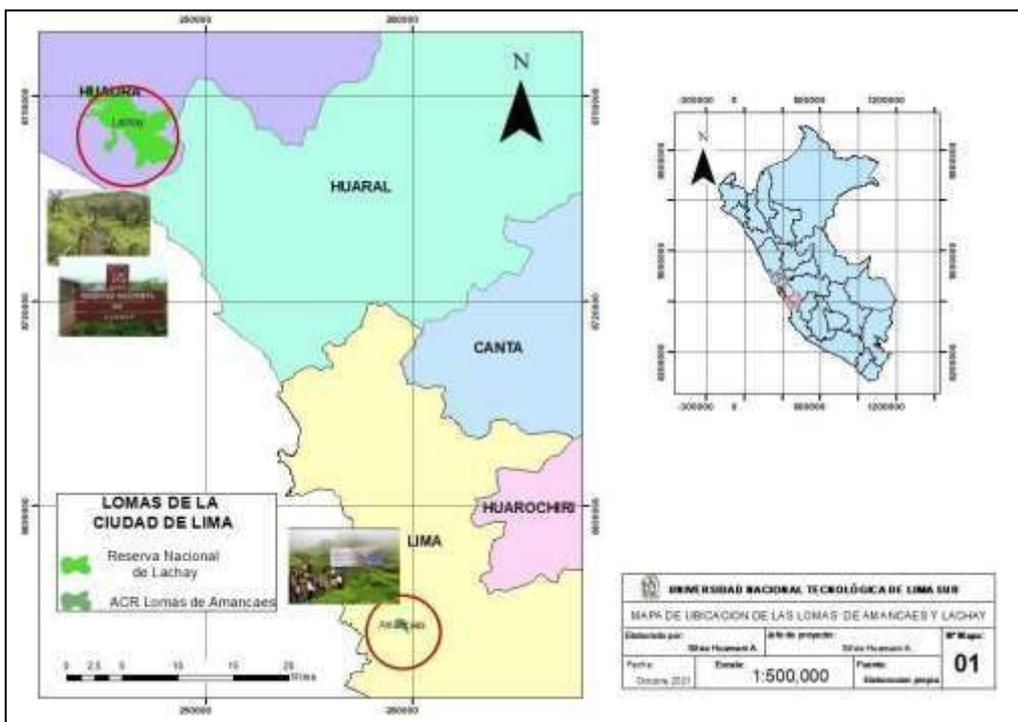
a) Ubicación geográfica

El trabajo se centró en dos provincias en el departamento de Lima, específicamente en la provincia de Huaura y la otra zona en la provincia de Lima Metropolitana. En la Figura 1 se aprecia la ubicación de los dos ecosistemas de Lomas.

La Lomas de Lachay ubicada en la provincia de Huaura se encuentra a 280 m.s.n.m y la Lomas de Amancaes ubicada en la ciudad de Lima Metropolitana a 217 m.s.n.m (Google Earth,2021).

Figura 1

Mapa de ubicación de las Lomas de Amancaes y Lachay.



b) Temperatura

La temperatura mínima se registró en el mes de julio con 14.95°C y la máxima en el mes de febrero con 30.38 °C (Tabla 1)

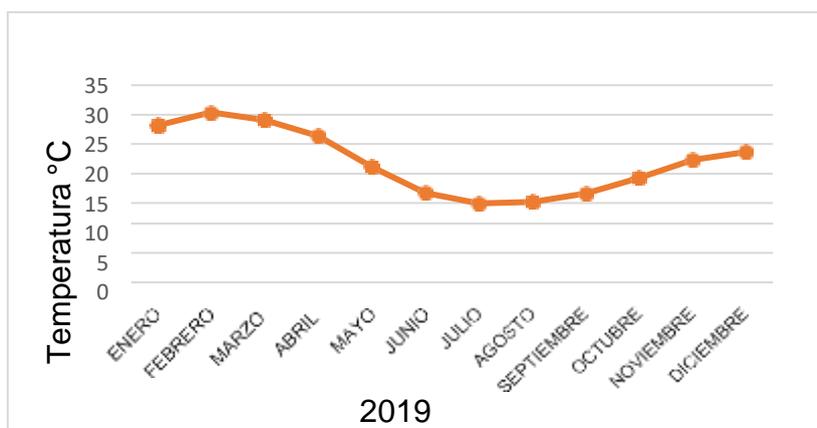
Tabla 1

Datos de Temperatura ambiental para lomas de Lachay

Reserva Nacional de Lachay		
Estación Loma de Lachay		
Temperatura media mensual		
Año	Mes	Temperatura (°C)
2019	Enero	28.2
2019	Febrero	30.38
2019	Marzo	29.1
2019	Abril	26.38
2019	Mayo	21.17
2019	Junio	16.71
2019	Julio	14.95
2019	Agosto	15.16
2019	Septiembre	16.61
2019	Octubre	19.27
2019	Noviembre	22.32
2019	Diciembre	23.63

Figura 2

Variación mensual de la temperatura en loma de Lachay



Fuente: Datos de la estación meteorológica del SENAHMI (2019)

En la Tabla 2, la temperatura mínima fue en el mes de agosto (17.33°C) y máxima en el mes de febrero (29.1 °C).

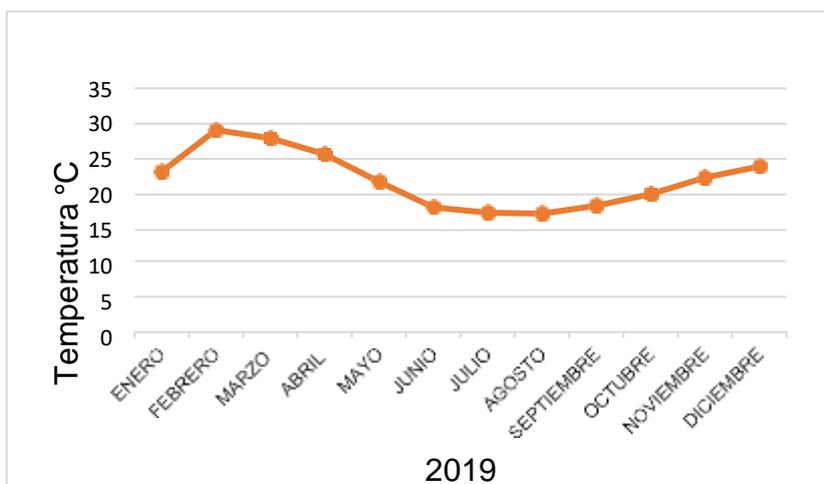
Tabla 2

Datos de temperatura ambiental para lomas de Amancaes

Lomas de Amancaes		
Estación Campo de Marte		
Temperatura media mensual		
Año	Mes	Temperatura (°C)
2019	Enero	23.26
2019	Febrero	29.1
2019	Marzo	27.94
2019	Abril	25.7
2019	Mayo	21.81
2019	Junio	18.24
2019	Julio	17.49
2019	Agosto	17.33
2019	Septiembre	18.43
2019	Octubre	20.08
2019	Noviembre	22.43
2019	Diciembre	23.95

Figura 3

Variación mensual de la temperatura en lomas de Amancaes



Fuente: Datos de la estación meteorológica del SENAHMI (2019)

c) Humedad relativa

La humedad relativa fue alta en el mes de julio con un 99.25 % y mínima en el mes de enero con 84.67% (Tabla 3) y (Figura 4).

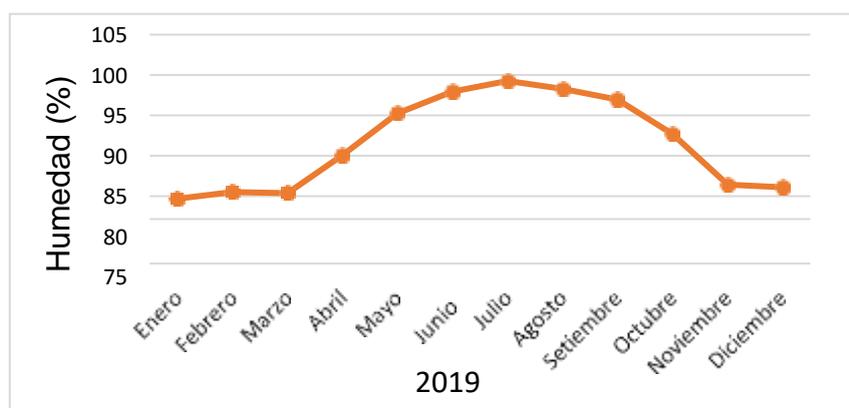
Tabla 3

Datos de humedad relativa para loma de Lachay

Reserva Nacional de Lachay		
Estación Loma de Lachay		
Humedad relativa media mensual		
Año	Mes	Humedad (%)
2019	Enero	84.67
2019	Febrero	85.52
2019	Marzo	85.38
2019	Abril	90.04
2019	Mayo	95.22
2019	Junio	97.97
2019	Julio	99.25
2019	Agosto	98.28
2019	Septiembre	96.93
2019	Octubre	92.65
2019	Noviembre	86.43
2019	Diciembre	86.06

Figura 4

Humedad relativa en loma de Lachay



Fuente: Datos de la estación meteorológica del SENAHMI (2019)

La humedad relativa mínima fue en el mes de marzo con 73.27 % y la máxima en el mes de septiembre con 85.82 % (Tabla 4) y (Figura 5).

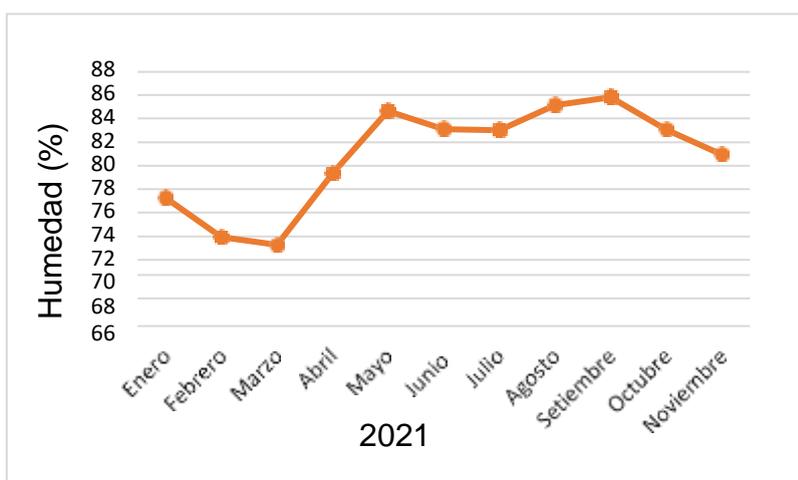
Tabla 4

Datos de humedad relativa para lomas de Amancaes

Área de conservación regional Lomas de Amancaes		
Estación San Martín de Porres		
Humedad relativa media mensual		
Año	Mes	Humedad (%)
2021	Enero	77.28
2021	Febrero	73.95
2021	Marzo	73.27
2021	Abril	79.36
2021	Mayo	84.64
2021	Junio	83.13
2021	Julio	83.02
2021	Agosto	85.14
2021	Septiembre	85.82
2021	Octubre	83.08
2021	Noviembre	80.94

Figura 5

Humedad relativa en lomas de Amancaes



Fuente: Datos de la estación meteorológica del SENAHMI (2021)

d) Velocidad del viento

La estación meteorológica del SENAHMI no registro datos de velocidad del viento para lomas de Lachay. En la Tabla 5 y Figura 6 se muestra los datos para la loma de Amancaes.

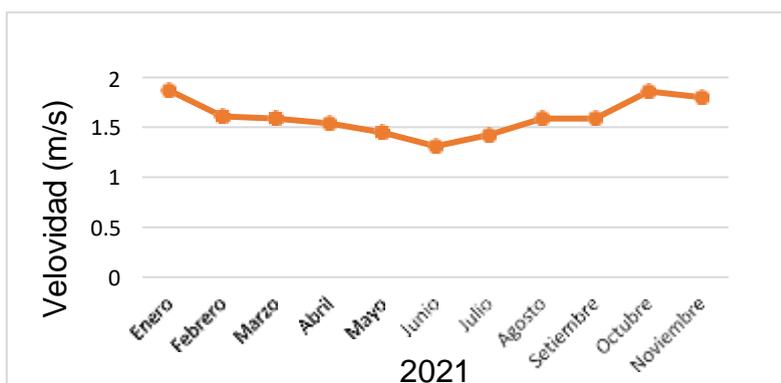
Tabla 5

Datos de velocidad del viento para lomas de Amancaes

Lomas de Amancaes		
Estación San Martin de Porres		
Velocidad media mensual del viento		
Año	Mes	Velocidad (m/s)
2021	Enero	1.87
2021	Febrero	1.61
2021	Marzo	1.59
2021	Abril	1.54
2021	Mayo	1.45
2021	Junio	1.31
2021	Julio	1.42
2021	Agosto	1.59
2021	Septiembre	1.59
2021	Octubre	1.86
2021	Noviembre	1.8

Figura 6

Velocidad del viento para lomas de Amancaes



Nota: Datos de la estación meteorológica del SENAHMI (2021)

e) Dirección del viento

Se tomo los datos de la estación meteorológica ubicada en el distrito de San Martín de Porres, por ser la más cercana a las lomas de Amancaes. La dirección del viento que predomino fue del Suroeste a Noroeste. (Figura 7)

Figura 7

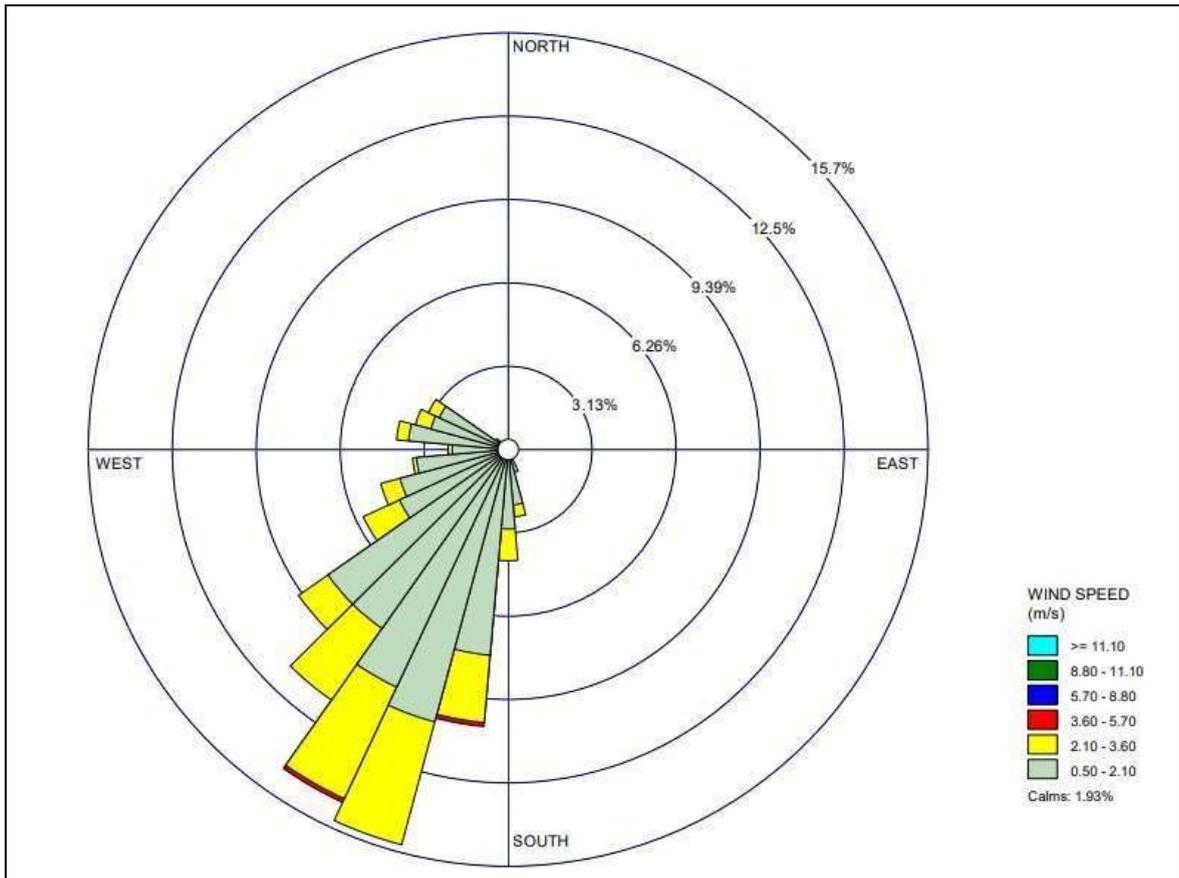
Ubicación geográfica de la rosa de viento.



Se elaboró la rosa de vientos con los datos de la estación meteorológica San Martín de Porres (Figura 8), no se obtuvo información para la loma de Lachay.

Figura 8

Rosa de viento para las lomas de Amancaes.



Nota: Los vientos predominan del suroeste. La data fue procesada con el software WRPLOT view (2021).

f) Uso de suelos

Según Ministerio del Ambiente (MINAM,2020), las Lomas de Amancaes forma parte del Área de Conservación Regional (ACR) Sistemas de Lomas de Lima con un área de 253.96 ha. El uso de suelo está dividido en 3 áreas, uso especial, turístico e Histórico cultural.

En cuanto a la Reserva Nacional de Lachay, con un área de 5070 ha y gestionada por el Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado (SERNANP), presenta cinco zonas de uso para el suelo:

Zona de uso histórico cultural, zona de recuperación, zona de uso especial, zona de aprovechamiento directo y zona de uso turístico y recreativo (SERNANP,2013).

g) Comunidad vegetal

Las lomas al estar ubicados en la zona costera, dependen mucho del clima y la humedad.

Los ecosistemas de lomas se desarrollan en las laderas orientadas hacia el mar, que favorecen la fase condensación de las neblinas traídas por los vientos que soplan del sur y el suroeste. Estas laderas pueden comenzar casi al nivel del mar y llegar hasta los 1000 msnm, con variaciones a nivel local. Encima de los 1000 msnm cesa la influencia de las neblinas, debido al fenómeno de inversión térmica, no existiendo vegetación invernal allí (SERNANP, sf)

En las Lomas la vegetación es diversa y está conformada por algas, líquenes, musgos, helechos y plantas de flores de porte herbáceo, arbustivo y arbóreo. SERPAR (2013) informó que existe especies destacables en la ciudad de Lima, entre ellas se encuentra la flor de Amancaes, la ortiga negra, oca silvestre, margarita de lomas, comelina, calabaza silvestre. Entre las especies arbóreas destaca la tara, la papaya silvestre, el lúcumo y el palillo.

h) Ecosistema de lomas.

Estos ecosistemas son altamente estacionales, propios del litoral peruano, que se originan a partir de la humedad proveniente de las nieblas advectivas provenientes del Océano Pacífico. El aire llega a la costa peruana proveniente del mar transportado por vientos alisios. (Wikipedia,sf)

Los vientos alisios soplan de este a oeste desde las altas presiones subtropicales hacia la zona de convergencia intertropical (línea ecuatorial), es decir los vientos alisios en el hemisferio sur soplan del sureste y en el hemisferio norte desde el noreste convergiendo en la línea ecuatorial, llamada zona de calma por los navegantes (SailanTrip, sf).

Este aire húmedo, es enfriado por efecto de la Corriente Fría de Humboldt, pero no puede condensarse lo suficiente para convertirse en lluvia. Este proceso se ve afectado por la inversión térmica presente en la costa peruana, lo que impide que las masas de aire húmedo puedan elevarse más allá de los 1,000 msnm. Debido a este efecto en las lomas costera no presenta lluvia sino mas bien garúas, o gotas de rocío.

1.2 Delimitación

1.2.1 Delimitación temporal.

El trabajo de suficiencia profesional, se desarrolló durante los meses de julio a octubre del 2021.

1.2.2 Delimitación espacial.

El trabajo de suficiencia profesional se ejecutó en dos ecosistemas de Lomas, una de ellas en la Reserva Nacional de Lachay y la otra en ACR Lomas de Amancaes, ambas pertenecientes al departamento de Lima.

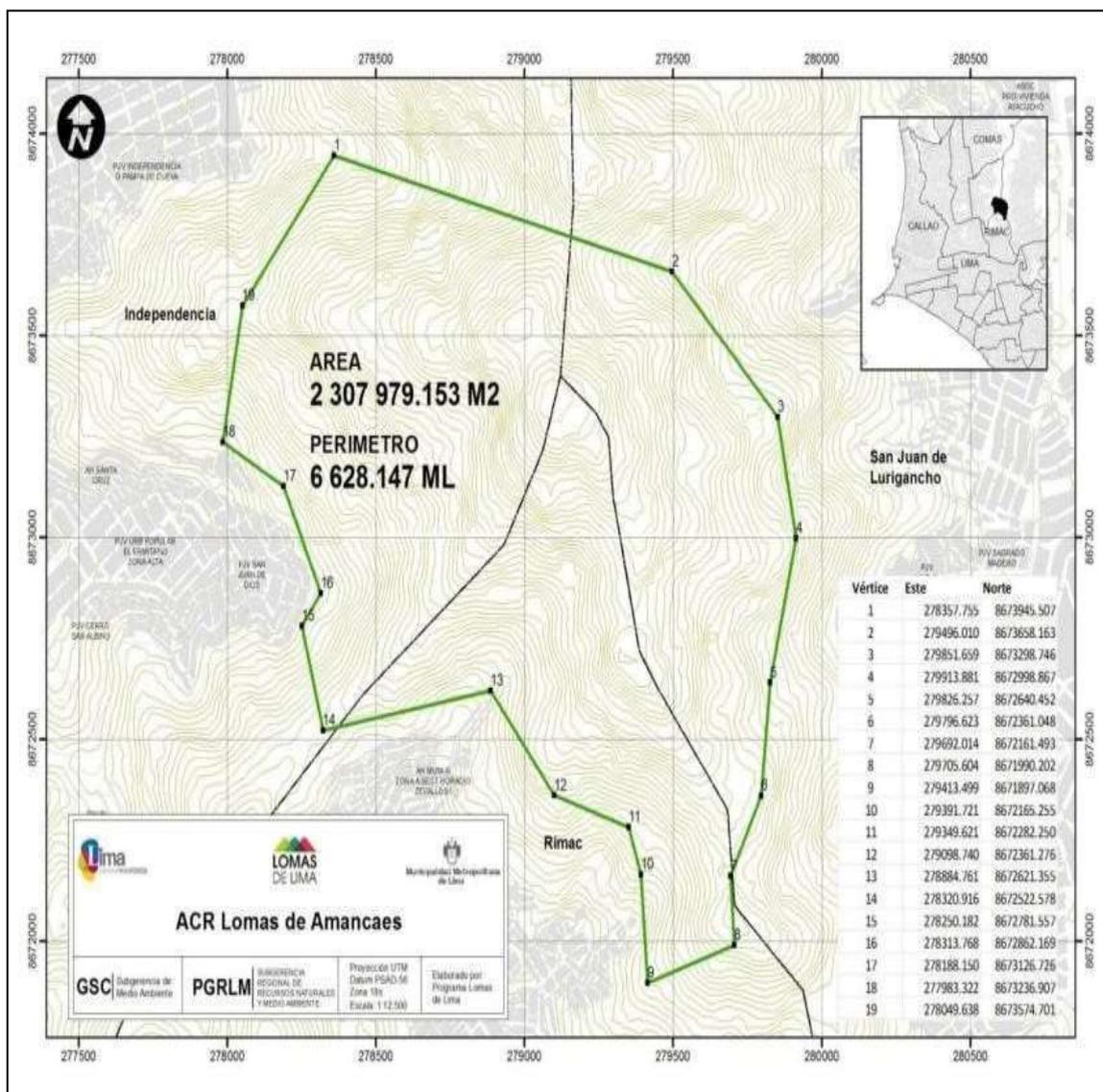
La reserva Nacional de Lachay se ubica a 135 km de las lomas de Amancaes y a dos horas de trayecto.

Las lomas de Amancaes pertenecen a los distritos de Independencia, San Juan de Lurigancho y El Rímac (Figura 9).

Las Lomas de Lachay se encuentra entre los distritos de Chancay, Huacho, Huaral y Sayán pertenecientes a las provincias de Huaura y Huaral (Figura 10)

Figura 9

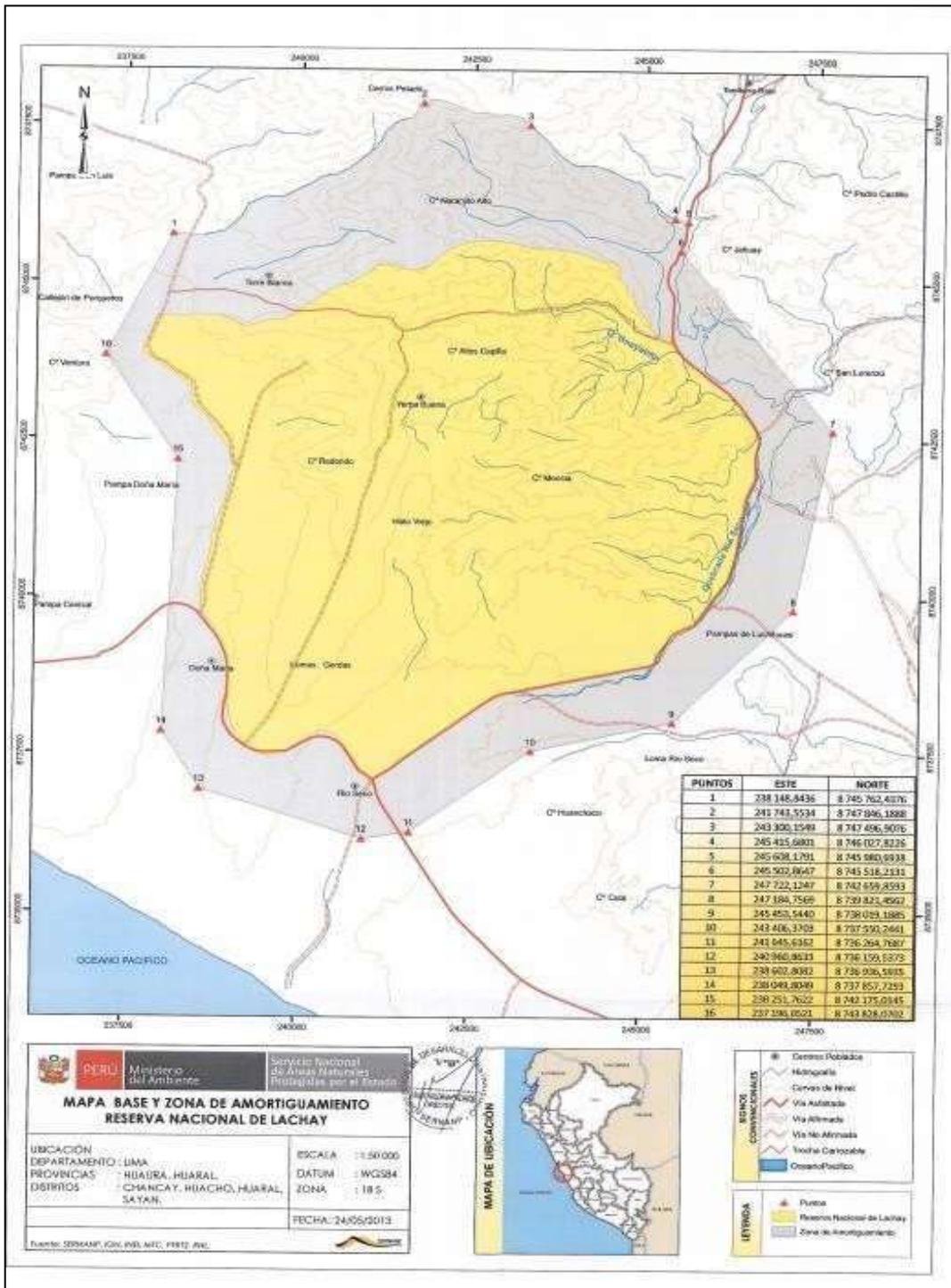
Mapa de ubicación del ACR Lomas de Amancaes



Fuente: Municipalidad Metropolitana de Lima (2019)

Figura 10

Mapa de Ubicación de la Loma de Lachay.



Fuente: Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas SERNANP (2013)

1.3 Objetivos.

1.3.1 Objetivo general.

- Determinar la calidad del aire a través de la morfología de macrolíquenes, en dos ecosistemas de Lima.

1.3.2 Objetivos específicos.

- Identificar los géneros de macrolíquenes presentes en las lomas de Amancaes y Lachay.
- Analizar los factores climatológicos, características del sustrato y las fuentes de contaminación que influyen en la abundancia (cantidad) y tamaño de los líquenes.
- Comparar la población de los macrolíquenes identificados en las Lomas de Amancaes y Lachay.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes.

Lijteroff, et al. (2008) evaluaron la calidad del aire urbano en la ciudad de San Luis a través de las comunidades líquénicas como bioindicadores. La metodología que siguieron fue establecer seis áreas en la ciudad y un área de control en la ciudad de Juana Koslay, ubicada a 6 km al este. Determino la gradualidad de la contaminación utilizando el Índice de Pureza Atmosférica (IPA). Este valor indicó directamente la cobertura de los líquenes en las zonas de muestreo y la diversidad de especies. Finalmente concluyeron que los valores más bajos en el IPA se encontraron en la ciudad de San Luis y los más altos en el área control en Juana Kolsay, lo que reflejó la baja calidad del aire en la ciudad de San Luis y la eficacia de los líquenes como bioindicadores de la contaminación atmosférica.

Jaramillo & Botero (2010), en su publicación sobre las comunidades líquénicas como bioindicadores de la calidad del aire en el Valle de Aburrá, evaluaron las afectaciones que los líquenes manifiestan a consecuencia de la contaminación atmosférica en dos áreas de muestreo alrededor de dos estaciones de monitoreo de calidad de aire RedAire: una de ellas con mayor contaminación y la otra con baja contaminación. La metodología que siguieron fue determinar el índice de pureza atmosférica (IPA) y el factor Q, para lo cual analizaron datos de cobertura líquénica (vitalidad y fructificación). Finalmente concluyen que, de las 8 especies de líquenes encontradas, *Canoparmelia sp* y *Parmotrema austrosinensis* son las más apropiadas para el estudio de la calidad de aire en el Valle de Aburrá.

Quispe et al. (2015), evaluaron la calidad del aire mediante la presencia o ausencia de líquenes en la ciudad de Tingo María, Perú. En Jirón Huánuco y las avenidas Amazonas, Ucayali, alameda Perú y Raymondi de Tingo María, desarrollaron el método de cartografía de líquenes, basado en la utilización de líquenes como

organismos bioindicadores de la calidad del aire por su sensibilidad frente a cambios en el ambiente, expresados en su frecuencia y abundancia. En la determinación del IPA para cada zona de monitoreo que solo en la Z1 el nivel de contaminación fue bajo y para las otras zonas de monitoreo fueron moderados. Por lo tanto, concluyen que los niveles de contaminación atmosférica en la zona urbana de Tingo María y tienen estrecha relación con las tasas de flujo vehicular.

Carrero & Rodríguez (2019), evaluaron la eficiencia de los líquenes como bioindicadores de la calidad de aire en un tramo de la vía Villavicencio. Para ello analizaron el comportamiento de los líquenes ante las variaciones del estado del aire, por medio de una correlación lineal entre los líquenes y una estación de monitoreo. Calcularon el IPA, elaboraron una rosa de viento y realizaron un modelo Lagrangiano de Hysplit con el que pudieron simular la dispersión de los contaminantes. Concluyen que la calidad del aire en la zona es óptima y favorable para los seres vivos, en razón a que la concentración de los contaminantes no supera los niveles máximos permisibles y el biotipo con mayor porcentaje de cobertura liquénica fue el folioso siendo este un bioindicador de buena calidad del aire por su frecuente presencia en zonas no contaminadas.

Montenegro & Cruz (2019), determinaron la calidad de aire en la ciudad de Jaén, su objetivo principal fue estudiar a los líquenes como bioindicador de la calidad de aire. El estudio lo realizaron en forofitos, para ello identificaron las especies de líquenes, midieron el pH de la corteza, cuantificaron el flujo vehicular y usaron el método del índice de pureza atmosférica (IPA). Concluyen que la presencia de un 83% del tipo de liquen folioso en las diferentes áreas públicas muestreadas dan como resultado que la calidad del aire en la ciudad de Jaén es buena. Finalmente recomiendan investigar sobre los agentes de contaminación atmosférica en los alrededores de las áreas públicas muestreadas que intervienen en el aumento del pH en las cortezas de los forofitos muestreados.

Calderón (2019), evaluó al liquen *Rocella gracilis* como bioindicador de la calidad del aire en la ciudad de Lima con la finalidad de conocer los compuestos minerales indicadores de metales pesados en el liquen. Para ello examinó el crecimiento

mensual de la especie *Rocella gracilis* en cinco zonas por un periodo de cuatro meses. Para conocer los compuestos minerales en los líquenes, analizó dos muestras (Liquen A y Liquen B) los cuales tuvieron un crecimiento significativo. El análisis lo determinó mediante el microscopio electrónico de barrido rápido (MEBA). De las muestras analizadas, el liquen *Rocella gracilis* Bory se considera como bioindicador de la calidad del aire puesto que bioacumuló en su estructura minerales con elementos pesados tales como Ba, Fe, Sr, Cu, As, Pb y Zn.

Figueredo (2020), determinó los efectos de los contaminantes atmosféricos sobre las comunidades de líquenes foliosos en la ciudad de Bogotá, para ello realizó transectos de 100 x 2m y escogió cinco forofitos. La medición de la cobertura de los líquenes se realizó en el fuste de los árboles y la comunidad de líquenes fue evaluada en términos de composición y diversidad. Las estaciones de muestreo se clasificaron según el Índice de Pureza Atmosférica (IPA) y el índice de calidad del aire de Bogotá (ICA).

Figueredo (2020), de su trabajo concluye que comunidad de líquenes predominantes fueron las familias *Parmeliaceae* y *Physciaceae*, el género *Physcia* y las especies *Flavopunctelia flaventior* y *Candelaria concolor*, y basandose en los índices obtenidos estableció una clasificación según el nivel de contaminación: muy baja (Simón Bolívar), moderada (Nuevo Country) y alta (Calle 26), esta clasificación fue soportada con las abundancias y riqueza de la comunidad de líquenes evaluada.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Liquen

A través de los años la definición de liquen ha ido variando, según Redon (1985) define a un liquen como “plantas compuestas por dos especies diferentes, hongo y alga, que viven en una íntima simbiosis morfológica y fisiológica, quizá la más perfecta que se conoce” (p.2) (Anexo1). Barreno y Vico (sf) citan a Huber y Kidbey quienes definen a un liquen como una asociación

de un hongo, y unas veces de un alga o cyanobacteria, que producen una estructura estable.

Asimismo, los líquenes se encuentran en diferentes sustratos, desde rocas o suelo desnudo, pasando por corteza de árboles vivos o caídos, hasta la lápida de las tumbas. Son capaces de desarrollarse sobre cualquier sustrato inerte u orgánico, gracias a la capacidad de obtener alimentos del ficobionte y no del sustrato (Moreno et al.,2007). El alga (ficobionte) es capaz de hacer fotosíntesis y produce hidratos de carbono a partir de CO₂ y agua.

Los líquenes se encuentran en casi todos los hábitats terrestres desde los trópicos hasta las regiones polares, desarrollándose sobre diferentes sustratos. Los líquenes más comunes crecen sobre la corteza de los árboles o de otras plantas (líquenes epifitos) o sobre rocas (saxícolas) y algunas especies son capaces de colonizar los suelos desnudos (líquenes terrícolas), solo algunos líquenes son capaces de vivir dentro de las rocas (líquenes endolíticos) (Cubas et., al 2010).

2.2.2 Taxonomía.

Desde el punto de vista taxonómico, los líquenes no constituyen un grupo natural biológico, y se clasifica dentro del reino Fungi. En efecto los líquenes son hongos (en su mayoría *Ascomycetes*), que se asocian con algas (clorofíceas y Cianofíceas) (Instituto de Botánica del Nordeste, sf).

a) Taxonomía del Liqueen *Parmotrema*.

Parmotrema es un género de líquenes perteneciente a la familia Parmeliaceae. Es un género grande, que contiene unas 300 especies, con un centro de diversidad en las regiones subtropicales de América del Sur y las islas del Pacífico.

- Reino: Fungi
- Division: Ascomycota
- Clase: Lecanoromycetes
- Orden lecanorales
- Family: Parmeliaceae
- Genero: *Parmotrema*

b) Taxonomía del Liquen *Ramalina*.

Ramalina es un género de líquenes fruticulosos de la familia Ramalinaceae

- Reino: Fungi
- Division: Ascomycota
- Clase: Lecanoromycetes
- Orden lecanorales
- Family: Ramalinaceae
- Genero: *Ramalina*

c) Taxonomía del Liquen *Usnea*.

Usnea es un género de líquenes de la familia Parmeliaecae, que generalmente crece colgando de las ramas del árbol, pareciendo cabello gris o verdoso.

- Reino: Fungi
- Division: Ascomycota
- Clase: Lecanoromycetes
- Orden lecanorales
- Family: Parmeliaceae
- Genero: *Usnea*

2.2.3 Clasificación de líquenes.

2.2.3.1 Según su morfología

Cubas et., al (2010), describen los biotipos más frecuentes según el aspecto externo del talo.

a) Crustáceos

Liquen en forma de costra (crustáceo) fuertemente unidos al sustrato. Carecen de córtex inferior y no se pueden separar del sustrato ni romperlos (Cubas et al, 2010)

b) Foliáceos o folioso.

Líquenes en forma de hojas (foliáceos), solo parcialmente unidos al sustrato por lo que se puede separar fácilmente de él. Con córtex inferior diferenciado y en ocasiones ricinas o rizomorfos (Cubas et al, 2010)

c) Fruticosos.

Líquenes en forma de diminutos arbustos ramificados(fruticosos), que solo contactan con el sustrato por una pequeña zona (Cubas et al, 2010)

d) Compuesto.

Un biotipo particular es el llamado compuesto, con una parte basal en forma de escamas (escuamulosa) y una parte erguida (podecios) (Cubas et al, 2010)

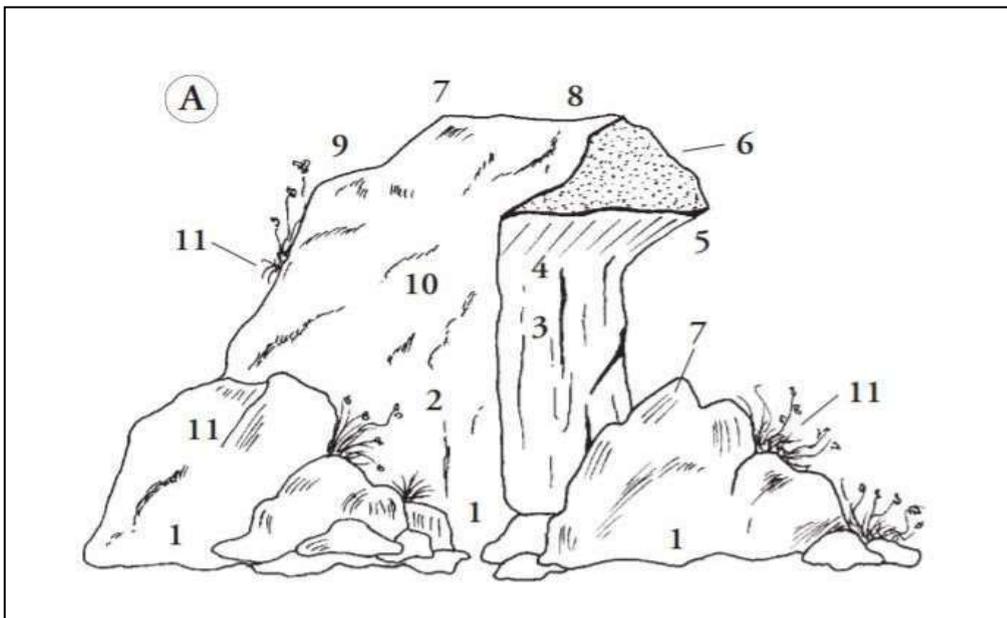
2.2.3.2 Según el sustrato

a) Saxícolas

Los líquenes colonizadores de este tipo de sustrato están condicionadas a la situación topográfica de las rocas y los microambientes que se crean (Figura 11). Los contrastes térmicos entre la superficie rocosa y el aire pueden elevar el porcentaje de humedad relativa, provocando el depósito de rocío, niebla goteante o cencellada. Bajo estas circunstancias, los hábitats rupícolas, se convierten para los líquenes en excelentes habitats para su desarrollo (Barreno & Ortega, 2003).

Figura 11

Microambientes en las rocas.



Nota: A.conjunto de bloques de tamaño grande y pared vertical donde se puede diferenciar diferentes ambientes : (1) superficies cercanas al suelo, (2) superficies verticales o subverticales a media altura del suelo, (3) superficies verticales alejadas del suelo, (4) extraplomos, (5) techos, (6 y 7) espolones, (8) superficies horizontales de cimas rocosas, (9) superficies de cimas rocosas medianamente inclinadas, (10) fisuras y grietas pequeñas, (11) grietas anchas.

Fuente:Barreno & Ortega (2003).

b) Cortícolas

La corteza de las plantas leñosas (Figura 12) son el sustrato principal de los líquenes epífitos. El sustrato como, como factor discriminante en la colonización, puede influir, por medio de sus características físicas y químicas. La textura, el pH, determinan la selección entre las especies disponibles. Con el paso de los años la corteza de los árboles comienza a agrietarse provocando que la retención de agua o de polvo atmosférico sea mayor (Barreno & Ortega, 2003).

Figura 12

Líquenes sobre la corteza del árbol



c) Lignícolas

Es uno de los hábitats más interesantes que se encuentran en aquellos bosques maduros y poco o nada explotados. La colonización de estos medios por los líquenes puede ir acompañada o no de briofitos (Barreno & Ortega, 2003).

2.2.4 Reproducción de líquenes

Los líquenes al estar compuestas entre un hongo y un alga, presentar reproducción sexual y asexual. Redón (2019), menciona que la reproducción sexual básicamente va a depender del micobionte(hongo) produciendo cuerpos fructíferos que contienen a las esporas. Asimismo, estos cuerpos fructíferos son llamados ascocarpos ya que el micobionte pertenece al grupo de los *Ascomycetes* y en algunas especies el hongo es un *Basidiomycete* produciendo cuerpos fructíferos llamados basidiocarpo.

La reproducción asexual como lo define Cubas et., al (2010) se da por la formación de unas estructuras denominadas soredios e isidios, aunque Redon (1985) considera otros medios de propagación más: picnidios, algas himeniales y fragmentos talinos.

Cubas et., al (2010), sostiene que los soredios e isidios contienen células algales englobadas en masas de hifas, se desprenden del talo y dan lugar a nuevos líquenes.

En general el crecimiento de los líquenes es muy lento siendo las formas fruticasas y foliáceas las que más rápido crecen en comparación a la forma crustosa (Redon,1985, p.19).

2.2.5 Distribución de los líquenes

A través del proceso evolutivo, los líquenes han colonizado un elevado número de hábitats diferentes. Debido a su lento crecimiento se han desarrollado en ambientes donde la competencia no existe, mostrando resistencia contra factores ambientales extremos pudiendo sobrevivir por largos periodos en estado latente. Solamente en zonas industriales y de urbanización, los líquenes están ausentes. Su gran sensibilidad frente a gases tóxicos, tales como el SO₂, ha posibilitado utilizarlos como bioindicadores del grado de contaminación atmosférica (Redon,1985)

En general estas plantas poseen requerimientos luminosos mayores que los musgos, se desarrollan en mejor a temperaturas que no sobrepasen los 30°C, especies de zona desértica alcanzan su temperatura optima entre 18 y 20 °C, y pueden absorber agua directamente de la lluvia, rocío o vapor de agua atmosférico o indirectamente del substrato (Redon, 1985)

2.2.6 Liquen como bioindicador de la calidad de aire

Conti y Cecchetti (como se citó en Gonzales et al. 2014) definen a los bioindicadores como “organismos que sirven para la identificación y determinación cualitativa de las alteraciones ambientales que los seres humanos generan” (p.581)

Los líquenes pueden ser usados como bioindicadores de la calidad de aire (Redon,1985, p.19) y es importante conocer las razones por las cuales pueden ser usados para tal fin.

Se presenta un listado de algunas de las razones por las que los líquenes son considerados buenos indicadores de la calidad del aire y que fueron mencionadas en la publicación de (INECC¹ & ECOSUR², 2014)

- No poseen raíces, cutículas ni estomas por lo que a través de toda su superficie toman sus nutrientes directamente del aire.
- Absorben iones disueltos en gotas de lluvia o vapor de agua presentes en el aire o partículas insoluble (aerosoles atmosféricos).
- Son perennes e inmóviles ya que pueden vivir muchos años, sin partes caducas, lo que los hace estar siempre expuestos.

¹ Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático

² El Colegio de la Frontera Sur

- Pueden acumular sustancias en diferentes concentraciones en relación con la distancia y cantidad que hay en la fuente.
- Diferentes especies muestran una marcada variación de sensibilidad a los contaminantes atmosféricos.
- Se puede interpretar el tipo y grado de contaminación de acuerdo a su presencia-ausencia y/o diversidad de los integrantes de las comunidades de líquenes.
- Los métodos de recolecta en campo son simples y pueden ser realizados por personas no especialistas.
- Su actividad metabólica es lenta y su tasa de crecimiento reducida.
- Responden en corto tiempo al impacto de la contaminación atmosférica.

El uso de líquenes como bioindicadores de lectura inmediata se basa en que los trabajos pueden ser realizados sin la identificación total de las especies involucradas, y en el hecho de que son perennes y fácilmente discernibles a simple vista o con la ayuda de una lupa de campo (Revista Iberoamericana de Micología, 2005)

Cubas et al. (2010), indica que los líquenes pueden ser utilizados como bioindicadores de las siguientes maneras.:

- “Analizando detalles de las especies presentes en cada localidad, basándose en la cuantificación de su abundancia y construyendo tablas de presencia-ausencia. Requiere la identificación de las especies en el campo con suficiente precisión” (p.8)
- “Toma de muestras de una o más especies sistemáticamente en las localidades de interés. Realizar análisis químico de las concentraciones de distintos elementos y/o análisis de actividad de liquen (fotosíntesis,

intercambio de CO₂, etc) para poder comparar los niveles de concentración de los elementos y de la vitalidad liquénica en las distintas estaciones” (p.8)

2.2.7 Monitoreo de la calidad de aire

La contaminación del aire representa un importante riesgo medioambiental para la salud, según la OMS (2005) son más de dos millones las muertes prematuras que se pueden atribuir cada año a los efectos de la contaminación del aire en espacios abiertos, por ello es importante conocer la calidad de aire en un determinado lugar para poder tomar medidas de control.

En el Perú existe normas legales para monitorear la calidad de aire a través de ciertos parámetros tales como, benceno (C₆H₆), dióxido de azufre (SO₂), dióxido de nitrógeno (NO₂), material particulado (PM_{2.5}), material particulado (PM₁₀), mercurio gaseoso (Hg), monóxido de carbono (CO), ozono (O₃), plomo (Pb) y sulfuro de hidrogeno (H₂S), estos parámetros se miden mediante diferentes métodos de análisis de muestras aprobados que involucran la cromatografía, fluorescencia, quimioluminiscencia, gravimetría, espectrometría, infrarrojo y fotometría (MINAM,2017)

Instituto Nacional de Ecología (sf) afirma que la concentración de contaminantes atmosféricos se puede medir a través de diferentes métodos:

a) Muestreo pasivo

Este método de muestreo colecta un contaminante específico por medio de su adsorción y/o absorción en un sustrato químico seleccionado, el tiempo de muestreo varía desde una hora, meses o años. La muestra se regresa al laboratorio donde se realiza la desorción del contaminante para ser analizado cuantitativamente.

b) Muestreo con bioindicadores

Este método implica el uso de especies vivas generalmente vegetales, como árboles y plantas, donde su superficie funge como receptora de contaminantes. Sin embargo, a pesar de que se han desarrollado guías sobre estas metodologías, todavía quedan problemas no resueltos en cuanto a la estandarización y armonización de estas técnicas.

c) Muestreo Activo

Requiere de energía eléctrica para succionar el aire a muestrear a través de un medio de colección físico o químico. El volumen adicional de aire muestreado incrementa la sensibilidad, por lo que pueden obtenerse mediciones diarias promedio. Los muestreadores activos se clasifican en burbujeadores (gases) e impactadores (partículas).

d) Método automático

Estos métodos son los mejores en términos de la alta resolución de sus mediciones, permitiendo llevar a cabo mediciones de forma continua para concentraciones horarias y menores.

Este método requiere la colecta de muestras que se analizan utilizando una variedad de métodos los cuales incluyen la espectroscopia y cromatografía de gases. Además, estos métodos presentan la ventaja de que una vez que se carga la muestra al sistema nos da las lecturas de las concentraciones de manera automática y en tiempo real.

e) Método óptico de recepción remota

Los métodos ópticos de percepción remota: se basan en técnicas espectroscópicas. Transmiten un haz de luz de una cierta longitud de onda a la atmósfera y miden la energía absorbida. Con ellos es posible hacer mediciones, en tiempo real, de la concentración de diversos contaminantes. A

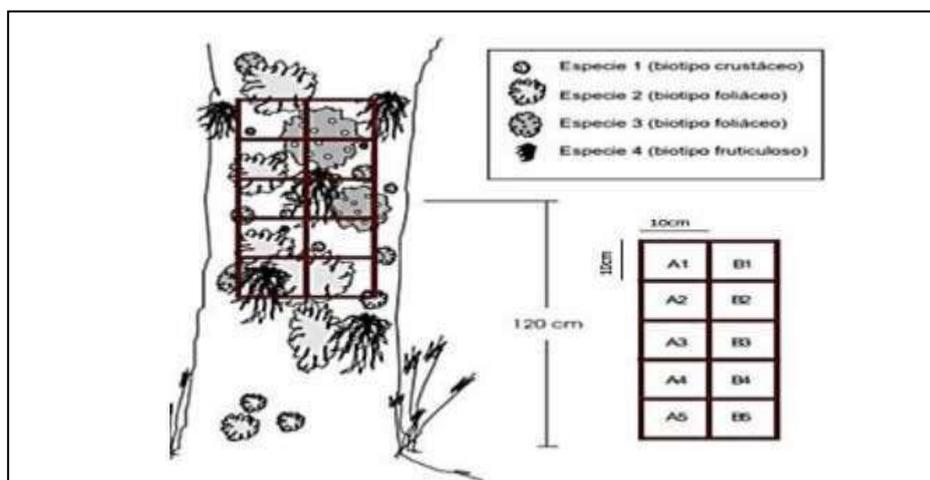
diferencia de los monitores automáticos, que proporcionan mediciones de un contaminante en un punto determinado en el espacio, pueden proporcionar mediciones integradas de multicomponentes a lo largo de una trayectoria específica en la atmósfera (normalmente mayor a 100 m). Los equipos utilizados se conocen como sensores remotos.

2.2.8 Índice de pureza atmosférica (IPA)

Ecosistemas (2003) se refiere al IPA como el método más utilizado en trabajos de biomonitorización basándose en las variaciones que la contaminación atmosférica induce en las comunidades liquénicas. El IPA es calculado a partir del número de especies presentes y la frecuencia de cada una de ellas en las diferentes localidades de estudio. En este método se elige el forofito o árbol sobre el que se asientan los líquenes epifitos, se sitúa la red de muestreo sobre el tronco, a una altura de 120 y 180 cm del suelo como se ve en la Figura 13. Además, se toma los datos de altitud. Coordenadas UTM, fecha, listado de especies y su presencia en cada uno de los rectángulos que conforman la red de muestreo.

Figura 13

Ubicación de la rejilla sobre el tronco



Fuente: Servicio de Sanidad Forestal y Equilibrios Biológicos SSF (2000)

2.3 Definición de términos básicos.

- **Especie bioindicador:** “Aquellas que por sus características (sensibilidad a las perturbaciones ambientales, distribución, abundancia, dispersión, éxito reproductivo, entre otras) pueden ser usadas como estimadoras del estatus de otras especies o condiciones ambientales de interés que resultan difíciles, inconvenientes o costosas de medir directamente” (Heink y Kowarik, 2010)

- **Contaminación atmosférica:** “La contaminación atmosférica es la presencia que existe en el aire de pequeñas partículas o productos secundarios gaseosos que pueden implicar riesgo, daño o molestia para las personas, plantas y animales que se encuentran expuestas a dicho ambiente” (IDEAM,sf).

- **Monitoreo:** “El monitoreo es una actividad que consiste en observar una situación para detectar los cambios que ocurren con el tiempo [Instituto Nacional de Ecología” (INE), sf]

- **Lomas costeras:** Son ecosistemas endémicos, propios de la costa de Perú y Chile, que tienen la característica de ser estacionales, quiere decir, que poseen características cambiantes según la estación del año (PUCP,2020)

- **Liquen:** “Una asociación de un hongo, y unas veces de un alga o cyanobacteria, que producen una estructura estable” (Redon,1985)

- **Macroliquen:** “Liquen fácilmente observable por tener un tamaño grande, suelen ser de biotopos foliáceos, fruticulosos, placodioides o escuamulosos.

CAPÍTULO III

DESARROLLO DEL TRABAJO PROFESIONAL

3.1 Determinación y análisis del problema.

En la ciudad de Lima metropolitana existe una alta concentración de contaminantes debido a factores antropogénicos, por ello es importante medir el nivel de polución atmosférico. Actualmente los monitoreos que se realizan son con métodos de análisis físicos, químicos para los parámetros establecidos en el estándar de calidad ambiental (ECA) en el aire. Sin embargo, también existe métodos que usan bioindicadores para medir la contaminación del aire, pero aún no existe un estándar biótico que permita determinar el nivel de contaminación.

La mayoría de estudios utilizan el índice de pureza atmosférica (IPA) para medir el nivel de contaminación, pero se centran en estudiar los líquenes presentes en forofitos (árboles).

En zonas desérticas o con escasa cantidad de especies arbóreas, no se podría medir la calidad del aire a través de la metodología del índice de pureza atmosférica (IPA) ya que esta considera a los forofitos como medio de evaluación para los líquenes.

Por lo tanto, en el presente trabajo se busca determinar la calidad del aire comparando la morfología de líquenes presentes en las lomas de Lachay y Amancaes, pero no evaluando sobre especies arbóreas ya que son muy escasas en las lomas de Amancaes. Los líquenes a evaluar serán sobre las rocas debido a que este tipo de sustrato está presente en ambas lomas.

3.2 Modelo de solución propuesto.

El trabajo se realizó en gabinete y en campo. En la fase de gabinete se determinó el área de estudio y se establecieron las características del objeto de estudio. En la fase de campo se realizó la caminata hasta las áreas de estudio y se procedió a tomar la data. Finalmente se procesó la información recolectada.

3.2.1 Materiales y equipos

3.2.1.1 Materiales

Tabla 6

Materiales

Materiales	Cantidad
1. Cinta métrica de 1 m	1 u
2. Regla de 20 cm	1 u
3. Wincha de 5 m	1 u
4. Hojas bond	50 u
5. Útiles de escritorio	varios
6. Tablero de apuntes	1 u

3.2.1.2 Equipos

Tabla 7

Equipos

Equipos	Cantidad
1. Laptop Asus M415D	1 u
2. Impresora Canon	1 u
3. Receptor GPS	1u
4. Brújula	1 u
5. App Clinometer	1 u
6. Software ArcGis Versión 10.1	1 u
7. Software Google Earth	1 u

3.2.2 Metodología.

3.2.2.1 Fase de gabinete

a) Área de estudio

Las áreas de estudio consideradas para el presente estudio fueron la Reserva Nacional de Lachay (loma sin contaminación atmosférica/loma control) y lomas de Amancaes (loma impactada).

En gabinete se usó el Google Earth para establecer las zonas de evaluación en las lomas en base a la distancia del mar y la altitud (Figuras 14 y 15). La altitud y las coordenadas UTM se muestran en la Tabla 8.

Tabla 8

Coordenadas UTM y altitud de las dos áreas de estudio.

Área de estudio	Coordenadas UTM		Altitud m.s.n.m
Loma de Lachay	243474.00 E	8743560.00 S	632
Lomas de Amancaes	278825.00 E	8673057.00 S	621

Figura 14

Área de estudio para las lomas de Amancaes.

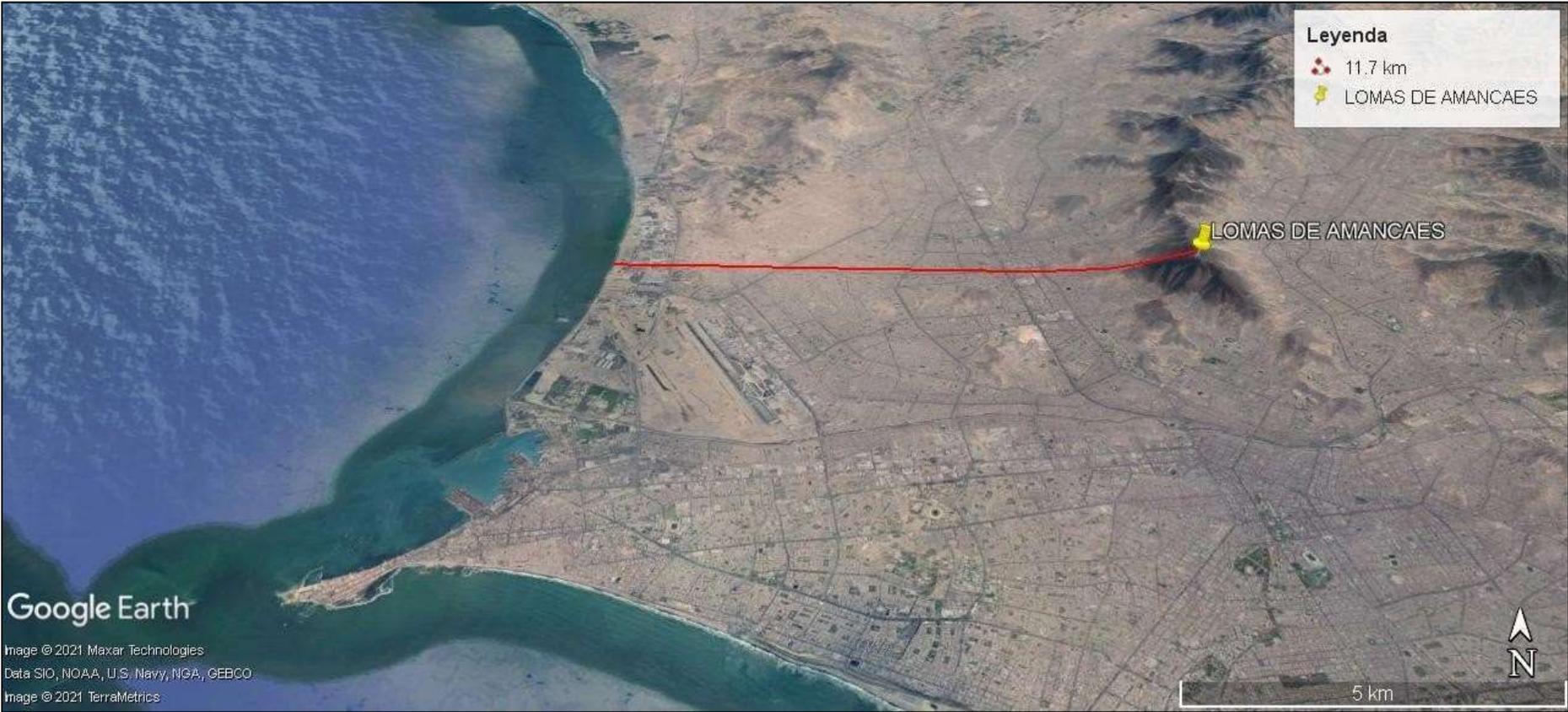
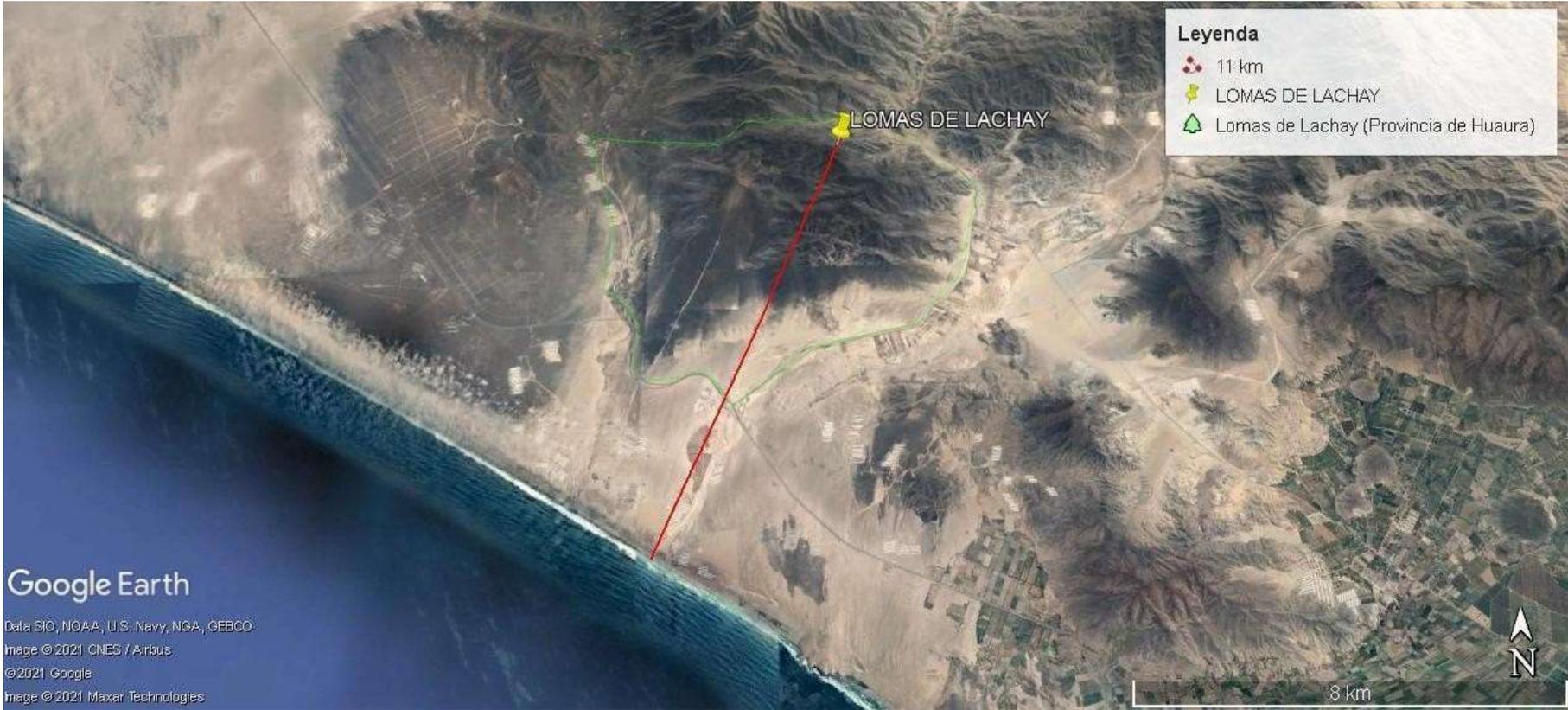


Figura 15

Área de estudio para la loma de Lachay



b) Sustrato rocoso

Se eligieron cinco rocas en cada loma de estudio. Las rocas fueron elegidas siguiendo los siguientes criterios.

- Ubicadas a una altitud mayor a 630 m.s.n.m.
- Sin grafitis, ni marcas.
- Que no estén agrietadas
- Sin cobertura vegetal (plantas superiores).
- Superficie de la roca con un área de 1m² aproximadamente.
- La cara de las rocas evaluadas en orientación cardinal suroeste y con una inclinación entre los 45° y 90°.

c) Líquenes

En este estudio se decidió evaluar a los macrolíquenes saxícolas de morfología foliosa y fruticosa ya que son los más frecuentes, de fácil identificación en los ecosistemas de lomas y de rápido crecimiento.

Para la determinación de líquenes de las dos lomas de estudio, se consultó la bibliografía y las claves para género (Ramírez,2018), asimismo se contó con el asesoramiento del biólogo Ángel Ramírez especialista en líquenes.

3.2.2.2 Fase de campo

En cada área de estudio se seleccionaron cinco rocas que cumplieron con los criterios mencionados en el párrafo anterior (Figuras 16 y 17).

Figura 16

Ubicación de las rocas evaluadas en la loma de Lachay

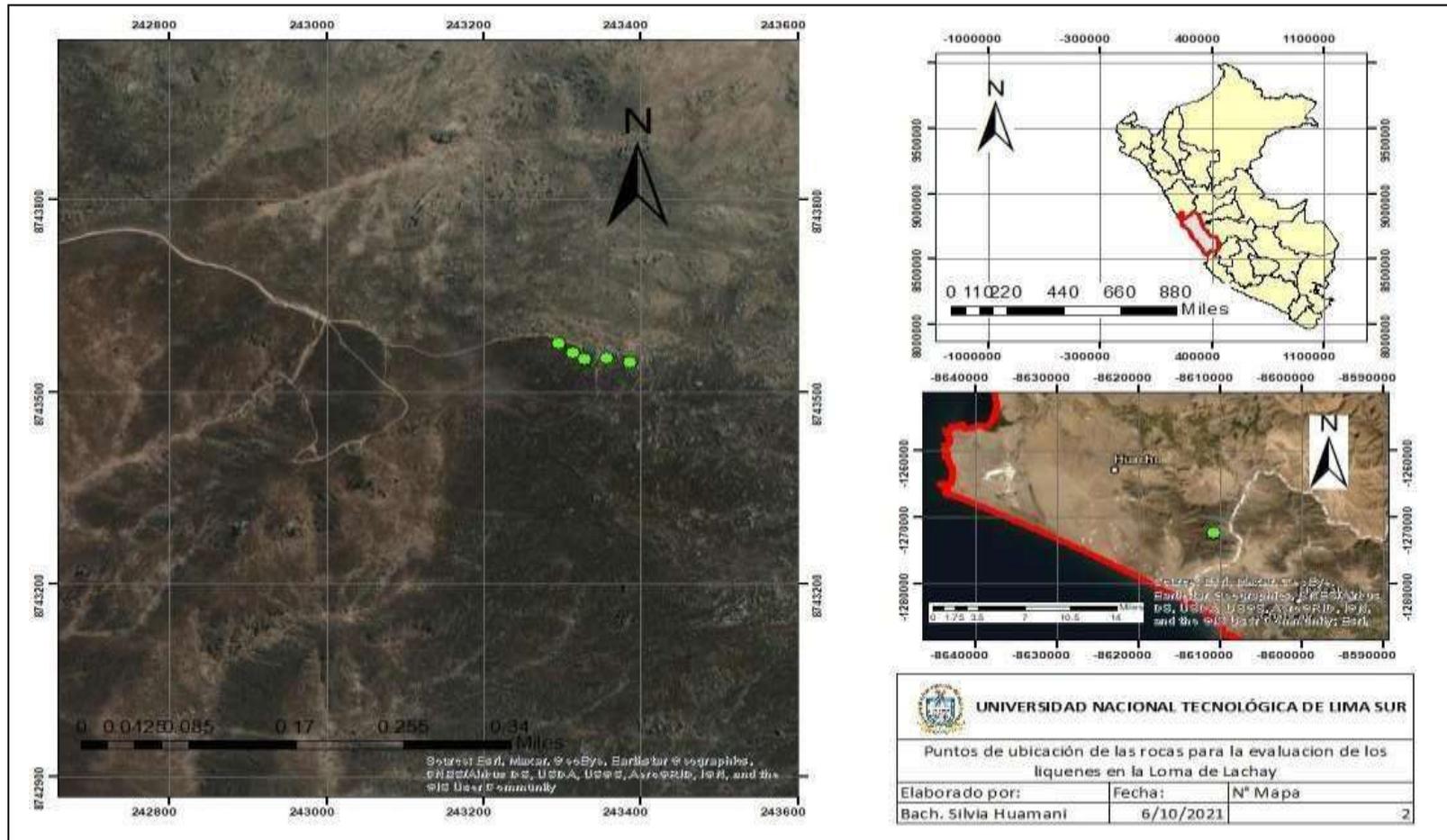
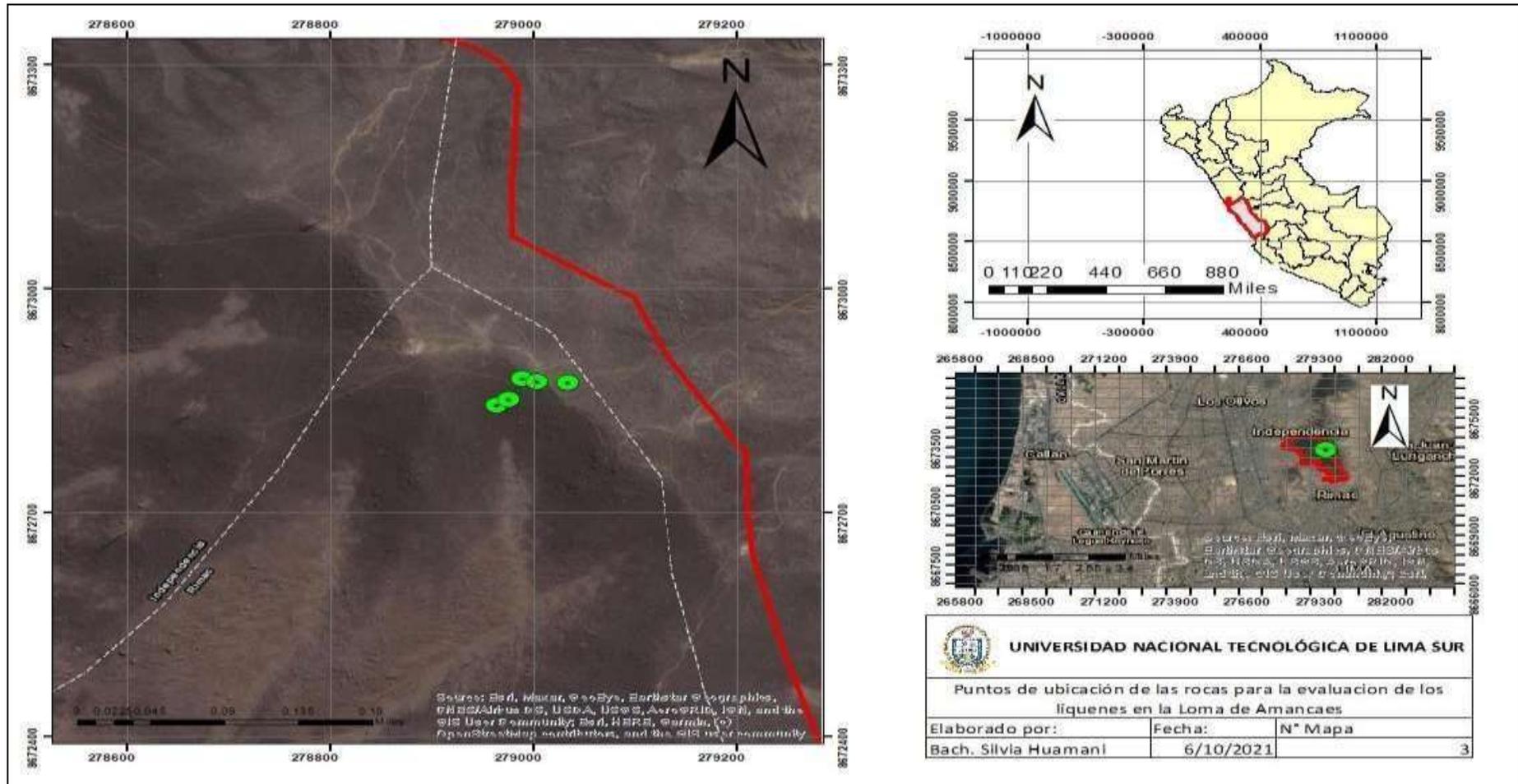


Figura 17

Ubicación de las rocas evaluadas en las lomas de Amancaes



a) Toma de datos de las rocas.

Los datos que se registraron se basaron en los factores climatológicos, los criterios establecidos para las rocas, la abundancia y tamaño de líquenes.

Coordenadas UTM

Las coordenadas UTM fueron tomadas con un receptor GPS (Figura 18).

Figura 18

Registro de coordenadas en UTM



Orientación cardinal

La superficie de las rocas consideradas fueron las que tuvieron orientación al suroeste y esta fue medida con una brújula (Figura 19).

Figura 19

Orientación cardinal de la superficie de la roca.



Inclinación de la superficie de la roca

La inclinación de las superficies de las rocas fue tomada mediante una aplicación del celular (Clinómetro) y se basó en las tres categorías determinadas por Heywood (1954). Pendientes suaves menor a 22.5° ; pendientes medias, mayor igual a 22.5° y menor igual a 67.5° ; y pendientes rectas, mayor a 67.5° . para este estudio se consideró las rocas con pendientes medias y rectas.

Sustrato

En el estudio se consideró al sustrato liso, ya que Valdivia & Ramírez (2018) clasifican al sustrato en liso y escalonado, el primero de masa compacta sin presencia de fisuras y el segunda con presencia de fisuras y tamaño irregular. Asimismo, con una cinta métrica se tomó las dimensiones para la elección de rocas similares en tamaño (Figura 20).

Figura 20

Selección de sustrato



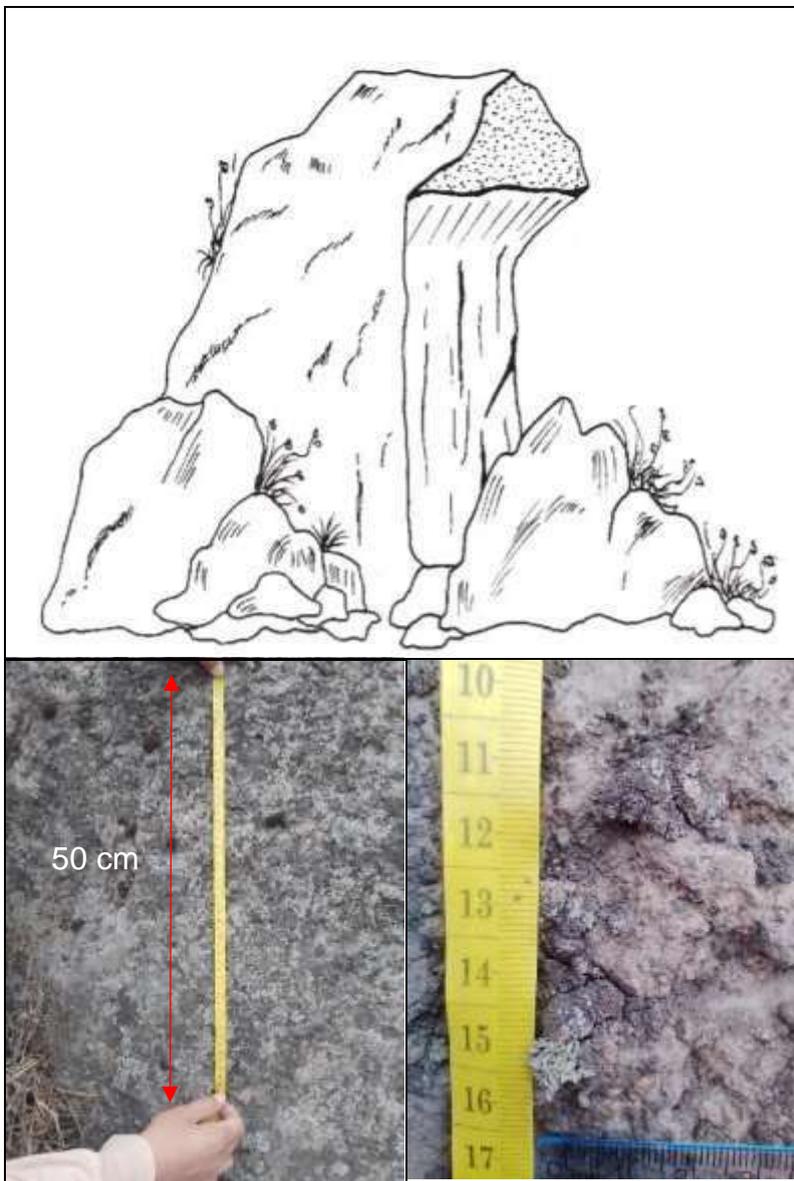
Nota: (a) sustrato liso sin fisuras, (b) dimensiones de la roca.

b) Toma de datos para líquenes.

En todas las superficies de las rocas seleccionadas se colocó una cinta métrica a una altura media del suelo (entre los 60 cm a 85 cm), y en posición vertical se trazó una línea de 50 cm en la superficie de la roca en donde se contó y se midió a los líquenes a ambos lados de la línea trazada (Figura 21).

Figura 21

Registro de datos de abundancia y tamaño



Nota: Los datos de tamaño y abundancia fueron tomados para determinar la calidad del aire

c) Determinación de la calidad del aire

Para determinar la calidad de aire se consideró a la loma control (Reserva Nacional de Lachay) como la más adecuada como patrón y estándar de la calidad del aire.

Se agrupo a los líquenes según su género e intervalos de tamaño. El intervalo de tamaño fue establecido en base al criterio del investigador y al crecimiento de los líquenes.

En base a los resultados de evaluación de líquenes en Lachay y Amancaes, se realizó una comparación de los líquenes con tamaño más grande, a través de esta comparación se pudo determinar la calidad del aire en las lomas de Amancaes.

3.3 Resultados

3.3.1 Identificación de líquenes

En el ecosistema Loma de Lachay, se identificaron tres géneros de líquenes, de los cuales uno pertenece a la morfología folioso y los otros dos de morfología fruticoso. El liquen *Parmotrema* sp de morfología folioso, talo de color gris sin maculas y sin pseudocifelas; el liquen *Ramalina* sp de morfología fruticoso, con un talo aplanado de color verde a gris. El liquen *Usnea* sp de morfología fruticoso, de talo redondo de color amarillo a verde. (Tabla 9 y Figura 22).

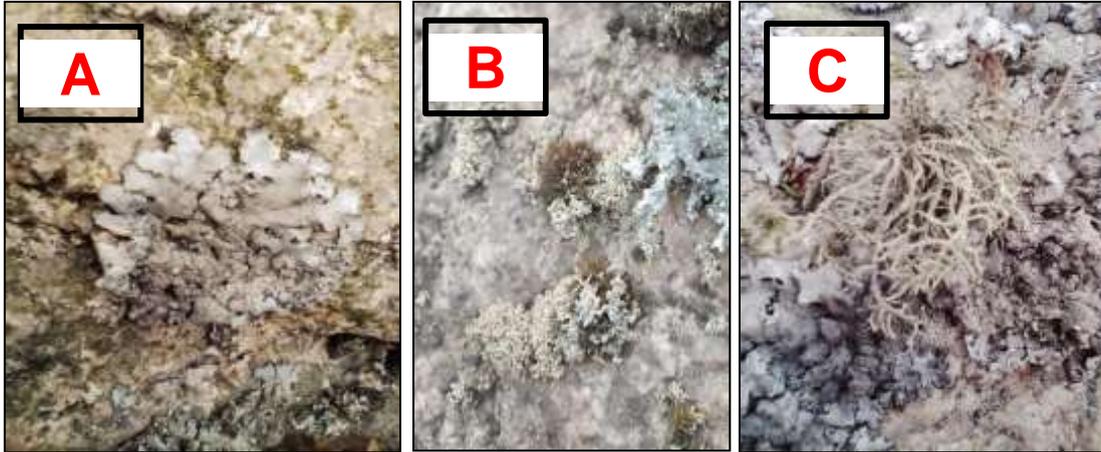
Tabla 9

Líquenes de la loma de Lachay.

N°	Género	Morfología
1	<i>Parmotrema</i> sp	Folioso
2	<i>Ramalina</i> sp	Fruticoso
3	<i>Usnea</i> sp	Fruticoso

Figura 22

Líquenes en la Loma de Lachay.



Nota: (A) líquen *Parmotrema* sp, (B) líquen *Ramalina* sp, (C) líquen *Usnea* sp

La Reserva Loma de Lachay, se encuentra protegida por el estado y por lo tanto es una zona alejada de la industrialización y no presenta contaminación. La presencia de estos líquenes representa la buena calidad de aire en esta zona de estudio.

Además, Montenegro & Cruz (2019) determinaron que la presencia de un 83% del líquen *Parmotrema* sp de morfología folioso representó una buena calidad del aire en la ciudad de Jaén.

En las lomas de Amancaes se identificaron dos géneros de líquen. El líquen *Parmotrema* sp de morfología folioso, talo de color gris sin maculas y sin pseudocifelas y el líquen *Ramalina* sp de morfología fruticosa, con un talo aplanado de color verde a gris. No se observó ningún individuo del género *Usnea* sp (Tabla 10 y Figura 23)

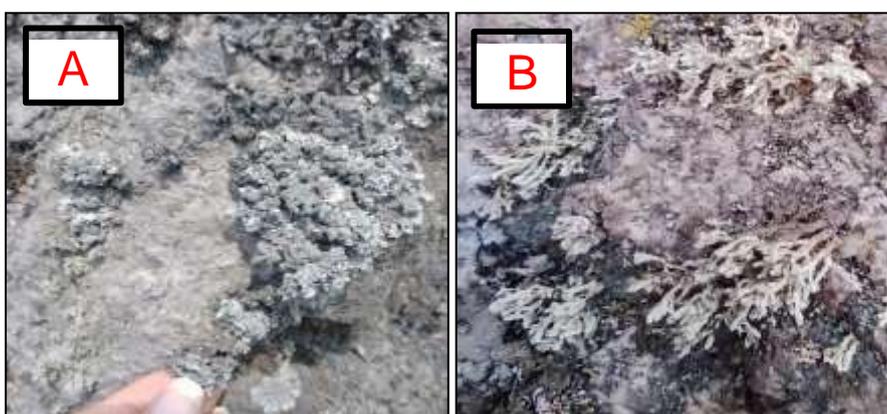
Tabla 10

Líquenes de las lomas de Amancaes

N°	Genero	Morfología
1	<i>Parmotrema</i> sp	Folioso
2	<i>Ramalina</i> sp	Fruticoso

Figura 23

Líquenes en las lomas de Amancaes.



Nota: (A) liquen *Parmotrema* sp, (B) liquen *Ramalina* sp.

En las lomas de Amancaes, al estar ubicada en la ciudad de Lima está expuesta a la contaminación atmosférica, producida por fuentes fijas (parque automotor) y móviles(industrias) (Defensoría del pueblo, sf). La ausencia del género *Usnea* sp en este ecosistema nos puede indicar un nivel de contaminación atmosférica.

3.3.2 Características de los sustratos rocosos evaluados.

En la Tabla 11 se muestran las características de las rocas evaluadas en la loma de Lachay. La orientación cardinal fue de Suroeste a noroeste con un promedio de 233.6 ° y una inclinación promedio de la cara de la roca de 65°. La altitud promedio fue de 626.8 m.s.n.m. El área promedio de las caras de las rocas evaluadas fue 1.23 m².

Tabla 11*Características de las rocas en la Reserva loma de Lachay*

Roca	RESERVA LOMA DE LACHAY					Área (m ²)
	Coordenadas UTM		Orientación cardinal SW	Inclinación	Altitud (m.s.n.m)	
R ₁	243356 E	8743552 S	220°	65°	632	0.72
R ₂	243386 E	8743546 S	230°	65°	630	1.68
R ₃	243328 E	8743550 S	228°	70°	623	0.65
R ₄	243313 E	8743560 S	270°	60°	628	1.54
R ₅	243295 E	8743576 S	220°	65°	621	1.56

Los resultados de las características de las rocas evaluadas en las lomas de Amancaes se detallan en la Tabla 12. De acuerdo a los resultados la orientación cardinal fue de suroeste a noroeste. El promedio de la inclinación y la altitud de las rocas evaluadas fue respectivamente 69.2° y 717.6 m.s.n.m. El área promedio de las caras de las rocas fue 1.16 m².

Tabla 12*Características de las rocas en las Lomas de Amancaes*

Roca	LOMAS DE AMANCAES					Área (m ²)
	Coordenadas UTM		Orientación cardinal SW	Inclinación	Altitud (m.s.n.m)	
R ₁	278963 E	8672843 S	235°	69°	698	0.8
R ₂	278975 E	8672853 S	230°	60°	712	1.3
R ₃	279033 E	8672874 S	220°	72°	724	1.47
R ₄	278989 E	8672880 S	220°	61	728	1.32
R ₅	279003 E	8672876 S	220°	84	726	0.94

Comparando las características de las rocas de los dos ecosistemas (Lomas de Lachay y las lomas de Amancaes), se observa una diferencia poco significativa en las altitudes. En las lomas de Lachay se evaluó las rocas a partir de los 632 m.s.n.m. (puntos de referencia para ambos ecosistemas); sin embargo, las rocas evaluadas en Amancaes se encontraron a mayor altitud,

esto se debe a que a los 632 m.s.n.m las rocas presentaban cobertura vegetal seca (Figura 24), lo que impidió visualizar líquenes y por lo tanto se muestreo a partir de los 698 m.s.n.m.

Figura 24

Rocas cubiertas de vegetación y sin presencia de líquenes.



Nota: Las cinco rocas se encontraron a una altitud de 632 m.s.n.m y en dirección Suroeste.

3.3.3 Abundancia de líquenes.

En las cinco rocas evaluadas se determinó la abundancia de los géneros identificadas en las lomas de Lachay, en orientación suroeste debido a que el viento proviene en esa dirección (Tabla 13)

Tabla 13

Abundancia de líquenes en la loma de Lachay

Roca	<i>Parmotrema sp</i>	<i>Ramalina sp</i>	<i>Usnea sp</i>
	A	A	A
R ₁	16	13	3
R ₂	5	12	2
R ₃	13	10	1
R ₄	6	3	1

R ₅	2	3	1
----------------	---	---	---

Nota: A: abundancia

Los valores de abundancia fueron mayores para el género *Parmotrema* sp y *Ramalina* sp. Además, el género *Usnea* presentó menos valores.

Los patrones de abundancia pueden ser influenciados por la altitud e inclinación de las rocas.

En la Tabla 14 se detallan los resultados para las lomas de Amancaes, la abundancia fue mayor para el género *Ramalina* sp, no se identificó el género *Usnea* sp.

Tabla 14

Abundancia de líquenes en lomas de Amancaes

Roca	<i>Parmotrema</i> sp	<i>Ramalina</i> sp	<i>Usnea</i> sp
	A	A	A
R ₁	0	6	0
R ₂	0	13	0
R ₃	0	1	0
R ₄	6	14	0
R ₅	0	19	0

En cuanto al líquen del género *Parmotrema* sp, considerado como un buen indicador de la calidad del aire, presentó menor valor de abundancia, las causas podrían deberse a la existencia de una posible plaga, o a sus depredadores (Figura 25). Además, se observó que en las otras superficies de las rocas que se evaluaron, presentaron mayor abundancia del líquen *Parmotrema* sp por lo que se podría deducir que existe un nivel de contaminación atmosférica en las lomas de Amancaes ya que en dichas caras en dirección distinta al suroeste, el viento no atrae los contaminantes (Figura 26)

Figura 25

Depredadores de los líquenes.



Nota: En los círculos rojos se observa la presencia de caracoles.

Figura 26

Abundancia del género Parmotrema sp en otras áreas de las rocas.



Nota: En el rectángulo rojo se observa un área de la roca no evaluada, con mayor abundancia de líquenes del género *Parmotrema* sp.

3.3.4 Tamaño de líquenes

En la Tabla 15 se presenta los resultados del tamaño del talo de los individuos liquénicos identificados en cada roca (R1, R2, R3 y R4), en las lomas de Amancaes. En el género *Parmotrema* sp el tamaño más pequeño del talo fue (0.5 cm) y el talo de tamaño más grande de 3 cm, ambos en la roca número 4. Las rocas 1,2,3 y 5 no presentaron ningún individuo del género *Parmotrema* sp.

Tabla 15

Tamaño del talo liquénico en las lomas de Amancaes.

Lomas de Amancaes						
Roca	<i>Parmotrema</i> sp		<i>Ramalina</i> sp		<i>Usnea</i> sp	
	\bar{T}_t (cm)	N. I	\bar{T}_t (cm)	N. I	\bar{T}_t (cm)	N. I
R ₁	0	0	0.2	1	0	0
	0	0	0.3	1	0	0
	0	0	1	4	0	0
R ₂	0	0	0.1	3	0	0
	0	0	0.2	7	0	0
	0	0	0.3	1	0	0
	0	0	0.5	2	0	0
R ₃	0	0	0.3	1	0	0
R ₄	0.5	1	0.1	2	0	0
	1.5	2	0.2	1	0	0
	2	1	0.3	1	0	0
	2.5	1	0.5	6	0	0
	3	1	1	2	0	0

	0	0	1.5	2	0	0
	0	0	0.2	2	0	0
	0	0	0.3	4	0	0
R ₅	0	0	0.5	10	0	0
	0	0	1	2	0	0
	0	0	2	1	0	0

Nota: (T_t) tamaño de talo, (N.I) número de individuos.

Los talos pequeños nos demuestran que corresponden a líquenes en etapas relativamente juveniles. Lawrey & Hale (1979), nos indican que los líquenes de talo pequeño parecen exhibir mayor sensibilidad a las perturbaciones ambientales.

Los resultados del tamaño de talo de los líquenes evaluados en cada roca de las lomas de Lachay, se muestran en la Tabla 16.

De acuerdo a esta tabla, el tamaño mínimo y máximo de los talos fue respectivamente 0.1 cm y 5 cm, para el género *Parmotrema* sp. El género *Ramalina* sp presento un tamaño de talo mínimo de 0.3 cm y un talo máximo de 3 cm. En el liquen del género *Usnea* el tamaño mínimo del talo fue de 0.4 cm y el talo más grande fue 3 cm.

Tabla 16*Tamaño del talo liquénico en la loma de Lachay*

Reserva Loma de Lachay						
Roca	<i>Parmotrema</i> sp		<i>Ramalina</i> sp		<i>Usnea</i> sp	
	\bar{T}_t (cm)	N. I	\bar{T}_t (cm)	N. I	\bar{T}_t (cm)	N. I
R ₁	0.5	1	0.3	2	0.4	1
	0.7	2	0.4	2	1.3	1
	1	5	0.5	5	1.5	1
	1.3	1	0.8	2	0	0
	1.5	1	1	2	0	0
	2	3	0	0	0	0
	2.5	1	0	0	0	0
	3	2	0	0	0	0
R ₂	1.5	1	0.5	3	1.5	1
	2.5	1	0.6	1	3	1
	3	2	1	3	0	0
	4	1	1.5	2	0	0
	0	0	2	1	0	0
	0	0	2.3	1	0	0
	0	0	3	1	0	0
R ₃	0.1	1	0.5	4	1.8	1
	1	1	1	1	0	0
	1.5	1	1.5	1	0	0
R ₃	2	1	2	3	1.8	1

	2.5	2	2.5	1	0	0
	3	1	0	0	0	0
	3.5	2	0	0	0	0
	4	2	0	0	0	0
	4.5	1	0	0	0	0
	5	1	0	0	0	0
	0.5	3	0.5	1	0.2	1
R ₄	1	1	1	2	1	2
	1.3	1	0	0	0	0
	1.5	1	0	0	0	0
R ₅	3	1	0.5	1	1.7	1
	5	1	1	2	0	0

Nota: (T_t) tamaño, (N.I) número de individuos

3.3.5 Determinación de la calidad del aire

En la Tabla 17 se presenta intervalos del tamaño del talo, evaluados en el ecosistema de las lomas de Lachay (Zona control). Para determinar la calidad de aire solo se tomó a los individuos con un tamaño de talo mayor a 2 cm. En el género *Parmotrema* sp, la buena calidad de aire será representada por la presencia de 18 individuos a más y con tamaño de talo superior a los 2 cm. En el género *Ramalina* sp, la presencia de tres a más individuos con tamaño de talo mayor a 2cm representa una buena calidad del aire. En el género *Usnea* sp, individuos mayores a uno con un tamaño de talo superior a 2 cm serán considerados como bioindicadores de la buena calidad del aire.

Tabla 17*Numero de individuos en función del tamaño, loma de Lachay*

Reserva loma de Lachay			
Intervalo del tamaño del talo (cm)	N. I <i>Parmotrema</i> sp	N.I <i>Ramalina</i> sp	N.I <i>Usnea</i> sp
< 0.5	1	4	1
0.5 a <1	13	27	0
1 a < 1.5	6	3	3
1.5 a < 2	4	4	3
≥ 2	18	3	1

Nota: (N.I) número de individuos

Cerro y Rodríguez (2019) mediante una correlación lineal entre los líquenes y una estación de monitoreo evaluaron la eficiencia de los líquenes como bioindicadores, dando como resultados que el biotipo con mayor porcentaje de cobertura liquénica fue el folioso siendo este un bioindicador de buena calidad del aire por su frecuente presencia en zonas no contaminadas. Por lo tanto, según los resultados obtenidos en el presente estudio, se considera que la presencia de 18 a más individuos del género *Parmotrema* sp y con tamaño mayor a 2 cm como un estándar de la buena calidad del aire.

En la Tabla 18 se muestra la cantidad de individuos para cada intervalo del tamaño del talo, evaluados en las lomas de Amancaes. El género *Parmotrema* sp presentó 2 individuos con talo mayor a 2 cm. Una observación particular ocurrió en el género *Ramalina* sp, presentó más individuos con talos pequeños de tamaño menor igual a 1 cm; sin embargo, la cantidad de individuos con talos de mayor tamaño empezó a descender.

Tabla 18*Número de individuos en función del tamaño, lomas de Amancaes*

Lomas de Amancaes			
Intervalo del tamaño del talo (cm)	N.I <i>Parmotrema</i> sp	N.I <i>Ramalina</i> sp	N.I <i>Usnea</i> sp
< 0.5	0	24	0
0.5 a <1	1	26	0
1 a < 1.5	2	2	0
1.5 a < 2	1	1	0
≥ 2	2	0	0

Nota: (N.I) número de individuos

CONCLUSIONES

Los líquenes evaluados en la loma Lachay que presenten un tamaño mayor a 2cm representan un indicador de la buena calidad del aire. El tamaño y cantidad de los líquenes evaluados en las lomas de Amancaes estuvieron por debajo de la zona control, lo que representa una mala calidad del aire.

Los líquenes que se determinaron en la loma de Lachay para evaluar su abundancia y tamaño fueron los géneros *Parmotrema* sp, *Ramalina* sp y *Usnea* sp. En las lomas de Amancaes se identificó el género *Parmotrema* sp y *Ramalina* sp.

Ambos ecosistemas presentaron las mismas características del sustrato, similar factor climático, pero diferente calidad del aire. Se podría decir que lo que más influyó en la cantidad y tamaño de los líquenes fue el nivel de la calidad del aire. Las lomas de Lachay al estar alejada de la zona industrial, permite que los líquenes no presenten estrés ambiental y por ende es mejor el desarrollo de los líquenes.

El único líquen que no se registró en las lomas de Amancaes de las tres que se evaluaron en la loma de Lachay fue el género *Usnea* sp. La gran sensibilidad de los líquenes frente a gases tóxicos, tales como el SO₂, ha posibilitado utilizarlos como bioindicadores del grado de contaminación atmosférica. Las lomas de Amancaes al encontrarse en una zona industrializada presentan mayor concentración de contaminantes generando la ausencia de algunos géneros de líquenes. Del presente estudio y en base a los resultados, el género *Usnea* sp representa a un bioindicador de la calidad de aire ya que solo estuvo presente en el área de control (Reserva Loma de Lachay).

RECOMENDACIONES

El presente estudio se evaluó a los líquenes de morfología foliosa y fruticosa, sin embargo, se podría realizar un estudio en los líquenes de forma crustácea y conocer variación de sus tamaños en comparación de la loma de Lachay.

Se recomienda realizar un estudio del crecimiento del género *Usnea* sp, en las lomas de Amancaes, para poder evaluar otros factores que influyen en su desarrollo y de esa manera comprender mejor la ausencia de este género.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Barreno, E. y Ortega, S (2003). *Biología de los líquenes*. Consejería de medio ambiente. https://www.uv.es/barreno/Biologia_de_los_liquenes.pdf

Calderón, A. (2019). *Liquen Rocella gracillis Bory como bioindicador de la calidad del aire en el campo de Marte, Jesús María, Lima* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur].
<http://repositorio.untels.edu.pe/jspui/handle/123456789/122>

Carrero y Rodríguez. (2019). *Evaluación de la eficiencia de los líquenes como bioindicadores de la calidad de aire del kilómetro 3 al 4 de la Vía Villavicencio, Acacias* [Tesis de pregrado, Universidad Santo Tomas].
<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/19514/2019thaliarodriuez?sequence=1&isAllowed=y>

D.S N°011-2019-MINAM (2019, 6 diciembre). Ministerio del Ambiente
<https://www.gob.pe/institucion/minam/normas-legales/390606-011-2019->

Figueredo, C (2020). *Uso de líquenes foliosos como bioindicadores de la calidad de aire de Bogotá, DC* [Tesis de pregrado, Universidad De la Salle].
<https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1085&context=biologia>

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático y El colegio de la Frontera Sur. (2014). *Bioindicadores: Guardianes de nuestro futuro ambiental*. El colegio de la Frontera Sur.
<https://agua.org.mx/biblioteca/bioindicadores-guardianes-nuestro-ambiental/>

Instituto Nacional de Ecología. (sf). Manual 1: *Principios de medición de la calidad del aire*. Instituto Nacional de Ecología. sinaica.inecc.gob.mx

- Jaramillo, M y Botero, L (2018). Taxonomía, Ecología y Liquenogeografía del líquen *Heterodermia Leucomela* (L). Poelt, 1965. *The Biologist (Lima)*, 16(1).
<https://revistas.unfv.edu.pe/rtb/article/view/224>
- Lawrey, J., Hale.M., y Jr. (1979). Lichen Growth Responses to Stress Induced by Automobile Exhaust Pollution. *Science, New Series*, 204(4391), 423-424.
- Lijteroff. R, Lima. L y Prieri (2009). Uso de líquenes como bioindicadores de contaminación atmosférica en la ciudad de San Luis, Argentina. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 25(2).
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992009000200006
- Mares, I. (2017). *Líquenes como bioindicadores de la calidad del aire* [Tesis de fin de grado, Universidad Complutense Madrid].
<https://eprints.ucm.es/id/eprint/54779/>
- Montenegro y Cruz. (2010). *Calidad del aire de las principales áreas de la ciudad de Jaén empleando líquenes como bioindicadores, Cajamarca* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Jaén].
<http://m.repositorio.unj.edu.pe/handle/UNJ/210>
- Municipalidad Metropolitana de Lima. (sf). *Área de conservación regional lomas de Lima*. Municipalidad metropolitana de Lima
<https://www.munlima.gob.pe/images/descargas/gerencias/GMA/AREA-DE-CONSERVACION-REGIONAL-LOMAS-DE-LIMA.pdf>
- Municipalidad Metropolitana de Lima. (sf). *Gestión del agua y biodiversidad en la Reserva Nacional de Lachay*.
<https://www.minam.gob.pe/cambioclimatico/wpcontent/uploads/sites/11/2015/01/Gesti%C3%B3n-del-Agua-y-Biodiversidad-en-la-Reserva-Nacional-De-Lachay.docx.pdf>

Municipalidad Metropolitana de Lima. (2014). *Lomas de Lima: Futuros parques de la ciudad*. Walter H. Wust Ediciones SAC.

<https://catalogobiam.minam.gob.pe/cgibin/koha/opacdetail.pl?biblionumber=3422>

Quispe. K, Ñique. M y Chuquilin (2009). Líquenes como bioindicadores de la calidad del aire en la ciudad de Tingo María, Perú. *Investigación y Amazonia*, 3(2),99-104.

<https://revistas.unas.edu.pe/index.php/revia/article/viewFile/90/74>

Ramírez, A. (2019). *Clave para la determinación de géneros y familias de líquenes del Perú versión 2018-2019*.Asociacion proyectos ecológicos Perú.

<https://revistas.unal.edu.co/index.php/gestion/article/view/25387/25875>

Ramírez, A. (2019). Comunidades liquénicas como bioindicadores de calidad del aire. *Revista Gestión y Ambiente*, 13(1).

<https://revistas.unal.edu.co/index.php/gestion/article/view/25387/25875>

Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado. (2019). *Plan maestro de la Reserva Nacional de Lachay, periodo 2013-2018*.Diario oficial el Peruano.<https://sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-actualizacion-plan-maestro-reserva-nacional-lachay-periodo-2013>

ANEXOS

Anexo 1. Simbiosis entre una alga y hongo.



Nota: (A) alga, (B) hongo

Anexo 2. Trabajo de campo

