

UNIVERSIDAD RICARDO PALMA
ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN ECOLOGÍA Y GESTIÓN AMBIENTAL



Tesis para optar el Grado Académico de Maestra en Ecología y Gestión Ambiental

Efecto de actividades antropogénicas sobre la comunidad líquénica del distrito de
Matucana

Autor: Bach. Porras López, Graciela Marbetty

Asesor: Mg. Juan Carlos Ramos Gorbeña

LIMA- PERÚ

2019

Página del Jurado

Dra. Verónica Rubín de Celis

Presidente

Dr. Menandro Ortiz Pretel

Miembro

Mg. Abiu Padilla Lauriano

Miembro

Dedicatoria

El presente trabajo de investigación está dedicado para todo aquel estudiante que se interese en la utilidad de los líquenes como bioindicadores de calidad atmosférica de una localidad, su conservación y taxonomía.

AGRADECIMIENTOS

A mi asesor Doctor Jorge Tam, quién se ha tomado el tiempo de orientarme y corregirme, por estar atento a cada una de mis comunicaciones, por el tiempo que me brindo desde que fue mi profesor en la maestría y como asesor, sus conocimientos muy amplios en la Ecología me permitieron poder terminar la tesis con éxito.

A la Doctora Reina Zúñiga de Acleto, por ser una madre, orientarme en todo mi camino pre-profesional y profesional, por estar a mi lado en cada uno de mis logros, por iniciarme en la docencia universitaria, por sus sabios consejos para la vida diaria, ella es un gran soporte.

Al Doctor Cesar Acleto por sus consejos, motivación y ayuda en botánica.

A la Doctora Verónica Rubín de Celis por su paciencia y motivación .

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Página del Jurado	ii
AGRADECIMIENTOS	iv
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	2
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.1. Descripción del Problema	2
1.2. Formulación del problema	2
1.2.1. Problema general	2
1.2.2. Problemas específicos	2
1.3. Importancia y Justificación del estudio	3
1.4. Delimitación del Estudio	4
1.5. Objetivos de la Investigación	4
1.5.1. Objetivo General	4
1.5.2. Objetivos específicos	4
CAPÍTULO II	5
MARCO TEÓRICO	5
2.1. Marco Histórico	5
2.3. Estructura Teórica y científica que sustenta el estudio	11
2.3.1. Teoría de las actividades antropogénicas	11
2.3.2. Teoría sobre cobertura vegetal	13
2.3.3. Teoría sobre la riqueza específica	13
2.3.4. Teoría sobre la diversidad biológica	13
2.3.5. Importancia de la diversidad y la composición de especies en las comunidades	16
2.3.6. Teoría sobre la morfología de Líquenes	17
2.3.7. Teoría sobre iones en líquenes	19
2.3.8. Teoría sobre bioindicadores	21
2.4. Definición de términos básicos	21
2.5. Fundamentos teóricos que sustentan la hipótesis	23
2.6. Hipótesis o Supuestos teóricos	23

2.6.1.	Hipótesis general	23
2.6.2.	Hipótesis específicas	24
2.7.	Variables	24
2.7.1.	Variables independientes	24
2.7.2.	Variables dependientes.....	24
CAPITULO III.....		28
MARCO METODOLÓGICO.....		28
3.1.	Tipo, método y diseño de la investigación	28
3.2.	Población y muestra.....	28
3.3.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	28
3.3.1.	Escala espacial	28
3.2.2.	Escala temporal	29
3.3.	Descripción de procedimiento de análisis	29
3.3.2.	Fase de campo	31
3.3.3.	Fase de laboratorio	34
CAPÍTULO IV		36
RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS		36
4.1.	Resultados.....	36
4.1.1.	Condiciones meteorológicas	36
4.1.2.	Actividades antropogénicas	36
4.1.3.	Comunidad líquénica	42
4.1.4.	Variación latitudinal de las comunidades de líquenes	43
4.1.5.	Efecto de las actividades antropogénicas sobre las comunidades de líquenes en el Distrito de Matucana	47
4.1.6.	Efecto del pH de los forofitos sobre las comunidades líquénicas....	51
4.1.7.	Relación entre el IPA y las comunidades de líquenes en el Distrito de Matucana	54
4.2.	Análisis de resultados	58
4.2.1.	Condiciones meteorológicas	58
4.2.2.	Actividades antropogénicas	58
4.2.3.	Comunidad líquénica	58
4.2.4.	Variación latitudinal de las comunidades de líquenes	58
4.2.5.	Efecto de las actividades antropogénicas sobre las comunidades de líquenes en el Distrito de Matucana	59
4.2.6.	Efecto del pH de los forofitos sobre las comunidades líquénicas....	59

4.2.7. Relación entre el IPA y las comunidades de líquenes en el Distrito de Matucana.....	60
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	61
Conclusiones	61
Recomendaciones.....	61
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62
ANEXOS	68
Anexo 1. Declaración de Autenticidad	68
Anexo 2. Matriz de consistencia	69
Anexo 3. Registro fotográfico de líquenes.....	71

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1	Matriz de operacionalización de variables.....	26
Tabla 4.1	Índice de actividad antropogénica (IAA), en cada punto de muestreo de los anexos Maranchanca, Umazamba, Soca y Huillpa.....	41

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Corte transversal de un líquen (Fuente: elaboración propia).	6
Figura 2.2. Relación negativa entre un gradiente de estrés y las características de las especies	23
Figura 2.3. Relación entre variables	26
Figura 3.1. Área de estudio	29
Figura 3.2. Medición de pH en forofitos	31
Figura 3.2. Preparación de muestra para medir pH de la muestra.....	31
Figura 3.4. Gradilla de medición de líquenes.....	32
Figura 3.5. Colecta de líquenes en forofito	33
Figura 3.6. Retiro de líquenes y colocación en sobre de papel	33
Figura 3.7. Forofito en líquenes muestreados	34
Figura 4.1. Datos meteorológicos (temperaturas) de Matucana.....	36
Figura 4.2. Operación con vagones cisterna con contenido de sustancias tóxicas y combustibles, generando altos riesgos poniendo en peligro permanente a la población de Matucana	37
Figura 4.3. Instalaciones en plena construcción año 2010, a una cuadra de la plaza de Armas de Matucana, su funcionamiento generaría contaminación en la ciudad de Matucana	38
Figura 4.4. Instalaciones en plena construcción año 2010, a una cuadra de la plaza de Armas de Matucana, su funcionamiento generaría contaminación en la ciudad de Matucana	38
Figura 4.5. Instalaciones en plena construcción año 2010, a una cuadra de la plaza de Armas de Matucana, su funcionamiento generaría contaminación en la ciudad de Matucana	39
Figura 4.6. Este tipo de vagones cisternas con contenido de sustancias tóxicas y combustibles.	39
Figura 4.7. La presencia de largas colas de vagones genera material particulado además de, interfiera drásticamente en el auxilio de los policías a la población.....	40
Figura 4.8. Índice de actividad antropogénicas (IAA) en cada anexo	41
Figura 4.9. Variación latitudinal del IAA.....	42
Figura 4.10. Cobertura de las especies identificadas en el área de estudio	43

Figura 4.11. Variación latitudinal del pH.	44
Figura 4.12. Variación latitudinal de la cobertura.	44
Figura 4.13. Variación latitudinal de la riqueza.....	45
Figura 4.14. Variación latitudinal de la diversidad.....	45
Figura 4.15. Variación latitudinal del índice morfológico.....	46
Figura 4.16. Variación latitudinal del amonio	46
Figura 4.17. Variación latitudinal del IPA.....	47
Figura 4.18. Relación entre el IAA del área estudiada (4 anexos, 16 estaciones) y el pH de los forofitos de la especie <i>Eucalyptus camaldulensis</i> Dehn del área estudiada	48
Figura 4.19. Relación entre el IAA del área estudiada y la Cobertura liquénica del área estudiada	48
Figura 4.20. Relación entre el IAA del área estudiada y la Riqueza del área estudiada	49
Figura 4.21. Relación entre el IAA y la Diversidad	49
Figura 4.22. Relación entre el índice morfológico y el IAA del área estudiada y el Índice de morfología liquénica en el área estudiada.....	50
Figura 4.23. Relación entre el IAA del área estudiada y los niveles de concentración de amonio.....	50
Figura 4.24. Relación entre el IAA del área estudiada y el IPA del área estudiada	51
Figura 4.25. Relación entre el pH de los forofitos del área estudiada y la cobertura liquénica del área estudiada	52
Figura 4.26. Relación entre el pH de los forofitos del área estudiada y la riqueza del área estudiada	52
Figura 4.27. Relación entre el pH de los forofitos en el área estudiada y la diversidad del área estudiada.....	53
Figura 4.28. Relación entre el pH de los forofitos del área estudiada y el índice morfológico de los líquenes del área estudiada	53
Figura 4.29. Relación entre el pH de los forofitos del área estudiada y los niveles de concentración de amonio en el talo liquénico en el área estudiada	54
Figura 4.30. Relación entre el pH y el IPA.....	54
Figura 4.31. Relación entre el IPA y la Cobertura del área estudiada.....	55
Figura 4.32. Relación entre el IPA y la Riqueza del área estudiada.....	55
Figura 4.33. Relación del IPA del área estudiada y la diversidad del área estudiada.....	56

Figura 4.34. Relación entre el IPA y la morfología de los talos liquénicos en el área estudiada	56
Figura 4.35. Relación entre la concentración de IPA del área estudiada y concentraciones de Amonio en los talos de los líquenes epifitos del área estudiada	57
Figura 4.36. Rango óptimo de pH para diferentes especies de Matucana y Uruguay	60

RESUMEN

La contaminación atmosférica con sustancias tóxicas es una consecuencia indeseable de las actividades antropogénicas que se incrementó con la producción industrial. Los impactos negativos de ésta se manifiestan en diversos componentes tanto estructurales como funcionales de los ecosistemas. Los efectos dependen de los tipos de contaminantes, concentraciones y la permanencia en el ambiente.

En el Distrito de Matucana no se realizan monitoreos de calidad ambiental ni análisis de los diversos contaminantes del aire urbano, y en caso se realicen, serían a través de métodos fisicoquímicos que permiten conocer las concentraciones de contaminantes a consecuencia de las actividades antropogénicas, sin embargo, esta información no es suficiente para derivar conclusiones directas sobre los posibles efectos de estos contaminantes sobre los seres vivos.

Se recurre a la necesidad de incluir métodos de observación y medición con organismos expuestos a la contaminación atmosférica, tal es el caso de las comunidades líquénicas en el distrito de Matucana y sus anexos. Como alternativa de bajo costo, se presenta el uso de organismos sensibles a las actividades antropogénicas que afectan la calidad del aire en su hábitat, tal es el caso del uso de líquenes como bioindicadores.

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de actividades antropogénicas sobre las comunidades de líquenes en el distrito de Matucana. La fecha de muestreo se realizó durante el mes de Julio del año 2017 en los anexos : Umazamba, Socca, Huillpa y Maranchanca que pertenecen al distrito de Matucana .

Con la colecta de líquenes se logró identificar 10 especies que pueden servir como bioindicadores, siendo la más dominante *Parmelia* seguida de *Dictyonema e Imshaugia alerites*. La preferencia de desarrollo de líquenes se observó en las estaciones del anexo Huillpa (11° 86' S) donde se presentó el menor Índice de Actividad Antropogénica (IAA) y la mayor riqueza, cobertura y diversidad de especies de líquenes. La mayor perturbación se encontró en el anexo Matucana.

Se encontró un efecto negativo de la actividad antropogénica sobre la cobertura, riqueza, diversidad e índice morfológico de las comunidades líquénicas, lo cual confirmó las tres hipótesis planteadas.

También se encontró un efecto negativo del índice de actividad antropogénica sobre el pH y el Índice de Pureza Atmosférica, y una relación positiva sobre la concentración de amonio.

Palabras clave: Líquenes, antropogénico, bioindicadores, índice de pureza atmosférica, pH.

ABSTRACT

Air pollution with toxic substances is an undesirable consequence of anthropogenic activities that increased with industrial production. The negative impacts of this are manifested in various structural and functional components of ecosystems. The effects depend on the types of pollutants, concentrations and permanence in the environment.

In the District of Matucana neither environmental quality monitoring nor analysis of the diverse pollutants of the urban air are carried out, and in case they are carried out, they would be through physicochemical methods that allow to know the concentrations of pollutants as a consequence of the anthropogenic activities, nevertheless, this information is not sufficient to derive direct conclusions on the possible effects of these pollutants on the alive beings.

It is necessary to include methods of observation and measurement with organisms exposed to atmospheric pollution, as is the case of the lichenic communities in the district of Matucana and its annexes. As a low-cost alternative, the use of organisms sensitive to anthropogenic activities that affect the quality of the air in their habitat is presented, such is the case of the use of lichens as bioindicators.

The objective of this research is to evaluate the effect of anthropogenic activities on lichen communities in the district of Matucana. In this sense, lichens were sampled in the four annexes of the district of Matucana: Umazamba, Socca, Huillpa and Maranchanca, during the month of July 2017.

With the collection of lichens it was possible to identify 10 genera that can serve as bioindicators, being the most dominant *Parmelia* followed by *Dictyonema* and *Imshaugia alerites*. The lichen development preference was observed in the Huillpa Annex stations (11° 86' S) where the lowest Anthropogenic Activity Index (AAI) and the richest, most diverse and covered lichen species were presented. The greatest disturbance was found in the Matucana Annex.

A negative effect of anthropogenic activity was found on the coverage, richness, diversity and morphological index of the lichenic communities, which confirmed the three hypotheses raised.

A negative effect of the anthropogenic activity index on pH and Atmospheric Purity Index was also found, as well as a positive relationship on ammonium concentration.

Keywords: Lichens, anthropogenic, bioindicators, atmospheric purity index, pH.

INTRODUCCIÓN

Desde hace mucho tiempo las ciudades han estado sujetas a procesos de crecimiento poblacional, industrial y vehicular las cuales han tenido repercusiones ambientales, y el distrito de Matucana no es ajeno a estos cambios. Los espacios naturales en Matucana son de vital importancia, cumpliendo un rol importante ya sea como áreas sociales y recreacionales o por su valor ecológico, este último está dado por la función que realizan de absorber el dióxido de carbono y proporcionar oxígeno (esencial para la vida), así como de actuar como amortiguador de calor, de absorber contaminantes y de ser hábitat para diversos organismos.

Matucana es una de las pocas ciudades limeñas que todavía en nuestros días, conservan en su territorio, una buena porción de escenarios naturales que se pueden visitar. Matucana se encuentra en el distrito del mismo nombre, que se ubica en la provincia de Huarochirí, en el departamento de Lima. Esta ciudad forma parte de aquellas que se hallan en el Valle del Río Rímac, esta ciudad ofrece muchos beneficios ecológicos sin embargo son escasos los estudios que aborden los efectos de la contaminación atmosférica en los ecosistemas forestales peri-urbanos .

Los líquenes son pequeños ecosistemas extremadamente sensibles a estrés ambiental, (contaminación atmosférica, eutrofización y cambio climático) . Es así como estudios bien diseñados e implementados pueden ayudar a determinar la relación de la contaminación con algunos cambios en el hábitat, la condición o la viabilidad del liquen, y entregar información útil para la protección de los recursos en parques, bosques y refugios .

Los procesos naturales y sobretodo la diversidad liquénica se ve afectada por el impacto ambiental que es progresivo y afecta el equilibrio ecológico, es por ello que estos espacios naturales con alto índice de flora y fauna propia del lugar son útiles para evaluar las condiciones de sostenibilidad ambiental de Matucana.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción del Problema

Todo los organismos contribuyen en los proceso del ecosistema, su importancia relativa varía enormemente. La función de cada especie varia por lo que es muy difícil evaluar el papel de cada una por separado.

Uno de los aspectos que puede ser afectado por la pérdida de especies es la productividad (cantidad de biomasa producida por unidad de tiempo y área), especialmente cuando se llega a valores muy bajos de diversidad.

El principal problema científico es la incertidumbre de los efectos de las actividades antropogénicas sobre la comunidad liquénica, que es el tema central de la presente investigación.

1.2. Formulación del problema

El problema radica en que, para algunas provincias de Lima, como Huarochirí (Capital Matucana) es casi imposible la implementación de un sistema de monitoreo de grandes magnitudes, y no se cuenta con indicadores biológicos de impacto ambiental, es por esto que es de gran importancia el diseño de indicadores biológicos de fácil acceso y de bajo costo tanto de implantación como de operación.

1.2.1. Problema general

Se desconoce el efecto de actividades antropogénicas sobre la comunidad liquénica del Distrito de Matucana.

1.2.2. Problemas específicos

Existe una gran incertidumbre sobre el efecto de las actividades antropogénicas sobre la cobertura liquénica en los árboles del Distrito de Matucana.

No se ha investigado el efecto de las actividades antropogénicas sobre la riqueza y diversidad de la comunidad liquénica del Distrito de Matucana.

Se desconoce el efecto de las actividades antropogénicas sobre la morfología de las especies de la comunidad líquénica del Distrito de Matucana.

De lo anterior se establece como problema general y específicos las siguientes interrogantes:

¿Cómo se relaciona la cercanía a las actividades antropogénicas con la cobertura líquénica de los árboles del Distrito de Matucana?

¿Cómo se relaciona la cercanía a las actividades antropogénicas con la riqueza y diversidad de la comunidad líquénica del Distrito de Matucana?

¿Cómo se relaciona la cercanía a las actividades antropogénicas con la morfología de las especies de la comunidad líquénica del Distrito de Matucana?

1.3. Importancia y Justificación del estudio

Relevancia ambiental: existe una preocupación por la sostenibilidad del ambiente y del deterioro de los ecosistemas por fenómenos naturales, la influencia del hombre en los cambios antrópicos que este genera y sobre todo la falta de instrumentos de base biológica que sirvan como patrón para evaluaciones y diagnósticos de la calidad del ambiente en Matucana por ello se pretende emplear una metodología que intente reflejar la calidad ambiental mediante el uso de Líquenes como bioindicadores.

Relevancia científica: los análisis fisicoquímicos que se pueden efectuar permitirán implementar y usar una metodología que intente reflejar la calidad del ambiente mediante el uso de Líquenes, dado que nos conducen a obtener conclusiones sobre los efectos de las concentraciones que los contaminantes tienen sobre los seres vivos. Por tal motivo se plantea usar Líquenes como bioindicadores en el distrito de Matucana, para obtener mayor información sobre el impacto ambiental y el posible estado de la salud ecosistémica. Adicional a todo ello es importante identificar las especies de líquenes de Matucana nunca antes estudiada.

Relevancia social: finalmente, la investigación contribuirá con información útil para la toma de acciones de prevención y mitigación por parte de las autoridades ambientales del Distrito de Matucana, y para la realización de investigaciones con fines similares.

1.4. Delimitación del Estudio

El estudio se llevó a cabo en el Distrito de Matucana y sus cuatro anexos Umazamba, Maranchanca , Huillpa y Soca, fue muestreado en el mes de Junio de 2017.

1.5. Objetivos de la Investigación

1.5.1. Objetivo General

Evaluar el efecto de actividades antropogénicas sobre las comunidades de líquenes en el Distrito de Matucana.

1.5.2. Objetivos específicos

- a. Evaluar el efecto de la cercanía a las actividades antropogénicas sobre la cobertura líquénica en los árboles del Distrito de Matucana.
- b. Evaluar el efecto de la cercanía a las actividades antropogénicas sobre la riqueza y diversidad de las comunidades de líquenes en el Distrito de Matucana.
- c. Evaluar el efecto de la cercanía a las actividades antropogénicas sobre la morfología de las especies de las comunidades líquénicas del Distrito de Matucana.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Marco Histórico

Los líquenes son una asociación simbiótica entre un hongo (micobionte) y un alga verde y/o cianobacteria (algas azul-verde) (fotobionte). Existen alrededor de 14000 especies de líquenes en el mundo, diversos en tamaño, forma y color. Se los puede encontrar desde los polos hasta los trópicos, desde zonas a nivel del mar, hasta en los picos de las montañas, y sobre todo tipo de superficie o sustrato desde suelo, rocas, cortezas de árboles incluso hasta en las espaldas de insectos vivos (Barreno y Pérez, 2003; Brodo, 2001; Cubas *et al.*, 2010).

En la mayoría de los líquenes (líquenes heterómeros), el micobionte construye la mayor parte de los tejidos estructurales y forma una serie de capas bien definidas (córtez superior, médula y córtez inferior) constituidas por las hifas del hongo. Las células del alga verde, rodeadas por hifas, forman una capa (capa algal) por debajo del córtez superior. Por otro lado, en los líquenes en los que el fotobionte es una cianobacteria, la organización no es tan estructurada y el fotobionte está distribuido de forma más o menos homogénea (líquenes homómeros) (Cubas *et al.*, 2010).

Estructuralmente, las algas se pueden encontrar distribuidas al azar, en una matriz gelatinosa, a través del talo, o en una compacta capa bajo el córtez superior o inferior (Fig. 1), predominando solo en unos pocos casos, ya que es el hongo el que principalmente domina el talo adoptando forma de arbusto o barba (liquen fruticoso), de hoja (liquen folioso), de escamas (liquen escumuloso) o de costra (liquen crustoso) (Ainsworth & Bisby, 1971). Los mismos autores señalan que el hongo se reproduce sexualmente (generalmente por ascocarpos) y el alga lo hace asexualmente (ya sea por simple fragmentación, soledios o isidios). En cuanto a su ecología, Redon (1985), señala que los líquenes han desarrollado una gran plasticidad permitiéndoles ocupar variados sustratos, como rocas (líquenes saxícolas) o cortezas de árboles (líquenes epífitos cortícolas), en las más diversas zonas climáticas del planeta.

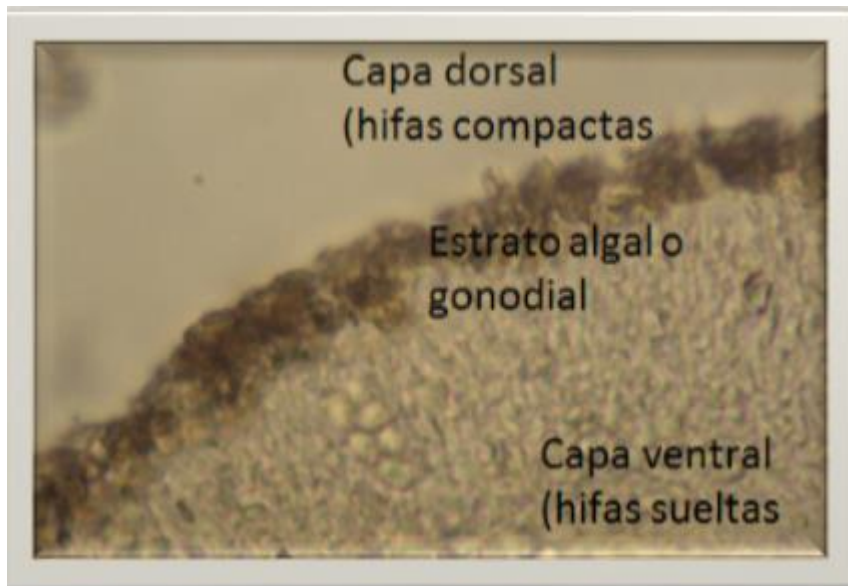


Figura 1. Corte transversal de un líquen, muestra las ascas y ascosporas, tomado de microscopio Leica 40X.

Son los líquenes los bioindicadores que están siendo utilizados con más éxito para el monitoreo de la contaminación ambiental. Desde 1960, que fue cuando se descubrió su susceptibilidad al dióxido de azufre, se han publicado más de 2000 trabajos relacionados a la contaminación atmosférica, siendo su éxito atribuido a las siguientes características:

- ✓ Al tiempo que son cosmopolitas como grupo taxonómico, hay muchas especies que se desarrollan en ambientes con características propias.
- ✓ Dado que carecen de raíz y de sistemas de conducción dependen prácticamente de la atmósfera y en menor medida del sustrato como fuente de agua y nutrientes.
- ✓ Son ubicuos.
- ✓ No poseen cutícula protectora y absorben contaminantes en casi toda su superficie.
- ✓ Al ser el resultado de una simbiosis, el impacto sobre uno de los componentes afecta al otro.
- ✓ Son de crecimiento lento y longevos.
- ✓ Son perennes.

2.2. Investigaciones relacionadas con el tema

Aristides *et al.* (2017) exploraron la posible incidencia de la expansión industrial en el sector de Siberia, sobre las precipitaciones en inmediaciones del resguardo indígena de Cota, esto mediante pruebas fisicoquímicas (pH, nitritos, sulfatos y conductividad) y por medio de bioindicadores como los líquenes presentes en la zona (*Cetrelia sp.*, *Flavopunctelia sp.*, *Usnea sp.*, *Hypotrachyna sp.*, *Xanthoparmelia sp.*, *Acarospora socialis sp.*, *Caloplaca chantolyta sp.*, *Caloplaca socialis sp.*, *Candelariella Xanthostigma sp.*), con los cuales se calculó el Índice de Diversidad Liquélica (LDV), índice de Shannon e Índice de Pureza Atmosférica (IPA). También se realizó un mapa de dispersión para la incidencia de la emisión atmosférica, con el cual se determinó que la Serranía El Majuy se podría presentar una concentración de contaminantes considerable pero se requiere de más datos para confirmar dicha afectación.

Estrada & Nájera (2016) indican que los líquenes son frecuentemente utilizados como biomonitores (bioindicadores y bioacumuladores) para evaluar la calidad atmosférica, debido a su longevidad y porque obtienen la mayor parte de sus nutrientes del aire, lo que los hace muy sensibles a las impurezas presentes en el medio. Ellos se emplean como biomonitores cuando se realiza un mapeo de todas las especies presentes en un área específica o se estudian a lo largo del tiempo para comparar los resultados con valores promedio y por bioacumulación cuando se hace un muestreo de las especies líquénicas y se miden, por medio de análisis químicos, los contaminantes acumulados en sus talos.

Ramírez *et al.* (2016) analizaron la diversidad y la composición de las comunidades de líquenes en dos fragmentos, uno perturbado y otro conservado, de bosque altoandino en la Reserva Biológica “Encenillo”, Colombia. Se muestrearon 32 árboles de encenillo (*Weinmannia tomentosa*), 16 en cada fragmento, colocando sobre cada árbol tres submuestras en tres alturas, para un total de 32 muestras (árboles) y 96 submuestras.

Quispe *et al.* (2015) señalaron que en las áreas urbanas la principal fuente de contaminantes es el parque automotor, pero para la ciudad de Tingo María (Huánuco, Perú) hay una escasez de información, por lo que el propósito de la investigación fue su evaluación mediante la presencia o ausencia de líquenes. En el jirón Huánuco y las avenidas Amazonas, Ucayali, Alameda Perú y Raimondi de Tingo María, se desarrolló 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. Esto permitió determinar un IPA para cada zona de monitoreo. Se establecieron niveles de contaminación atmosférica, sólo en Z1 el nivel de contaminación fue bajo o sin contaminación y para las otras zonas de monitoreo los niveles de contaminación fueron moderados. Por lo tanto, existen niveles de contaminación atmosférica en la zona urbana de Tingo María y tienen estrecha relación con las tasas de flujos vehiculares.

Figuerola *et al.* (2015) propusieron evaluar la calidad de aire usando los líquenes como bioindicadores en ocho zonas de la ciudad de Bogotá. Para esto, en un radio de 500m en cada zona, se monitoreó la presencia de líquenes en los árboles, determinando la riqueza y cobertura líquénica; se calculó el índice de Shannon y dos índices de pureza atmosférica, y se evaluó la correlación entre estos parámetros y las concentraciones de SOX, NOX, CO y material particulado (PM10) registradas por la Red de Monitoreo de Calidad de Aire de Bogotá

Simijaca *et al.* (2014) indicaron que líquenes y briófitos son organismos útiles en la determinación de la calidad del aire. En la ciudad de Tunja (departamento de Boyacá, Colombia), es evidente la escasez de zonas verdes por el aumento en las construcciones, lo que contribuye al detrimento de la pureza atmosférica y trae consigo el deterioro de la salud de la ciudadanía y la reducción de los hábitats y poblaciones de las plantas criptógamas. Mediante la determinación del Índice de Pureza Atmosférica (IPA) se identificaron las zonas con mayor influencia de contaminantes del aire. *Parmotrema austrosinense* corresponde a la especie más frecuente ; y la estación de la Normal Femenina, con IPA de 52,2196 es influenciada por los contaminantes atmosféricos; las estaciones de los Parques Santander y Semáforos son las más contaminadas (IPA 8,5333) con solo dos especies (*Heterodermia albicans* y *Lobariaceae sp.*)

Romero (2013) realizó un muestreo aleatorio de líquenes cortícolas en el que se evaluaron principalmente la frecuencia, la riqueza y la cobertura de los biotipos en cada árbol muestreado. Luego se calcularon índices de diversidad, equitatividad y pureza atmosférica basados en los trabajos de autores como Riquelme (2008) & Canseco *et al.* (2006).

Sanchez *et al.* . . (2013) emplearon la metodología magnética para determinar niveles relativos de contaminación en la zona más transitada de la ciudad, con respecto a

una zona de control, ubicada en las afueras de la ciudad. Se estudiaron las propiedades magnéticas de 15 muestras de líquenes de 9 especies, colectados en 13 puntos de muestreo. Se determinó la susceptibilidad magnética y se realizaron experimentos de adquisición de magnetización remanente isotérmica. A partir de ambos parámetros, se determinó una mayor concentración magnética en los sitios con mayor afectación por tráfico vehicular. Los valores más bajos corresponden a dos sitios de control ubicados fuera de la zona urbanizada. La especie de líquen no fue determinante en la evaluación del nivel relativo de contaminación.

Diaz (2006) indicó que en el Perú hay pocos estudios sobre la cobertura de líquenes y su relación con la contaminación del aire. Los análisis iniciales sobre líquenes que evaluaron la contaminación atmosférica. Uso de Líquenes como bioindicadores de presencia de metales pesados en áreas cercanas a empresas mineras de altura del Perú.

Weissman *et al.* (2006) han demostrado también que los parámetros antioxidantes de los líquenes pueden servir como una forma mejorada para utilizarlos como indicadores de respuesta rápida por estrés a la contaminación. También se han empleado métodos para determinar la acumulación de diversos metales pesados en líquenes, tales como el *Evernia prunastri* en Italia.

Hawksworth *et al.* (2005) señalaron que ya en el siglo XIX se reconoció el rol bioindicador de los líquenes pero no fue hasta 1960 que se descubrió que el dióxido de azufre era el principal factor que afectaba su crecimiento, distribución y salud. Fue este último hallazgo el que gatilló un gran aumento en la cantidad de trabajos que utilizaban a los líquenes como biomonitores, contándose actualmente con un gran número de investigaciones y libros, y una serie acerca de literatura liquénica publicada, denominada “The Lichenologist”.

Conti *et al.* (2004) comentaron que mundialmente el avance de la liquenología ha sido muy extenso en los últimos años. Presentaron un resumen sobre el estado del conocimiento de los líquenes como indicadores biológicos para estimar la contaminación del aire, e indican que en pocos años se han publicado alrededor de 2000 artículos sobre el análisis de los líquenes. Se cita como estrés ambiental a todos los componentes químicos que se vierten a la atmósfera por el resultado de la actividad humana y que causan daño a los organismos vivientes. Son muchos los parámetros morfológicos, metabólicos y fisiológicos de los líquenes que pueden ser usados para evaluar el daño ambiental en los líquenes, como el contenido y degradación de la clorofila, cambios en

los procesos fotosintéticos, la producción de etileno, las variaciones en los niveles de respiración, la conductividad eléctrica y los parámetros antioxidantes

Kricke, R., & Feige, G. B. (2004) indicaron que otra tendencia mundial en cuanto a las investigaciones liquenológicas es la identificación, el modelaje y el registro en mapas de los cambios de la comunidad de líquenes en áreas urbanas y rurales. Se han realizado estudios y modelos sobre la recolonización y el restablecimiento de líquenes en el valle del Ruhr en Alemania.

Stapper, N. J., & Franzen-Reuter, I. (2004) mediante patrones espaciales de abundancia y frecuencia de especies se registró la contaminación del aire mediante los líquenes como controladores biológicos en Renania del Norte-Westfalia, Alemania.

Blett *et al.* (2003) en Estados Unidos, el gobierno puso a disposición un documento llamado "Monitoreo de contaminación atmosférica relacionado con líquenes en Parques Nacionales, Bosques y Refugios: Guía para estudios dirigidos hacia propósitos regulatorios y de manejo". En él se resumen los estudios de biomonitoreo que se han realizado desde el año 1980 en 84 áreas silvestres. En el documento se incluye estudios de los efectos de la contaminación sobre la fisiología, las comunidades y la química de los tejidos de líquenes, exponiendo desde las ventajas y limitaciones de los métodos, hasta una guía desde el punto de vista regulatorio.

Fernández *et al.* (2003) han llevado a cabo en España varios estudios en el tema de Líquenes, mereciendo destacar el de "Biomonitorización de la calidad de aire en los alrededores de la Robla (León)" en el que mediante la bioindicación con los líquenes presentes en la corteza de individuos de *Quercus pyrenaica*, se pudo establecer el impacto de una central termoeléctrica y una fábrica de cementos sobre la calidad del ambiente circundante.

Monge-Nájera *et al.* (2002) en Costa Rica mencionan que hay pocos estudios sobre la cobertura de líquenes y su relación con la contaminación del aire. Los análisis iniciales sobre líquenes evaluaron la contaminación atmosférica en San José. Luego, mediante trasplantes de líquenes de zonas templadas a un hábitat tropical, se estudió y confirmó que la contaminación atmosférica en Costa Rica también afecta a otras especies foráneas de líquenes. Finalmente, se publicaron investigaciones que abarcaron un período de veinte años y hacen referencia al cambio en la masa de líquenes en San José y su relación con la contaminación del aire, representada mediante su cobertura en troncos de árboles, así

como un nuevo método para determinar dicha contaminación, utilizándolos como bioindicadores.

Garty *et al.* (2000) para determinar el impacto ambiental de la industria de combustión de fósiles en la bahía Haifa en Israel, estudiaron las alteraciones fisiológicas en trasplantes de líquenes de la especie *Ramalina lacera*, expuestos a altos grados de contaminación. Se encontró que la integridad fisiológica del líquen está determinada por la conductividad eléctrica, que se reduce al degradarse las membranas celulares del talo del líquen, por contaminación atmosférica.

2.3. Estructura Teórica y científica que sustenta el estudio

2.3.1. Teoría de las actividades antropogénicas

Las actividades antropogénicas causan cambios en el ambiente que en ocasiones son de gran importancia y que a la larga van en detrimento de los propios seres humanos, ya que acaban con los bienes y servicios que se obtienen de la naturaleza, afectando así a futuras generaciones que ya no podrán disfrutar de estos.

A) El ambiente: Como proveedor de alimentos, salud, energéticos y todo lo que construye depende de los materiales que el medio produce o produjo en épocas remotas, a través de los procesos biológicos, se ha documentado el uso de cientos de especies naturales con diferentes propósitos, ya sea para proporcionar alimentos, para la generación de medicinas, para obtención de combustibles, para elaborar artefactos, para obtener fibras y en términos generales para la satisfacción de una amplia gama de necesidades.

B) Impacto de la agricultura: La agricultura siempre ha supuesto un impacto ambiental fuerte. Hay que talar bosques para tener suelo apto para el cultivo, hacer embalses de agua para regar, canalizar ríos, etc. La agricultura moderna ha multiplicado los impactos negativos sobre el ambiente. La destrucción y salinización del suelo, la contaminación por plaguicidas y fertilizantes, la deforestación o la pérdida de biodiversidad genética, son problemas muy importantes.

C) Impacto de la industrialización: El impacto de la industrialización sobre el medio ambiente, se manifiesta con la demanda sin precedentes de recursos del medio ambiente, provocada por el rápido crecimiento de la población humana y el desarrollo tecnológico,

está produciendo un declive cada vez más acelerado en la calidad de éste y de su capacidad para sustentar la vida.

D) La población humana: La población actual está siendo mantenida a través del agotamiento de los recursos esenciales, como son la capa fértil de suelo, los mantos acuíferos y la biodiversidad, además la población muestra una distribución bastante inequitativa tanto en las tasas de crecimiento como en los niveles de consumo. Los habitantes pobres, con las tasas más altas de natalidad, tienen niveles de consumo de recursos y sobre todo de energía muy por debajo de los habitantes de los países ricos, lo que trae como consecuencia la explotación de medio ambiente en diferentes niveles, generando con ello que la capacidad de recarga de los recursos esté determinada por los niveles de consumo de la sociedad.

E) Impacto de la urbanización: A medida que crecen las ciudades alteran al medio ambiente. El crecimiento y desarrollo de las metrópolis no sólo transforma las zonas que urbaniza, sino también otras mucho mayores, tal y como puede observarse en los cambios que sufre el espacio geográfico rural para responder a las necesidades metropolitanas de agua y materias primas, bienes y servicios. Las regiones que las rodean deben satisfacer las exigencias de materiales de construcción, recibir la acumulación de residuos producto de la edificación, además de la transformación del paisaje por la construcción de carreteras, industrias y otros componentes de la estructura urbana.

F) El crecimiento económico: El crecimiento económico determina los diferentes niveles de degradación del medio ambiente. El modelo que han seguido tanto los países industrializados como los que están en vías de desarrollo (incluido nuestro país) se caracteriza en cuanto a su política de utilización de los recursos naturales, como un modelo en el que se maximiza la ganancia en el mínimo tiempo, sin contemplar el efecto que este uso tiene sobre los recursos. En los países industrializados los problemas cruciales giran alrededor de la contaminación industrial, radiactiva, por pesticidas y la lluvia ácida, mientras que los problemas de los países pobres o en vías de desarrollo, en lo que a su gestión ambiental se refiere, se relacionan con los problemas de la deforestación, falta de alimentos, erosión de suelos y pérdida de la biodiversidad.

2.3.2. Teoría sobre cobertura vegetal

La cobertura vegetal puede ser definida como la capa de vegetación natural que cubre la superficie terrestre, comprendiendo una amplia gama de biomasas con diferentes características fisonómicas y ambientales que van desde pastizales hasta las áreas cubiertas por bosques naturales. También se incluyen las coberturas vegetales inducidas que son el resultado de la acción humana como serían las áreas de cultivos.

2.3.3. Teoría sobre la riqueza específica

La riqueza específica es un concepto simple de interpretar que se relaciona con el número de especies presentes en la comunidad. Entonces, puede parecer que un índice apropiado para caracterizar la riqueza de especies de una comunidad sea el ‘número total de especies’ (S). Sin embargo, es prácticamente imposible enumerar todas las especies de la comunidad y, como S depende del tamaño de la muestra, es limitado como índice comparativo. Los índices propuestos para medir la riqueza de especies, de manera independiente al tamaño de la muestra, se basan en la relación entre S y el ‘número total de individuos observados’ o (n), que se incrementa con el tamaño de la muestra

Entre estos índices se destacan el índice de Margalef (1958),

$$R_1 = \frac{S - 1}{\ln(n)}$$

y el índice de Menhinick (1964),

$$R_2 = \frac{S}{\sqrt{n}}$$

2.3.4. Teoría sobre la diversidad biológica

Se refiere a la variabilidad de los individuos presentes en una comunidad. Puede describirse mediante el número de especies presentes y por la distribución de los individuos entre especies, o sea que este concepto integra la riqueza de especies y su abundancia relativa. Una comunidad es más diversa cuántas más especies tenga y cuánto más equitativamente estén repartidos los individuos entre las distintas especies. Aunque

la diversidad generalmente se expresa en términos de individuos, también suele calcularse en función de genets, módulos o biomasa. El uso de genets se acostumbra en el caso de organismos modulares, donde a partir de un solo individuo original se desarrollan varios por crecimiento vegetativo. En esos casos la abundancia relativa de una especie podría estimarse en base a los individuos genéticamente distintos (genets), o a la biomasa total (sin distinguir individuos, lo cual puede ser muy complicado).

En ocasiones, se utiliza el concepto de “especie ecológica” en lugar de la especie taxonómica, agrupando las especies que cumplen un rol ecológico similar. En los últimos tiempos se presta atención no sólo a la diversidad de especies, sino que se habla de biodiversidad, concepto que abarca la variedad de organismos terrestres y acuáticos, la variabilidad genética dentro de las especies y la variedad de comunidades y paisajes naturales.

Así como definimos comunidades a distintas escalas espaciales, también podemos considerar la diversidad a distintas escalas. Gauch & Whittaker (1972) realizaron una útil distinción entre:

Diversidad α : diversidad de especies en un hábitat o comunidad

Diversidad β : una medida de la tasa de recambio de especies a lo largo de un gradiente entre un hábitat y otro.

Diversidad γ : una medida de la tasa de recambio de especies en un rango de comunidades a escala geográfica.

Como ejemplo, consideremos una región donde hay bosques y pastizales (dos hábitats distintos para aves). Si nos movemos a lo largo de un gradiente norte sur, el ambiente cambia haciéndose más frío, lo cual genera cambios en la vegetación, que a su vez influyen sobre las aves. La diversidad α es la diversidad de especies para el bosque y para el pastizal. La diversidad β mide el cambio de especies cuando paso del bosque al pastizal (por ej. % de especies no comunes respecto al total) y la diversidad γ da una medida del recambio de especies a una escala regional (a lo largo del gradiente).

Medidas de la diversidad α

En la medida de la diversidad se tienen en cuenta dos componentes: **Riqueza**: número de especies presentes y la **Equidad**, que depende de la **Abundancia relativa**, o proporción del total de individuos que pertenece a cada especie. Una comunidad será más diversa cuantas más especies tenga, y más equitativa cuánto más semejantes sean los números de individuos de las distintas especies. Para un dado número de especies, cuanto más pareja sea la distribución de individuos entre ellas mayor será la equidad. La diversidad mínima se da cuando todos los individuos pertenecen a una sola especie, y la máxima cuando todas las especies tienen la misma abundancia relativa.

Índice de Shannon Wiener : Se basa en la teoría de la Información, refleja el grado de incertidumbre asociado al hecho de predecir la especie de un individuo tomado al azar de la comunidad. Tiene en cuenta el número de especies y la abundancia relativa de cada especie.

$$H = \sum_{i=1}^s (p_i) * (\log_2 p_i)$$

Algunos autores usan otras bases de logaritmos

s= número de especies

p_i = número de individuos de la especie i / número de individuos totales

H_{\max} : $\log S$

H_{\min} = 0 (todos los individuos pertenecen a la misma especie)

Equidad: H / H_{\max} Mide cuan equitativamente se reparten los individuos entre las especies, es 1 si todas las especies tienen el mismo número de individuos, es decir, $p_i = 1/S$

Índice de Simpson.

$D = 1 - \sum (p_i)^2$ (Krebs)

$D = 1/\sum (p_i)^2$ (Begon)

$$D_{\text{máx}} = 1 - 1/S$$

$$D_{\text{máx}} = S$$

$$D_{\text{mín}} = 0$$

$$D_{\text{mín}} = 1$$

2.3.5. Importancia de la diversidad y la composición de especies en las comunidades

Existen distintas hipótesis acerca de la relación entre diversidad y productividad: la visión clásica fue que la productividad aumentaba con el número de especies, debido a que la presencia de más especies implicaba una mayor capacidad de uso de distintos tipos de recursos. Una alternativa fue plantear que hay muchas especies redundantes, con funciones superpuestas, por lo que la diversidad no sería afectada a menos que se perdieran grupos funcionales enteros. De acuerdo a esta hipótesis, no se encontraría una relación entre la productividad y el número de especies.

Una tercera hipótesis considera que la productividad no cambiaría con la pérdida de especies hasta un valor mínimo umbral a partir del cual el funcionamiento del sistema decaería abruptamente. El aumento de productividad con el número de especies se produciría cuando las especies que se agregan implican el agregado de grupos funcionales, mientras que luego serían redundantes. Una hipótesis más reciente plantea que más que el número de especies importa cuáles especies están presentes o se pierden. La pérdida de especies muy abundantes y que son las que más contribuyen a la productividad afectará más que la pérdida de especies poco abundantes (Rusch & Oosterheld 1997).

La composición de especies de una comunidad particular tiene una influencia decisiva sobre el funcionamiento del sistema como un todo. Ya que no todas las especies son equivalentes, la desaparición de algunas va a tener un efecto mayor que la desaparición de otras. Las especies cuya desaparición causa grandes cambios en la composición de la comunidad (porque se alteran también las relaciones entre otras especies) son llamadas *especies clave*. Por ejemplo, un depredador que se alimenta de una especie dominante competitivamente permite que la comunidad sea diversa al contrarrestar el efecto de la exclusión competitiva. La desaparición del depredador causaría cambios a su vez en las abundancias relativas de las restantes especies. Otro grupo de especies es conocido como *ingenieros del ecosistema*, porque con su actividad modifican condiciones del medio y permiten su aprovechamiento (o no) por otras especies. Un ejemplo de este tipo de especies son los organismos cavadores, que

remueven el suelo permitiendo la aireación y la exposición de nutrientes, lo que a su vez influye sobre la comunidad vegetal.

Otros aspectos que pueden ser afectados por el número de especies presentes son la estabilidad y predictibilidad de los sistemas, así como su capacidad de absorber disturbios sin grandes cambios. No hay resultados concluyentes que permitan asegurar que las comunidades con más especies son más estables que otras menos diversas; por ejemplo, las comunidades del ártico tienen pocas especies pero son estables. Sin embargo, es probable que el empobrecimiento en especies de un sistema conduzca a una mayor inestabilidad, ya que la desaparición de algunas especies puede desencadenar un *efecto cascada*, es decir, la desaparición de otras especies que necesitan de ella para sobrevivir, o el aumento de algunas que se ven liberadas de la competencia o la depredación.

La diversidad de especies y, especialmente, de grupos funcionales, también determina la susceptibilidad de una comunidad a la invasión. Las comunidades más ricas en general son más resistentes a la invasión que las comunidades pobres, donde las especies invasoras probablemente sufren menor competencia al haber nichos vacantes. Un ejemplo de esta situación lo constituyen las comunidades de roedores en agroecosistemas: en Australia, donde las especies nativas son pocas y muy poco abundantes, la especie invasora *Mus domesticus* alcanza niveles de plaga en sistemas rurales, mientras que en Argentina, donde hay una comunidad establecida de especies silvestres, *Mus domesticus* es abundante sólo en las áreas urbanas o peridomiciliarias (León *et al.* 2013).

2.3.6. Teoría sobre la morfología de Líquenes

La morfología de los líquenes es muy variada, ya que existen muchos tipos y formas intermedias entre los mismos. Podemos dividir los talos en:

- Talo crustáceo: costras que están íntimamente unidas o adheridas al sustrato, del que son prácticamente imposibles de separar.
- Talo foliáceo o folioso: laminares, y la lámina puede estar lobulada o dividida. La unión al sustrato es por uno o varios puntos, pero nunca están íntimamente unidos al mismo. Se pueden separar sin romperse.

- Talos fruticulosos: formados por ejes que pueden tener sección circular o laminar. Pueden ser erectos o péndulos.
- Talo compuesto: formado por dos morfologías distintas: el talo primario, que puede ser crustáceo o con pequeñas láminas, y el talo secundario o erecto, que puede estar más o menos ramificado. Un ejemplo es el género *Cladonia*.
- Talo gelatinoso: con la humedad adquiere una consistencia blanda porque los gonidios del alga tienen gran masa.
- Talo sorediado o leproide: de tipo pulverulento.

En cuanto a la morfología interna, se dispone en distintas estructuras:

- Homómera: en talos con estructura gelatinosa. Las hifas del hongo y los gonidios se disponen de forma irregular.
- Heterómera: las hifas y el gonidio se distribuyen de forma ordenada formando capas: en primer lugar, el córtex superior, formado por una masa de hifas muy apretada. Después, una capa gonidial, formada por la mezcla de hifas y gonidios, que son más numerosos. La tercera capa es medular, en la que predominan las hifas. La cuarta capa es el córtex inferior, que consiste en una masa de hifas muy apretadas.
- Radiada: líquenes con morfología externa fruticulosa. Las capas se disponen en círculo y en el centro hay un estrato de hifas apretadas que forman una especie de cordón medular.

En cuanto a la estructura de las hifas, podemos diferenciar los siguientes elementos:

- Cilios o pelos: son los extremos libres de las hifas. Pueden venir del córtex o de la médula.
- Ricinas: órganos de fijación simples, a veces ramificados, típicos de los líquenes foliáceos. Son fascículos de hifas. Un ejemplo: *Peltigera canina*.

- Cifelas: depresiones redondeadas o alargadas que se presentan en la cara inferior de los líquenes foliáceos y fruticulosos. Siempre van revestidas del córtex, y sirven para el intercambio gaseoso.
- Pseudocifelas: se diferencian por no tener córtex. Generalmente están en la cara superior del líquen, y la función parece ser la misma que las cifelas, y también para la reproducción vegetativa.
- Isidios: son salientes de la superficie de los talos. Están revestidos de córtex y en su interior hay hifas y gonidios. Son de morfología variada: alargados, cónicos, ramificados. Su función también se relaciona con la reproducción vegetativa

2.3.7. Teoría sobre iones en líquenes

Las poblaciones de líquenes incorporan con facilidad cationes (iones con carga positiva) en sus talos (cuerpo fructífero). En consecuencia, las concentraciones y los tipos de cationes presentes en la atmósfera pueden determinarse por análisis químico de los talos. Además para verificar la calidad del aire puede utilizarse la presencia o ausencia de especies que son muy sensibles a los contaminantes. Un estudio realizado en 1985 en el valle de Cuyahoga en Ohio reveló que el 81 % de las 172 especies de líquenes presentes en 1917 habían desaparecido. Como esta zona está gravemente afectada por la contaminación del aire puede inferirse que los contaminantes del aire, sobre todo el dióxido de azufre (principal contribuyente a la precipitación ácida), causaron la muerte especies sensibles.

Las sustancias liquénicas quelan cationes y, por ello, los líquenes disponen de nutrientes minerales inaccesibles a otras plantas que absorben de los sustratos sobre los que residen, árboles, arbustos, rocas o suelo desnudo. Se ha comprobado que incorporan al talo Zn, Ni, Ca, Pb, Mn, Ag, Fe y Mo y Cu. En líquenes de sitios cercanos a explosiones nucleares aparecen elementos como D, Ra, Th, ⁹⁰Sr, ¹³⁷Cs, ⁵⁵Fe y ²¹⁰Pb. Sin embargo, las concentraciones elevadas de estos oligoelementos exceden a las cantidades necesarias para su función biológica y, en algunos casos, se han observado malformaciones o talos de tamaño anormalmente reducido, como consecuencia de la acumulación de algún micronutriente a nivel tóxico (Vicente, 1975).

No se explica cómo los líquenes han desarrollado la biosíntesis de unos compuestos que pueden ocasionar efectos secundarios tan perjudiciales, si no pensamos que la absorción excesiva de nutrientes va acompañada de alteración de rocas que, además de liberar cationes disponibles para otros organismos, es el primer paso en la meteorización del sustrato y formación de los suelos. El metabolismo del nitrógeno está adaptado para aprovechar al máximo las dosis bajas que van a encontrar los líquenes en alguno de los medios donde habitan. Pueden utilizar para ello tres rutas metabólicas: - La nitrato-reductasa les permite utilizar los nitratos del medio. - La ureasa les permite desdoblar urea en NH_4 y CO_2 . Así pueden emplear la urea almacenada como fuente de nitrógeno y el CO_2 formado en incrementar la fotosíntesis, aumentando la producción de hidratos de carbono y logrando rendimientos energéticos altos. Además, gracias a la ureasa, algunos líquenes colonizarán las rocas cubiertas con deyecciones de aves, ya que hidrolizan la urea de los excrementos. - La nitrogenasa de los líquenes diazotróficos permite otra vía de ingresos de nitrógeno, reducir hasta NH_4 el nitrógeno atmosférico. Por ello, los líquenes diazotróficos son colonizadores muy eficientes en medios sumamente pobres, a los que entregan el nitrógeno fijado cuando mueren y se descomponen y por el agua de lluvia que, al percatar a través de los talos, aumenta en seis veces el contenido de nitrógeno orgánico, como se ha comprobado en *Stereocaulon paschale*.

Aunque la función que desempeñan los líquenes fijadores de nitrógeno es importante en ambientes extremos, como en el caso de *Collema* y *Stereocaulon* colonizadores de anfíbolitas y mármoles de la Antártida (Green *et al.*, 1980), el de las costras líquénicas de los desiertos de Nuevo México que consolidan el suelo y proporcionan cantidades de nitrógeno significativamente mayores que las que aparecen en los suelos sin consolidar (Shields, 1957; Rychert *et al.*, 1978) o el de *Collema coccophortis* que es capaz de fijar en seis días el 3% del nitrógeno total de los desiertos australianos (Rogers *et al.* 1966), no conviene exagerar su papel en la economía de los ecosistemas, ya que se debe macizar con los índices de crecimiento muy bajos. Esperamos que investigaciones rigurosas nos permitan comprender mejor, en un tiempo relativamente corto, la función de los líquenes en la sucesión.

2.3.8. Teoría sobre bioindicadores

Un organismo se considera bioindicador cuando presenta alguna reacción que puede ser identificada frente a diferentes grados de alteración del medio, por ejemplo frente a la contaminación del aire. Muchas especies son incapaces de adaptarse ecológica o genéticamente a la condición ambiental alterada, de modo que su ausencia es, de hecho, un indicio del problema. Su comportamiento ante dichas condiciones difiere del natural en aspectos tales como hábito, fisiología, demografía y relaciones con otros organismos (García & Rubiano ,1984). Se conocen numerosos organismos que pueden ser utilizados como bioindicadores; se incluyen especies de plantas vasculares, briofitas, algas, líquenes, hongos, animales invertebrados y animales vertebrados. En el caso de la contaminación atmosférica, se consideran buenos bioindicadores aquellos organismos que presentan sensibilidad a los contaminantes aéreos, una amplia distribución en el territorio en estudio y una gran longevidad (Ariño *et al.* 1997).

2.4. Definición de términos básicos

Sobre variables independientes:

- ✓ Actividad antropogénica: La contaminación antropogénica es aquella producida por los humanos, algunas de las más importantes fuentes contaminantes son:
 - Carga tóxica. Según el tipo de industria se producen distintos tipos de residuos las más peligrosas son las que producen contaminantes más peligrosos, como metales tóxicos.
 - Desagües: asentamientos humanos (pueblos y ciudades). La actividad doméstica produce principalmente residuos orgánicos, pero el alcantarillado arrastra además todo tipo de sustancias: emisiones de los automóviles hidrocarburos, plomo, otros metales, etc.
 - Residuos sólidos: agricultura y ganadería (campos de cultivo). Los trabajos agrícolas producen vertidos de pesticidas, fertilizantes y restos orgánicos de animales y plantas que contaminan de una forma difusa pero muy notable las aguas, además, muchas de las cosechas son regadas con aguas negras, alimentando las plantas con nuestros propios desechos.

Sobre variables dependientes:

- ✓ Ascas: célula en forma de saco que contiene las ascósporas, en general, en número definido.
- ✓ Ascocarpos: Cuerpos fructíferos donde se producen las ascas.
- ✓ Cobertura: Es la expresión integral de la interacción entre los factores bióticos y abióticos sobre un espacio determinado, es decir es el resultado de la asociación espacio-temporal de elementos biológicos vegetales característicos, los cuales conforman unidades estructurales y funcionales.
- ✓ Diversidad: Riqueza y grado de distribución equitativa de las especies de una comunidad (taxocenosis)
- ✓ Hifas: cada uno de los filamentos que constituyen el aparato vegetativo de algunos hongos, que sirven para tomar los nutrientes del suelo.
- ✓ Heterómero: Estructura líquénica en la que se pueden diferenciar capas o estratos, opuesto a homómero.
- ✓ Iones: En física y química, un ión es un átomo o molécula que no tiene una carga eléctrica neutra. Se denomina catión un ión con carga positiva, y anión un ión con carga negativa. El proceso de ganar o perder electrones (respecto al átomo o molécula neutros) se llama ionización. Se suelen representar los cationes y los aniones con el símbolo del átomo correspondiente y el símbolo "+" o "-", respectivamente. Si el número de electrones ganado o perdido es mayor que uno, esto también se indica.
- ✓ Liquen: Se puede definir que un liquen es una asociación estable entre un micobionte (hongo) y un fotobionte (alga), que se mantiene por sí misma. Los líquenes se incluyen dentro del Reino de los Hongos, en este grupo de organismos se han descrito unas 20 000 especies. Por su aspecto externo podemos distinguir tres grupos: líquenes crustáceos; viven íntimamente unidos a la superficie de las rocas o de las cortezas, foliáceos; de forma aplanada y lobulada, se fijan al sustrato por medio de unos cordones especiales de hifas llamadas rizinas, fruticulosos; tienen forma de arbusto y se fijan al sustrato por una base muy estrecha.
- ✓ Riqueza: número de especies de una comunidad, taxocenosis o área.
- ✓ Diversidad biológica: Biodiversidad es la variabilidad de organismos vivos de cualquier origen, incluidos, entre otros, los ecosistemas terrestres, marinos y otros ecosistemas acuáticos, y los complejos ecológicos de los que forman

parte; comprende la diversidad dentro de cada especie, entre las especies y de los ecosistemas”

- ✓ Diversidad taxonómica : Es la idea más difundida de biodiversidad, al incluir la variedad de especies; pero también incluye la variedad a otras escalas taxonómicas: géneros, órdenes, clases, reinos.

2.5. Fundamentos teóricos que sustentan la hipótesis

Las hipótesis se sustentan en teorías que plantean una relación negativa entre las perturbaciones y las características de las especies (Fig. 2). En este caso, el estrés está representado por las perturbaciones antropogénicas presentes en Matucana y las características de las especies por los indicadores de la comunidad liquénica.

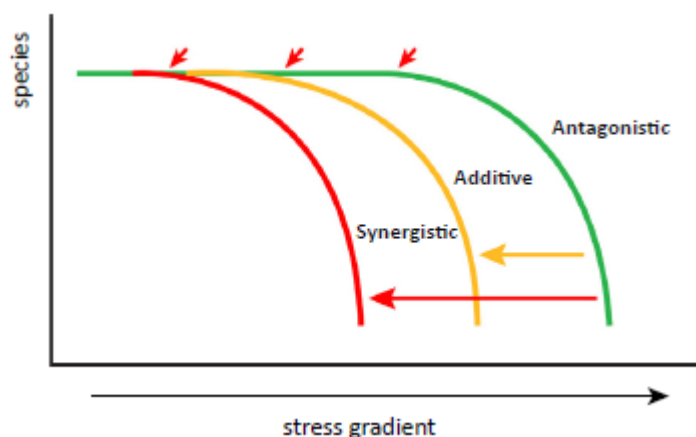


Figura 1. Relación negativa entre un gradiente de estrés y las características de las especies. Fuente: Modificado de Silliman y He (2018).

2.6. Hipótesis o Supuestos teóricos

2.6.1. Hipótesis general

Las actividades antropogénicas tienen efecto negativo sobre la comunidad liquénica en el Distrito de Matucana.

2.6.2. Hipótesis específicas

Las actividades antropogénicas tienen un efecto negativo sobre la cobertura liquénica en los árboles del Distrito de Matucana.

Las actividades antropogénicas tienen un efecto negativo sobre la riqueza y diversidad de la comunidad liquénica del Distrito de Matucana.

Las actividades antropogénicas tienen un efecto negativo sobre la morfología de las especies de la comunidad liquénica del Distrito de Matucana.

2.7. Variables

2.7.1. Variables independientes

X1: Actividades antropogénicas

INDICADORES

X11: Índice de actividad antropogénica (IAA) = $\sum (A1+A2+A3)/3$

Donde:

$$A_p = 6-6*(D - D_{min})/(D_{max} - D_{min})$$

P1: Distancia del punto a las vías del tren en Matucana.

P2: Distancia del punto a la esquina entre el Ferrocarril y carretera Matucana.

P3: Distancia del punto a la estación de trenes Matucana.

X12: pH del hospedero

2.7.2. Variables dependientes

Y1: Comunidad liquénica

INDICADORES

Y11: Cobertura liquénica en los árboles.

La cobertura, o área que ocuparon en la gradilla de muestreo.

Y12: Riqueza

La riqueza de especies de líquenes por cada árbol y por cada comunidad

Riqueza (S) = número de especies presentes

Y13: Diversidad

El Índice de diversidad de Shannon (Shannon 1948)

$$H' = -\sum_{i=1}^s (p_i) (\log_2 p_i)$$

Dónde:

S = número de especies (riqueza de especies)

P_i = proporción de individuos de la especie *i* respecto al total de individuos (es decir la abundancia relativa de la especie *i*), n_i/N

n_i = Número de individuos de la especie *i*

N = Número de todos los individuos de todas las especies

Y14: Índice morfológico (IM) = $\sum P / (C \cdot E) 100$

Donde:

P: Nro. caracteres presentes

C: Nro. caracteres total (7)

E: Nro. especies total (10)

Y15: Nivel de concentración de Iones Amonio en líquenes.

Y16: Índice de pureza atmosférica (Fernández-Salegui & Terrón, 2003)

$$IPA = \sum ft/n$$

Dónde:

ft: Frecuencia total de las especies presentes en todos los árboles de una estación determinada y se calcula como la suma de las frecuencias parciales obtenidas para cada especie en cada árbol

n: Número de árboles por estación.

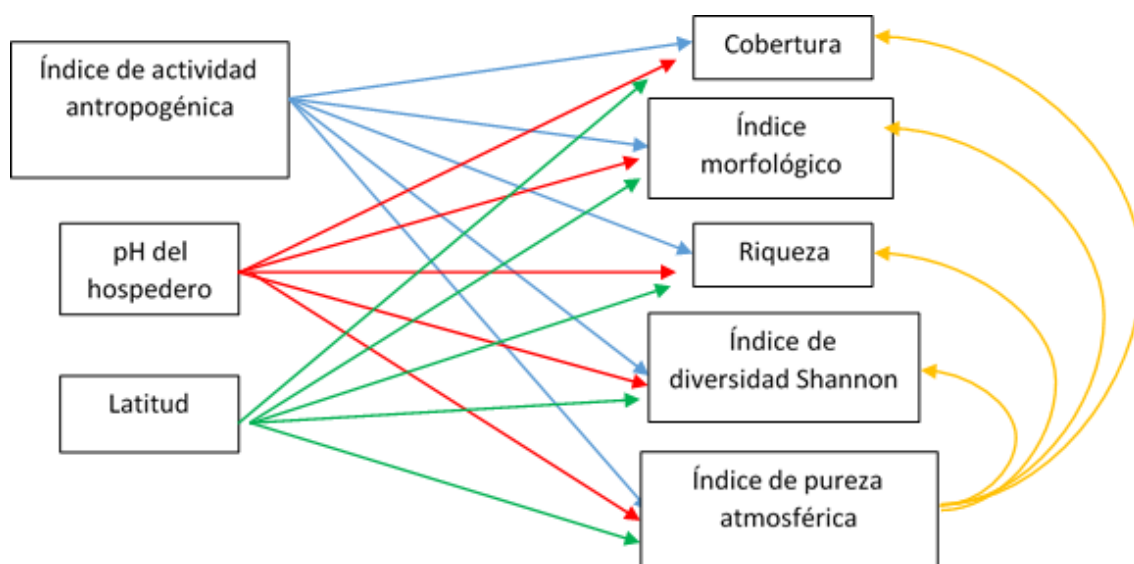


Figura 2. Relación entre variables.

La lista de variables se presenta en la Tab. 2.1.

Tabla 0.1. Matriz de operacionalización de variables.

Variables	Indicadores	Definición conceptual	Definición operacional
Variables independientes			
Actividades antropogénicas	Latitud	Posición geográfica	Grados de latitud sur
	Índice de actividad antropogénica	Cercanía a la fuente de perturbación antropogénica	En base a la distancia a los lugares de mayor perturbación antropogénica
	pH del hospedero(<i>Eucalyptus camaldulensis</i> Dehn)	Concetración de hidrogeniones	Medido con potenciómetro
Variables dependientes			
Comunidad líquénica	Cobertura líquénica en los árboles	Extensión espacial del crecimiento líquénico	Medido con rejilla
	Riqueza	Variedad de especies	Número de especies
	Diversidad	Diversidad de la composición específica	Índice de Shannon
	Índice morfológico	Características morfológicas indicadora de la salud líquénica	En base al número de caracteres morfológicos presentes
	Amonio	Nivel de concentración de Iones Amonio en líquenes.	NH ₄ ⁺ (mg.L ⁻¹)

	Indice de pureza atmosférica	Presencia de líquenes indicadora de calidad atmosférica	Frecuencia ponderada de líquenes
--	------------------------------	---	----------------------------------

CAPITULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo, método y diseño de la investigación

El estudio es de tipo descriptivo, correlacional y de corte transversal.

El diseño de la investigación será no experimental, debido a que no se manipulan las variables independientes (*e.g.* actividades antropogénicas), es decir, se trata de un estudio donde no hemos variado en forma intencional las variables estudiadas. Lo que hacemos en la investigación no experimental es observar fenómenos tal como se dan en su contexto natural, para posteriormente analizarlos (Hernández *et al.* 2010).

3.2. Población y muestra

La población son los líquenes del Distrito de Matucana.

La muestra consistió en líquenes presentes en los anexos Maranchanca, Umazamba, Soca y Huillpa, obtenidos en lo posible de 15 forofitos (árboles) de cada anexo.

3.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.3.1. Escala espacial

El distrito de Matucana es uno de los 32 distritos de la provincia de Huarochirí. Se extiende entre una angosta quebrada, enclavada como un espacio excepcional en la variada y agreste geografía andina, entre dos cerros: "Chilcasequia" y "Chihuampunco": segmentos de la Cordillera Occidental de los Andes (11° y 12° Latitud Sur, 76° y 77° Longitud Oeste) a una altitud de 2398 msnm (Fig. 4).

El distrito de Matucana es considerada una zona con emisiones o perturbaciones, mientras que los anexos Maranchanca, Umazamba, Soca, Huillpa pertenecen a la comunidad campesina Barrio bajo.

Se muestrearon 4 Anexos: Maranchanca, Umazamba, Soca y Huillpa, con 4 estaciones en cada una, de las cuales se identificaron las actividades antropogénicas sólo en la Ciudad de Matucana.

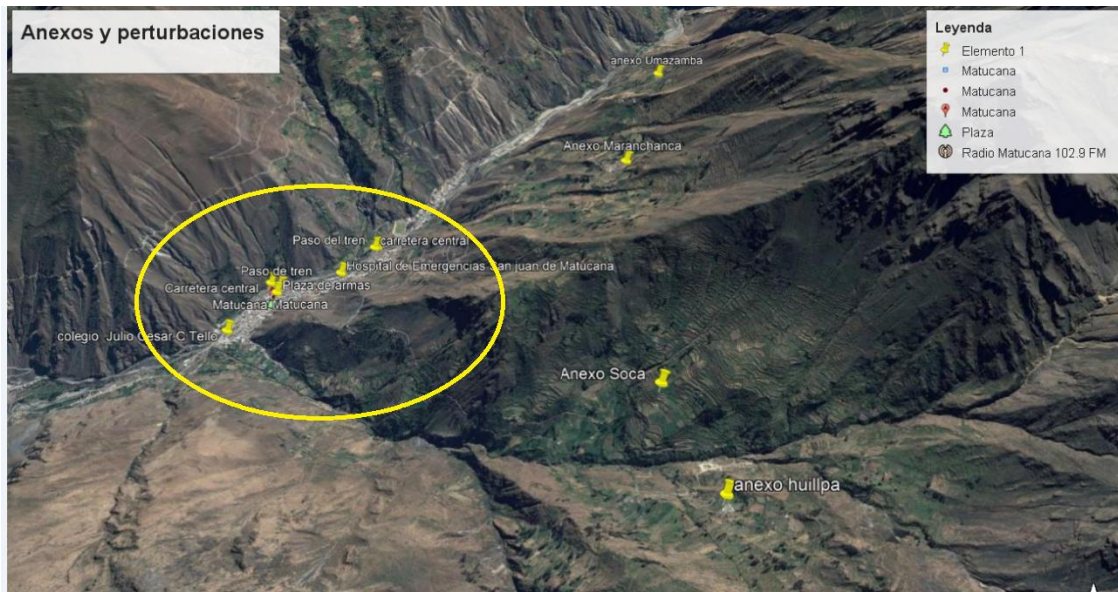


Figura 4. Área de estudio. Fuente: Google earth versión 7.3.2.5491; 23/7/2018.

El Biomonitorio de la contaminación atmosférica en el distrito de Matucana se realizó mediante cartografía de líquenes y el cálculo del Índice IPA, según la metodología utilizada por Canseco *et al.* (2006) en el estudio de bioindicadores realizado en la ciudad de La Paz, Bolivia.

3.2.2. Escala temporal

La información recoge los resultados de los muestreos realizados mes de Junio 2017 en el Distrito de Matucana y sus 4 Anexos: Maranchanca, Umazamba, Socca y Huillpa.

3.3. Descripción de procedimiento de análisis

Material de Campo

- ✓ Termómetro/Higrómetro con cable para uso interior y exterior. Muestra la temperatura exterior e interior y la humedad relativa.
- ✓ GPS Garmin 78s
- ✓ Sobres de papel periódico

- ✓ Navaja, cuchillo y espátula
- ✓ Martillo pequeño
- ✓ Cámara Fotográfica Digital Canon G1X 14 MP FHD
- ✓ Libreta de campo
- ✓ Gradilla de 20x50 cm
- ✓ Etiquetas y rotulador
- ✓ Wincha
- ✓ Lupa

Material de Laboratorio

- ✓ Microscopio Stereoscopio (20-50x) marca Leica EZ6
- ✓ Microscopio Óptico marca Olympus (400-100x)
- ✓ Reactivos para los Tests de coloración:
 - Hidróxido de potasio al 10% (Test K),
 - Hipoclorito de sodio al 40% (Test C)
- ✓ Potenciómetro Vernier (Figs. 3 y 4).
- ✓ Sensor determinación de Amonio.

Para la recolección de datos en los 4 anexos de Matucana se realizaron una fase de campo y posterior una fase de laboratorio.



Figura 5. Medición de pH de la corteza de forofitos *Eucalyptus camaldulensis* Dehn.



Figura 6 . Preparación de muestra para medir pH de la muestra.

3.3.2. Fase de campo

- ✓ Se estableció 4 estaciones de muestreo en cada uno de los anexos (Maranchanca, Umazamba, Soca, Huillpa) cubriendo en cada una las 0.1 hectáreas recomendadas para estudios botánicos (Cerón, 2005).
- ✓ La ubicación de las estaciones de muestreo estuvo condicionada a las características de los forófitos, de tal manera que se aplicaron los siguientes criterios para la elección de los mismos:

Adultos sanos, con un mínimo de 50 cm de perímetro.

Se excluyen árboles inclinados, dañados, pintados y de corteza lisa.

- ✓ Las estaciones de muestreo cumplieron a su vez los siguientes criterios:

Presencia de forófitos seleccionados portadores de líquenes.

Quince árboles de la especie *Eucalyptus camaldulensis* Dehn

- ✓ En aquellos lugares en el que el número de árboles fue menor a quince, se usó regla de tres simple para los diferentes cálculos
- ✓ Para la cartografía de líquenes se utilizará una rejilla de 0.1 m² (20cm x 50cm) en cada árbol. La rejilla está dividida en 144 cuadrantes de 10 cm², la cual se colocará verticalmente sobre el tronco del árbol donde se observe la mayor densidad liquénica a 1.20 m sobre el suelo. Se debe evitar colocar la rejilla sobre partes dañadas o sin corteza, y sobre nudos (Fig. 5 y 6).
- ✓ Para evitar que la radiación solar, temperatura, humedad y viento (factores considerados que alteran las comunidades liquénicas desvíen los resultados de calidad de aire, y para dar una mejor confiabilidad a los resultados, los muestreos se realizaran durante la época lluviosa y se continuò muestreando siempre el lado del tronco con mayor presencia liquénica.



Figura 7. Gradilla de medición de líquenes.

- ✓ Los parámetros medidos en cada forófito y registrados en la Libreta de Campo fueron:
 - Frecuencia (número de cuadrados en los que se encuentra una especie en estudio);
 - Cobertura (porcentaje de dicha especie en la superficie cubierta);
 - Presencia de la especie en los 15 árboles estudiados.



Figura 8. Retiro de Líquenes de la corteza de los forofitos como Método de colecta.



Figura 9 . Conteo de líquenes con como Método de colecta.

- ✓ En cada estación para su posterior estudio taxonómico. Dichas muestras fueron retiradas del sustrato (corteza) con ayuda de cuchillo (Fig. 7), y posteriormente colocadas en sobres de papel con la identificación correspondiente (Fig. 8), después se realizará la toma de datos ecológicos (libreta de campo). Adicionalmente, se fotografió las especies y área de estudio (Fig. 9), también se realizaron mediciones de temperatura y humedad relativa y coordenadas geográficas de las estaciones de muestreo.



Figura 10. Forofito en líquenes muestreados.

3.3.3. Fase de laboratorio

- ✓ La fase de laboratorio implicó identificar las especies de líquenes y caracterizarlos en las zonas de muestreo, lo cual se llevó a cabo en el laboratorio de botánica de la Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Ricardo Palma.
- ✓ Análisis morfológico y anatómico. Cortes histológicos a mano alzada a cada ejemplar para analizar su morfología con un microscopio estereoscópico marca Leica (20-50x) y un microscopio óptico Leica (400-100x) con el objeto de identificar estructuras de importancia taxonómica como talo, soredios superficie superior, superficie inferior, médula, apotecios y ascócarpos.
- ✓ Análisis químico. Para la determinación de las sustancias líquénicas presentes en el córtex y médula se aplicó el Test de coloración mediante el uso de Hidróxido de potasio al 10% (Test K), hipoclorito de sodio al 40% (Test C) o la aplicación de C inmediatamente después la aplicación de K (Test KC).
- ✓ Para la determinación del pH de la corteza de los árboles hospederos se usó un potenciómetro con Sensor de determinación de pH Marca vernier, éste como posible determinante de la presencia de líquenes en la superficie de los árboles (Fig. 5).

- ✓ Se usó para la determinación de Amonio en los talos de los líquenes, sensores Marca Vernier con el propósito de determinar la presencia de estos iones en las estructuras de los líquenes.
- ✓ Para la identificación y distribución de los ejemplares se utilizó la siguiente bibliografía especializada: Ahti (2000); Bungartz *et al.* (2010); Coca *et al* (2012); Dal-Forno, M (2009); Lücking & Rivas Plata (2008); Vitikainen (1998).

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. Resultados

4.1.1. Condiciones meteorológicas

Los datos meteorológicos de Matucana durante los últimos años no variaron, los promedios meteorológicos anuales se presentan en la Fig 11.

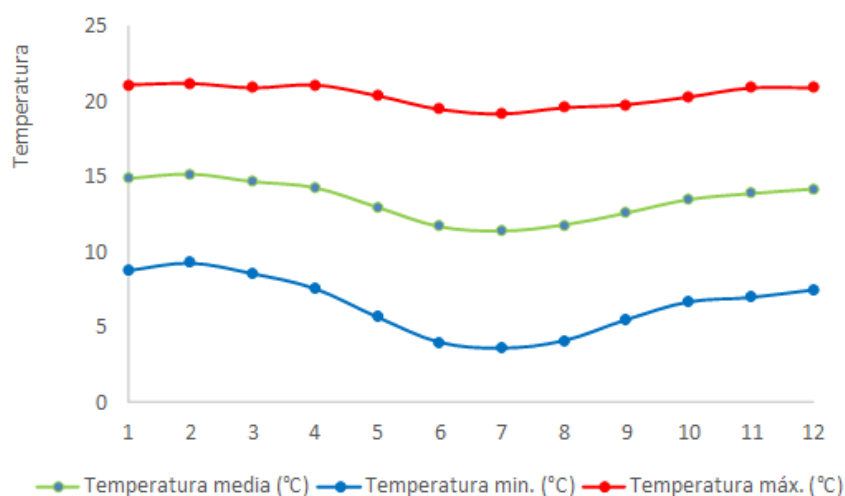


Figura 11. Datos meteorológicos (temperaturas) de Matucana. Fuente: Climate.org.

4.1.2. Actividades antropogénicas

A unos cuantos metros de la plaza Independencia, la principal de Matucana, Ferrovías Central Andina S.A. empresa que administra y opera los ferrocarriles del centro del Perú, se construyó un complejo de patio de operaciones y servicio de mantenimiento de maquinaria pesada.

No se tenía información sobre el impacto ambiental negativo que causaría la presencia de una planta de este tipo, ya que su funcionamiento involucra la emisión a la intemperie de gases tóxicos productos del funcionamiento permanente de locomotoras, pero gracias a la siguiente investigación se pudo determinar el grado de perturbación dentro de la zona del distrito de Matucana.

La presencia de trenes con vagones cargados de mineral concentrado granulado y en polvo, que esperarían su clasificación para transportarse a su destino final, causan efectos

en las comunidades liquénicas. La presencia de vagones estacionados en espera con contenido líquido como ácido sulfúrico, hidróxidos concentrados, combustibles y gas licuado, producirían riesgos permanente y latente peligro sobre las personas que viven en Matucana y por consiguiente a sus bienes inmuebles además de las comunidades liquénicas (Figs.12 a 17).



Figura12 . Operación con vagones cisterna con contenido de sustancias tóxicas y combustibles, generando altos riesgos poniendo en peligro permanente a la población de Matucana. Fuente: Red Rimac Noticias (2010).



Figura 13. Instalaciones en plena construcción año 2010, a una cuadra de la plaza de Armas de Matucana, su funcionamiento generaría contaminación en la ciudad de Matucana. Fuente: Red Rimac Noticias (2010).

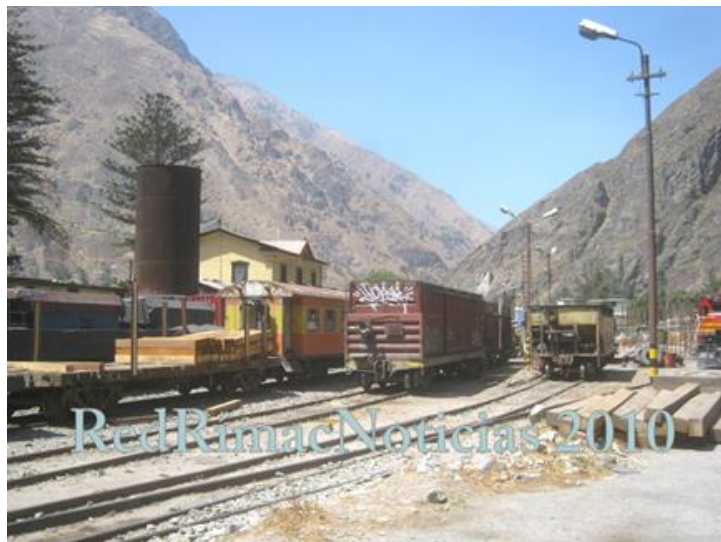


Figura 14. Instalaciones en plena construcción año 2010, a una cuadra de la plaza de Armas de Matucana, su funcionamiento generaría contaminación en la ciudad de Matucana. Fuente: Red Rimac Noticias (2010).



Figura 15. Instalaciones en plena construcción año 2010, a una cuadra de la plaza de Armas de Matucana, su funcionamiento generaría contaminación en la ciudad de Matucana. Fuente: Red Rimac Noticias (2010).

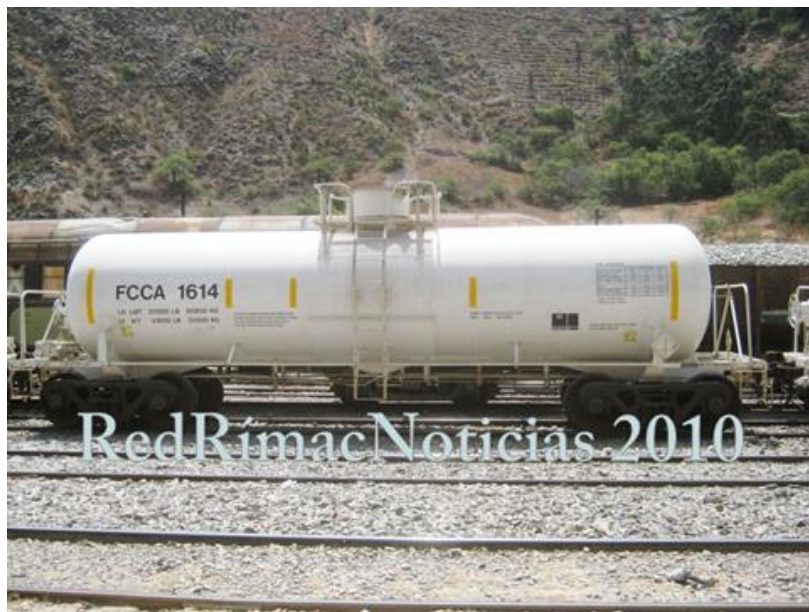


Figura 16. Este tipo de vagones cisternas con contenido de sustancias tóxicas y combustibles. Fuente: Red Rimac Noticias (2010).



Figura 17. La presencia de largas colas de vagones genera material particulado además de, interfiera drásticamente en el auxilio de los policías a la población. Fuente: Red Rimac Noticias (2010).

Las actividades antropogénicas que generan perturbaciones de mayor magnitud fueron:

- ✓ Tren pasando por Matucana (todo ese trayecto que abarca Matucana).
- ✓ Esquina entre el Ferrocarril y carretera Matucana.
- ✓ Estación de trenes Matucana.

El índice de actividad antropogénica (IAA) mide la magnitud de las perturbaciones obtenida en relación a la distancia de cada anexo muestreado, de modo que a mayor distancia la magnitud de la perturbación es menor (Tab. 2).

Así tenemos que el anexo con menor perturbación fue el de Huillpa con un IAA de 0.31, Umazamba con IAA de 0.71, Soca con IAA de 2.98 y el anexo con mayor perturbación fue Maranchanca con un IAA de 3.75, que fue el más cercano a los puntos de perturbación antropogénica en Matucana.

Tabla 0.2

Índice de actividad antropogénica (IAA), en cada punto de muestreo de los anexos Maranchanca, Umazamba, Soca y Huillpa

Anexo	Actividad Antropogénica	Distancia (m)	IAA
Maranchanca	Tren pasando por Matucana	3010.47	3.75
	Esquina entre el Ferrocarril y carretera Matucana	3033.79	
	Estacion de trenes Matucana	2825.63	
Umazamba	Tren pasando por Matucana	3820.59	0.71
	Esquina entre el Ferrocarril y carretera Matucana	3766.11	
	Estacion de trenes Matucana	3958.10	
Soca	Tren pasando por Matucana	3222.17	2.98
	Esquina entre el Ferrocarril y carretera Matucana	3186.46	
	Estacion de trenes Matucana	3137.76	
Huillpa	Tren pasando por Matucana	4003.01	0.31
	Esquina entre el Ferrocarril y carretera Matucana	3978.7	
	Estacion de trenes Matucana	3912.81	

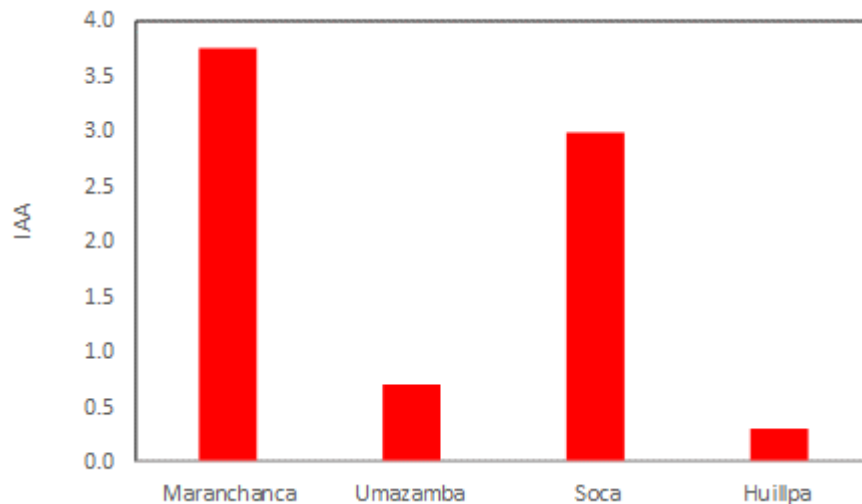


Figura 18. Índice de actividad antropogénicas (IAA) en cada anexo.

Con respecto a la variación latitudinal, en la latitud 11.84 °S se encontró la mayor perturbación (IAA = 4), la cual corresponde al anexo Maranchanca, que se encontró más cerca de las fuentes de actividad antropogénica (Fig. 19).

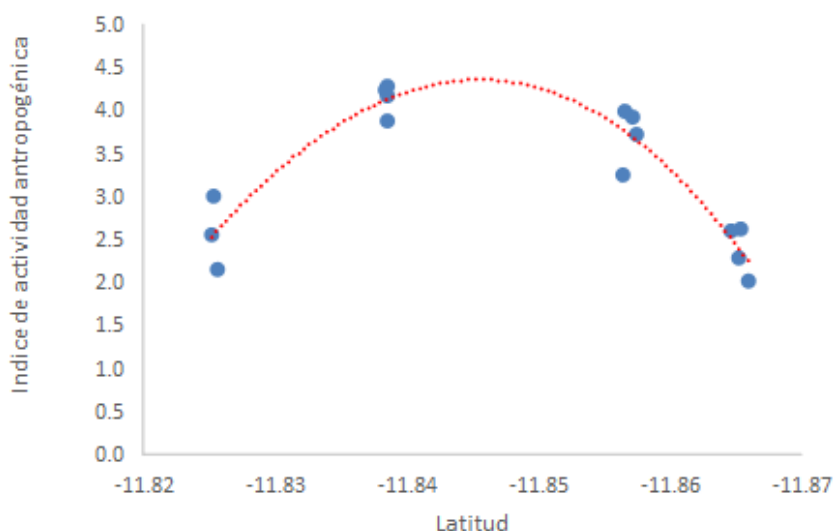


Figura 19. Variación latitudinal del IAA.

4.1.3. Comunidad líquénica

Se encontraron 10 especies de líquenes, siendo *Parmelia squarrosa* la que presentó mayor cobertura (Fig. 20).

Las especies muestreadas fueron: *Parmelia squarrosa*, *Dyctionema glabrata*, *Imshaugia aleurites*, *Sticta fuliginosa*, *Hypogymnia heretophylla*, *Heterodermia hypoleuca*, *Telochistes*, *Phaeophyscia hispidula*, *Everniopsis trulla*, *Peltigera canina*, de los cuales *Parmelia squarrosa* estuvo presente en todas las estaciones y forofitos muestreadas.

Parmelia squarrosa, *Dyctionema glabrata*, *Imshaugia aleurites*, *Sticta fuliginosa*, *Phaeophyscia hispidula*, *Peltigera canina* presentaron un talo foliáceo, mientras que *Hypogymnia heretophylla*, *Heterodermia hypoleuca* presentaron un talo escuamuloso, y *Telochistes* y *Everniopsis trulla* un talo fruticuloso.

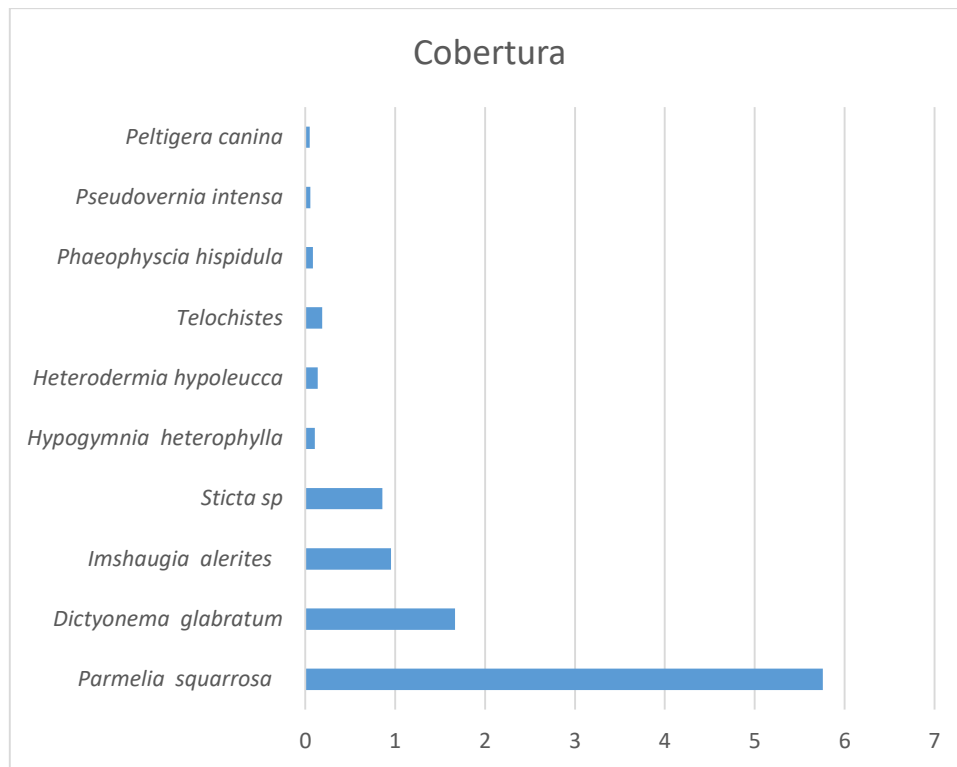


Figura 20. Cobertura de las especies identificadas en el área de estudio.

4.1.4. Variación latitudinal de las comunidades de líquenes

En vista de que los anexos presentaron un rango latitudinal (2.5 'S) mayor al rango longitudinal (0.4 'O), se analizó la variación latitudinal de las variables de estudio.

Los forofitos muestreados con mayor pH (de 5.5 a 6.5) se encontraron en la latitud 11.86 °S (Fig. 21).

La mayor cobertura se encontró en la latitud 11.86 °S (Fig. 22), la mayor riqueza se encontró en el intervalo entre 11.86 °S y 11.87 °S (Fig. 23), y la mayor diversidad se encontró en el intervalo entre 11.86 °S y 11.87 °S (Fig. 24).

Los mayores cambios en el índice morfológico se encontraron en la latitud 11.84 °S (Fig. 25).

Las mayores concentraciones de amonio en los líquenes de 2.00, 2.20 y 2.25 mg.L⁻¹, se encontraron en las latitudes 11.85°S, 11.83 °S y 11.82 °S, respectivamente (Fig. 26).

El anexo con mayor IPA fue el de Huillpa, el cual está en latitud 11.86 °S (Fig. 27).

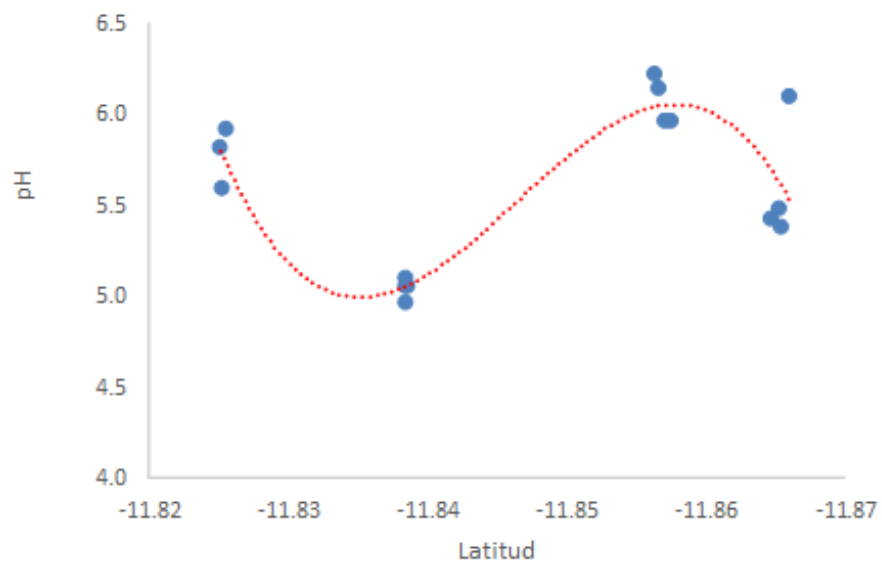


Figura 21. Variación latitudinal del pH.

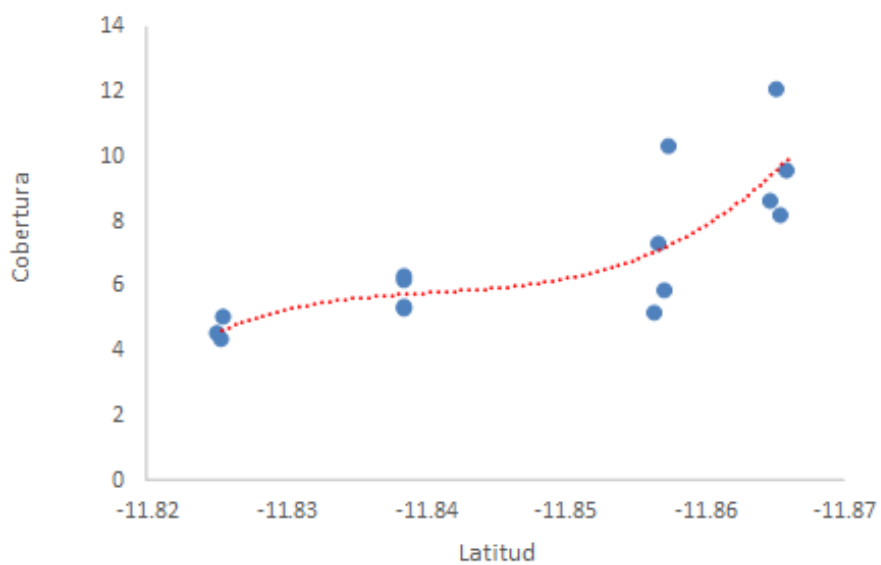


Figura 22. Variación latitudinal de la cobertura.

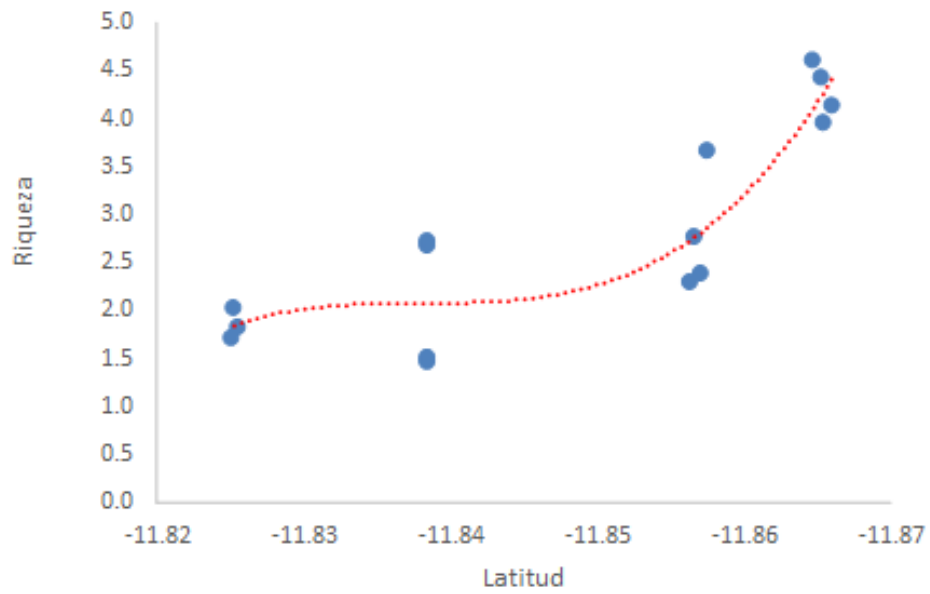


Figura 23 . Variación latitudinal de la riqueza.

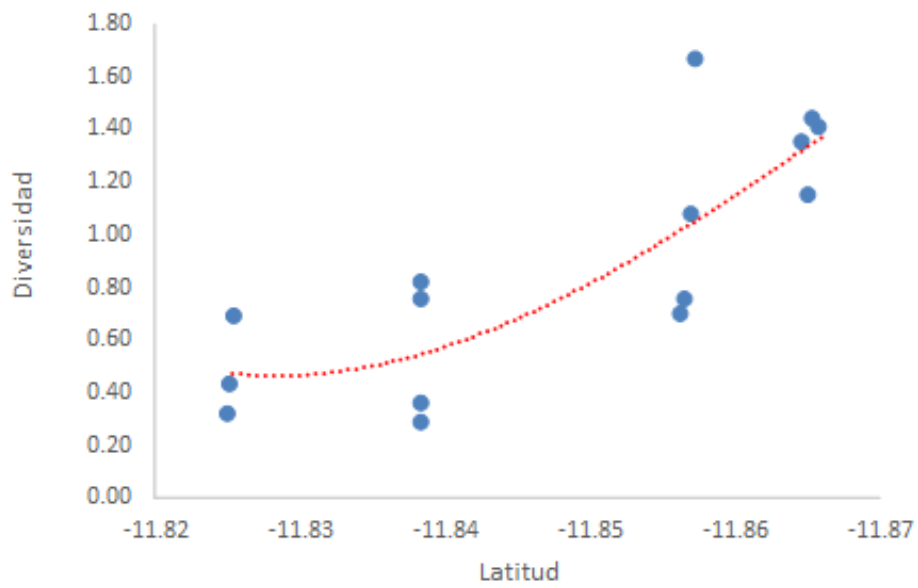


Figura 24. Variación latitudinal de la diversidad.

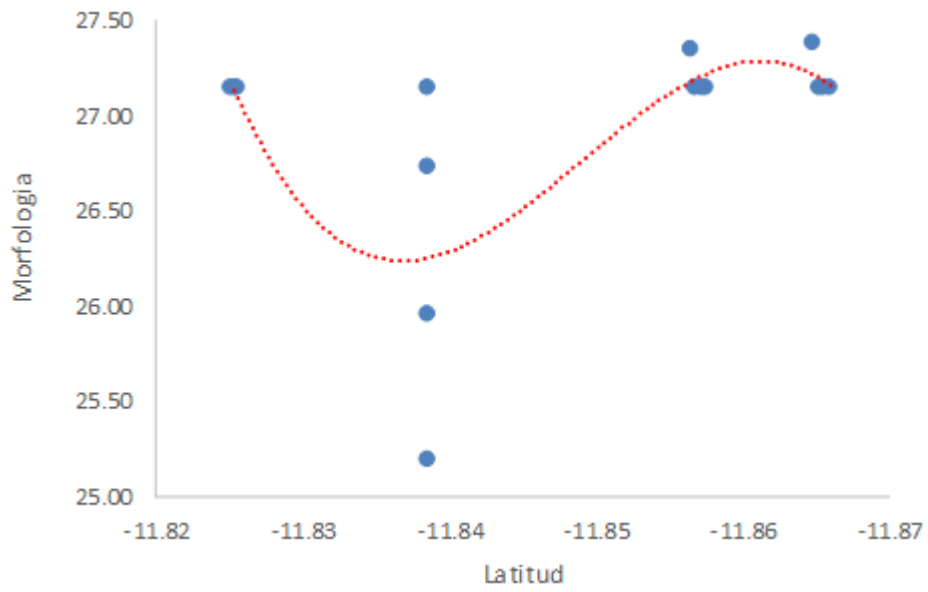


Figura 25 . Variación latitudinal del índice morfológico.

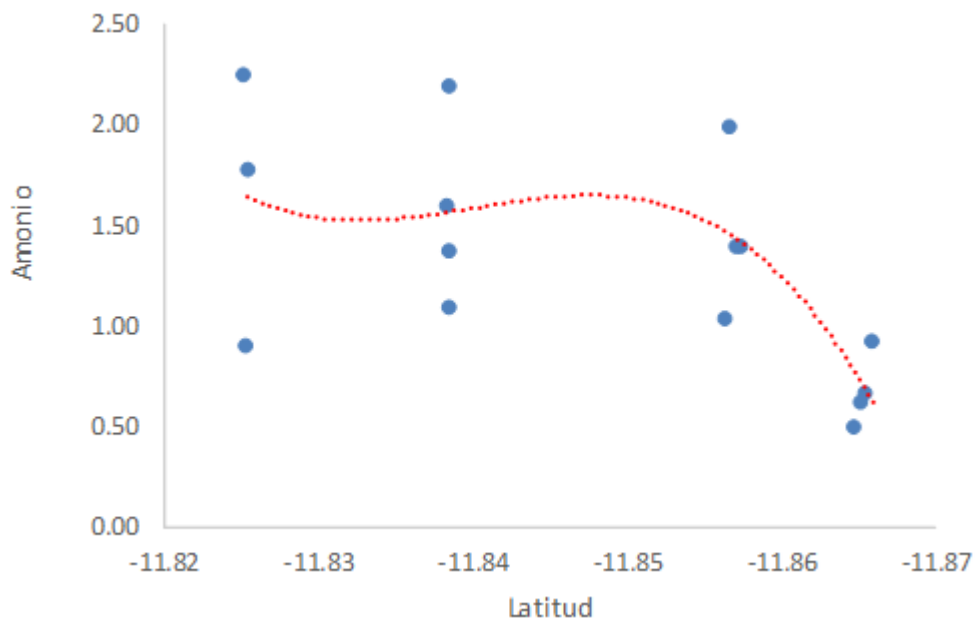


Figura 26 . Variación latitudinal del amonio.

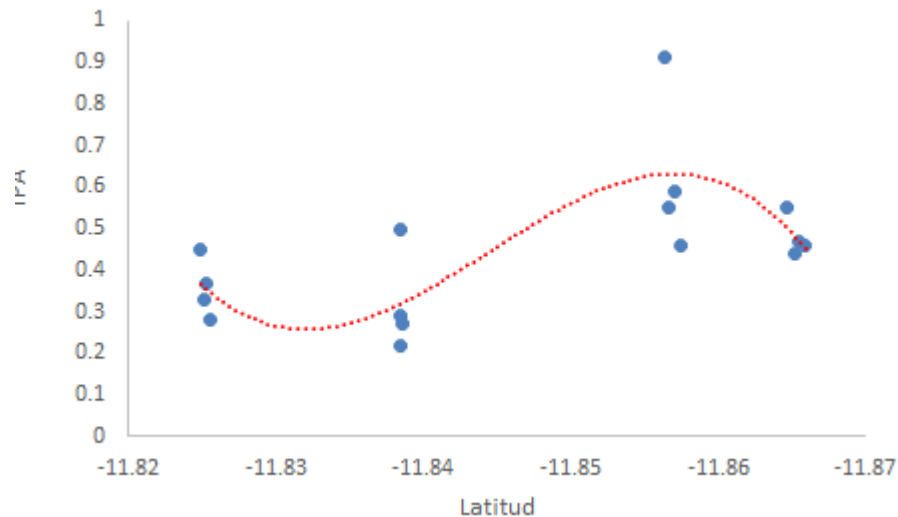


Figura 27 . Variación latitudinal del IPA.

4.1.5. Efecto de las actividades antropogénicas sobre las comunidades de líquenes en el Distrito de Matucana

Se encontró una relación negativa entre el IAA y el pH de los forofitos de *E. camaldulensis* (Fig. 28, $r = 0.3287$, $p = 0.6712$), la cobertura (Fig. 29, $r = 0.2821$, $p = 0.7179$), la riqueza (Fig. 30, $r = 0.4394$, $p = 0.5606$), la diversidad (Fig. 31, $r = 0.2939$, $p = 0.7061$), el Índice morfológico (Fig. 32, $r = 0.4886$, $p = 0.5113$) y el IPA (Fig. 33, $r = 0.0538$, $p = 0.9462$).

En cambio, se encontró una relación positiva entre el IAA y la concentración de amonio (Fig. 33, $r = 0.4104$, $p = 0.5895$). Sin embargo, debido a la dispersión y la escasez de datos, las correlaciones no fueron estadísticamente significativas.

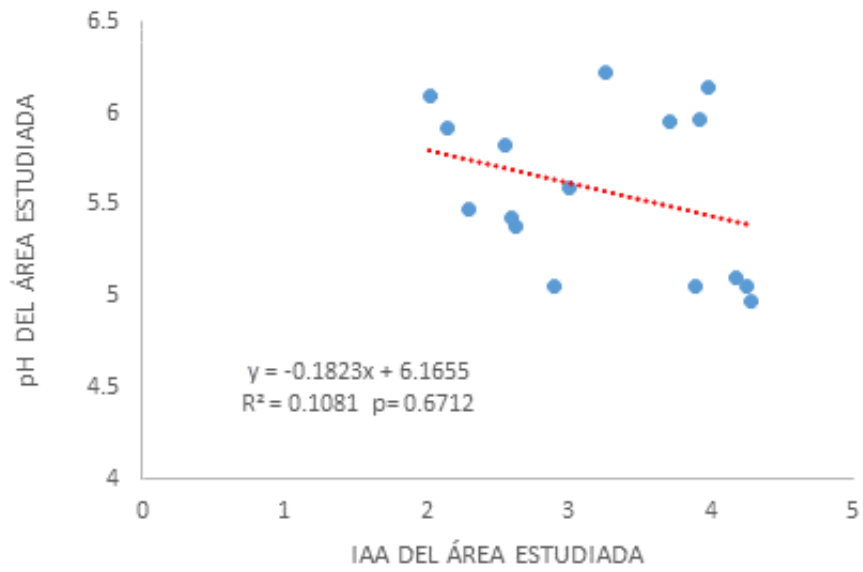


Figura 28. Relación entre el IAA del área estudiada (4 anexos, 16 estaciones) y el pH de los forofitos de la especie *Eucalyptus camaldulensis* Dehn del área estudiada.

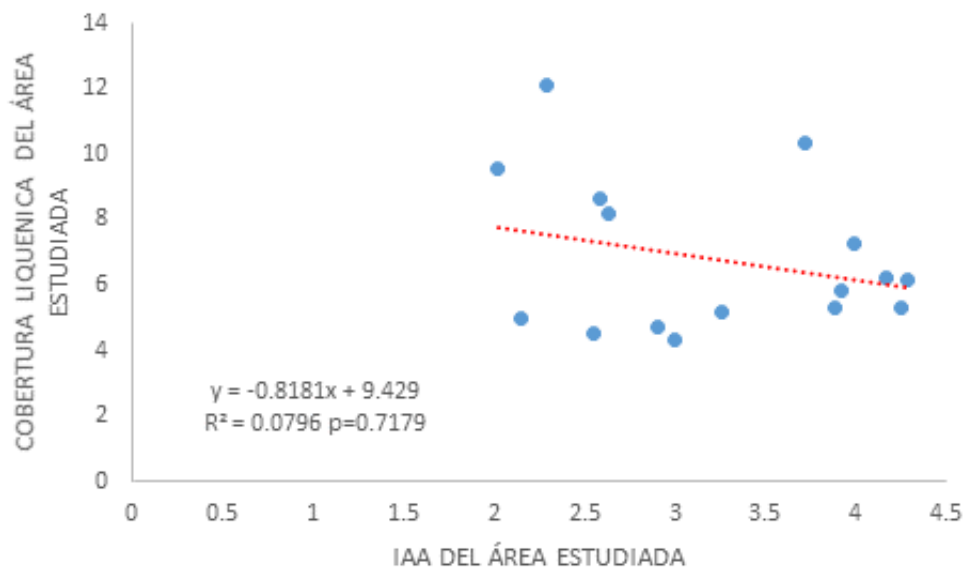


Figura 29. Relación entre el IAA del área estudiada y la Cobertura líquénica del área estudiada.

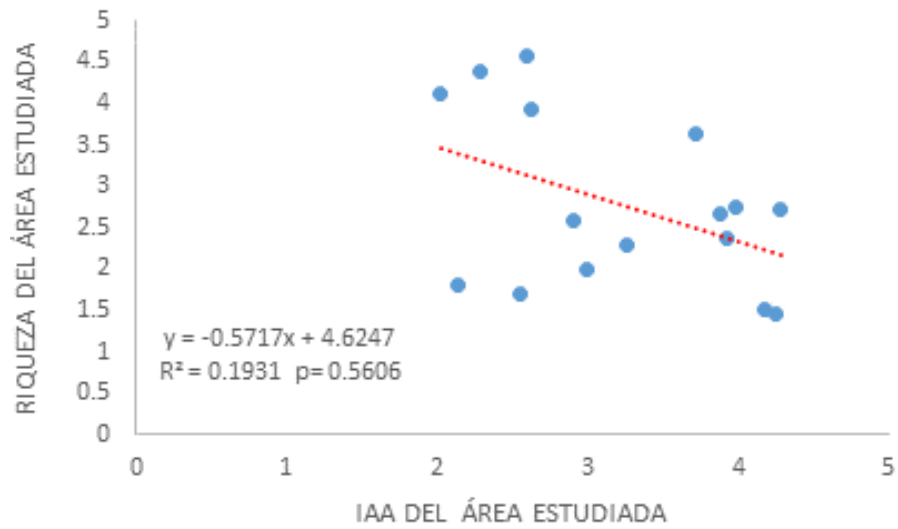


Figura 30. Relación entre el IAA del área estudiada y la Riqueza del área estudiada.

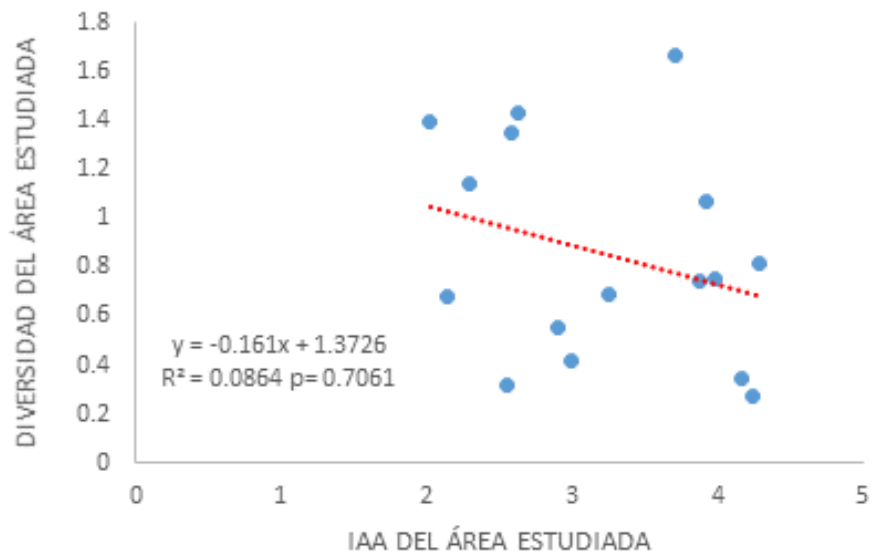


Figura 31. Relación entre el IAA y la Diversidad.

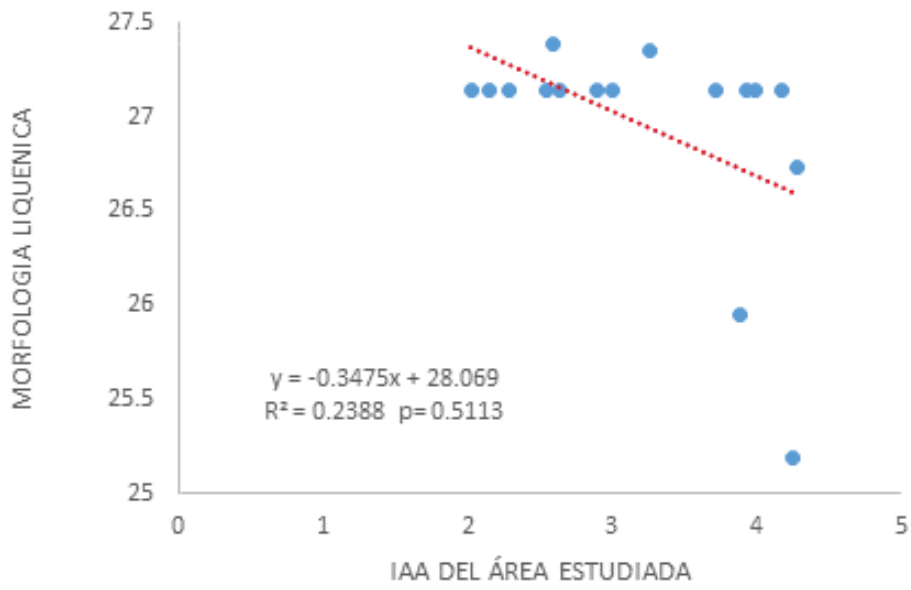


Figura 32. Relación entre el índice morfológico y el IAA del área estudiada y el Índice de morfología líquénica en el área estudiada.

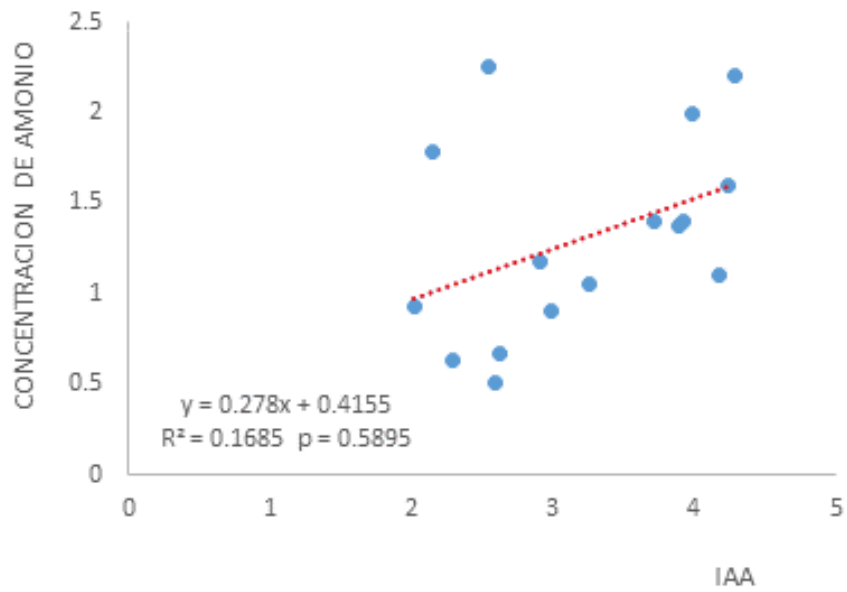


Figura 33. Relación entre el IAA del área estudiada y los niveles de concentración de amonio.

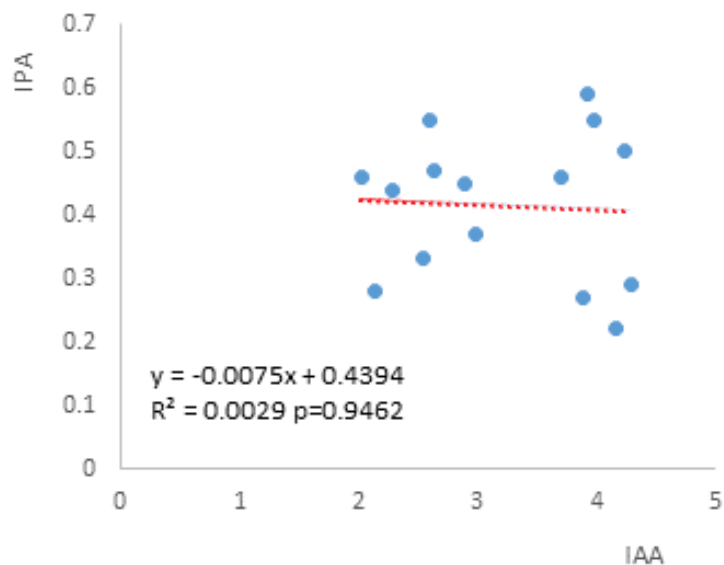


Figura 34. Relación entre el IAA del área estudiada y el IPA del área estudiada

4.1.6. Efecto del pH de los forofitos sobre las comunidades liquénicas.

En vista de que los líquenes tienen un rango óptimo de pH, se analizó la relación parabólica de las variables liquénicas en función del pH.

La Cobertura (Fig.35, $r = 0.3278$ $p = 0.8925$), Riqueza (Fig. 36, $r = 0.3235$ $p = 0.8951$), Diversidad (Fig.37, $r = 0.38561$, $p = 0.8516$), Índice morfológico (Fig.38, $r = 0.5985$, $p = 0.6417$) e IPA (Fig. 40, $r = 0.3350$, $p = 0.2417$), presentaron los mayores valores a pH entre 5.5 y 6.

La Concentración de amonio presentó una relación ligeramente positiva con el pH (Fig. 39, $r = 0.0624$, $p = 0.9376$). Sin embargo, debido a la dispersión y la escasez de datos, las correlaciones no fueron estadísticamente significativas.

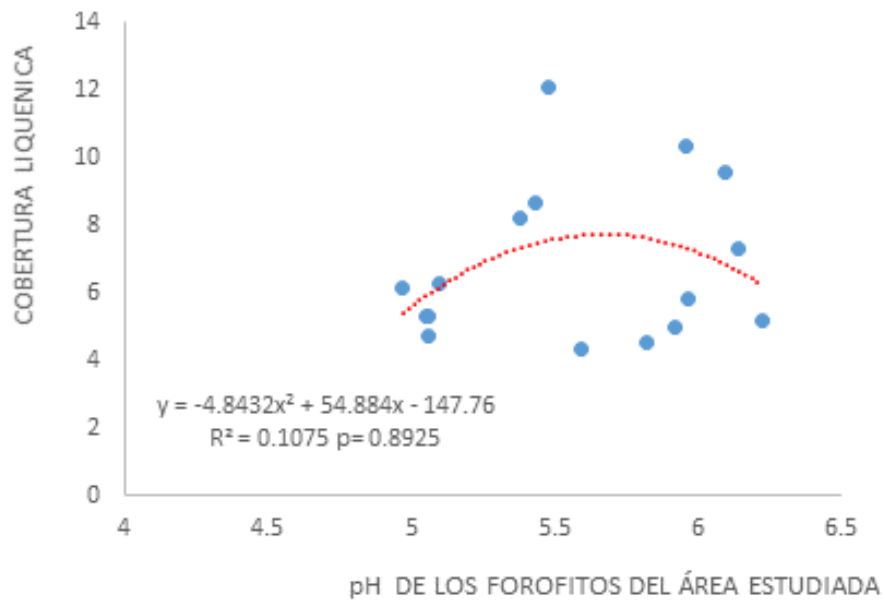


Figura 35 . Relación entre el pH de los forofitos del área estudiada y la cobertura liquénica del área estudiada.

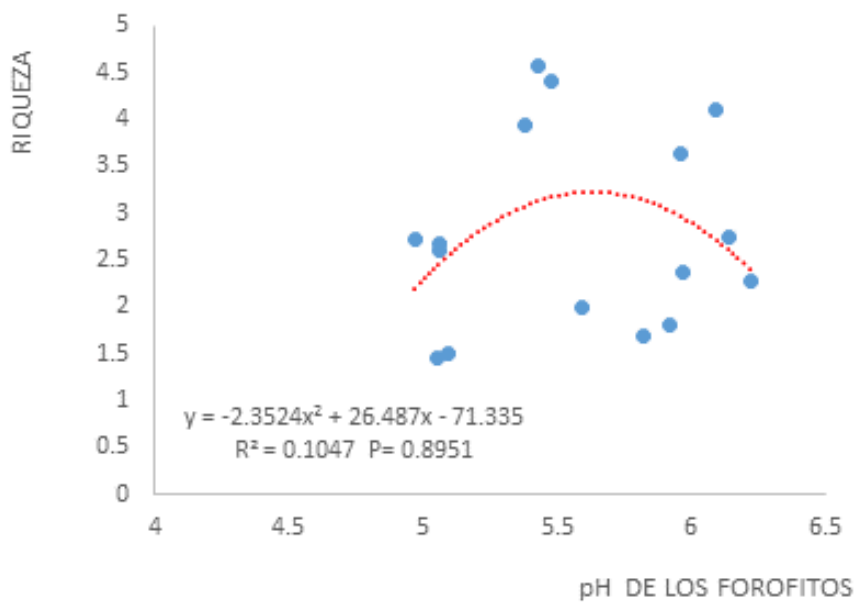


Figura 36 . Relación entre el pH de los forofitos del área estudiada y la riqueza del área estudiada

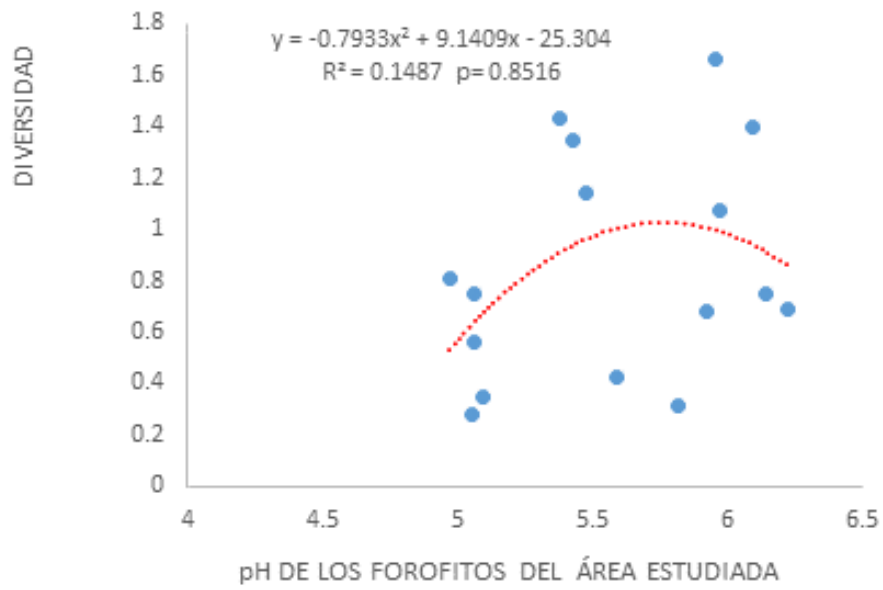


Figura 37. Relación entre el pH de los forofitos en el área estudiada y la diversidad del área estudiada

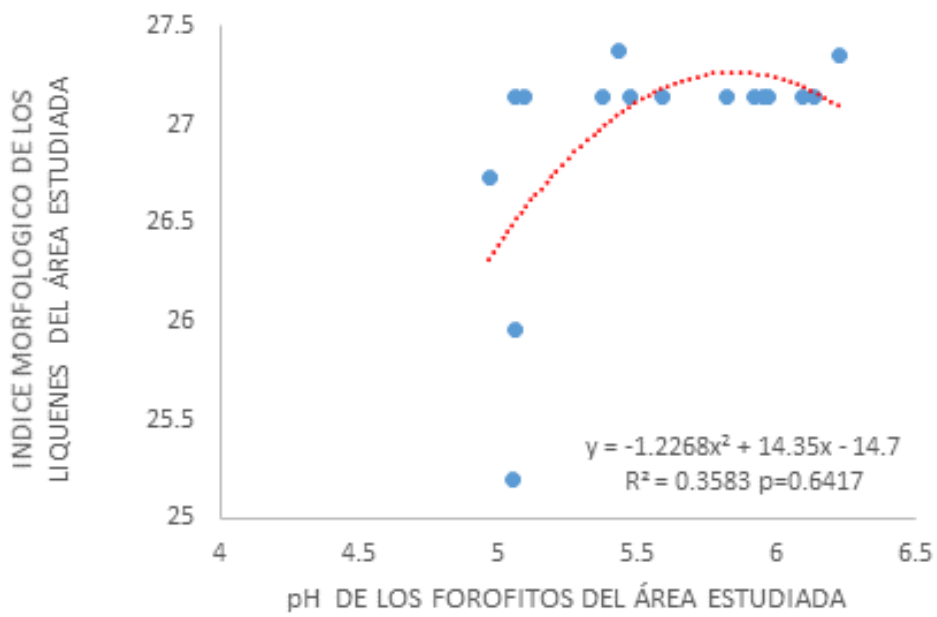


Figura 38. Relación entre el pH de los forofitos del área estudiada y el índice morfológico de los líquenes del área estudiada

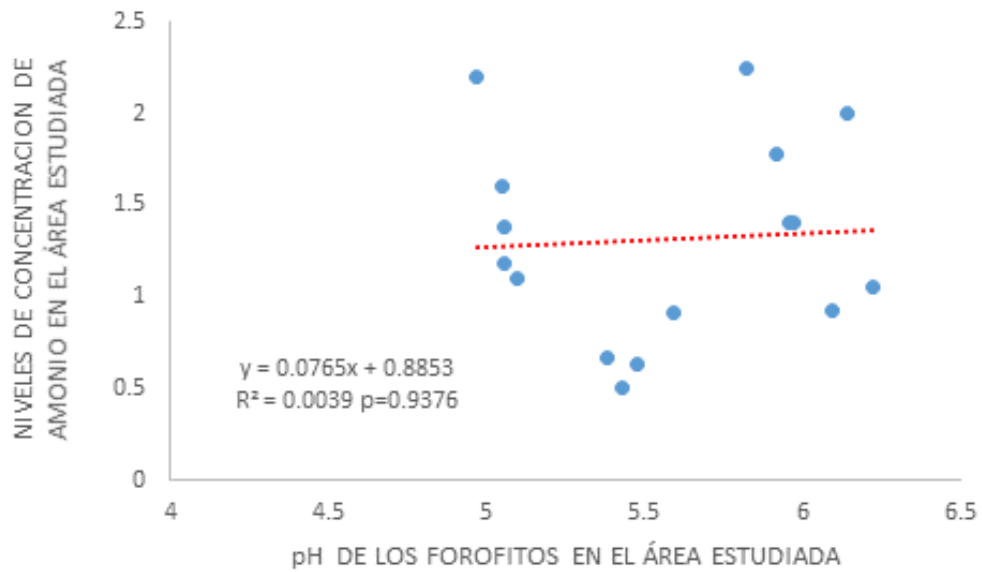


Figura 39. Relación entre el pH de los forofitos del área estudiada y los niveles de concentración de amonio en el talo líquénico en el área estudiada

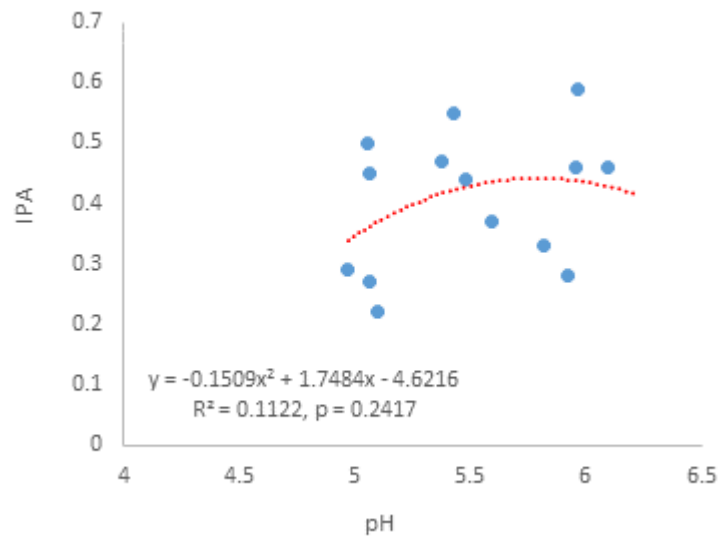


Figura 40 . Relación entre el pH de los forofitos y el IPA del área estudiada

4.1.7. Relación entre el IPA y las comunidades de líquenes en el Distrito de Matucana

Considerando que el IPA es un indicador de pureza atmosférica, basado en la frecuencia de líquenes, se analizó la relación del IPA con las variables de comunidad líquénica.

Se encontró relación positiva entre el IPA y la cobertura (Fig. 41, $r = 0.3629$ $p = 0.6371$), riqueza (Fig. 42, $r = 0.4555$ $p = 0.5445$), diversidad (Fig. 43, $r = 0.4640$, $p = 0.5360$), índice morfológico (Fig. 44, $r = 0.2027$, $p = 0.7973$). En cambio, se encontró una relación negativa entre el IPA y la concentración de amonio (Fig. 45, $r = 0.2785$, $p = 0.7215$). Sin embargo, debido a la dispersión y la escasez de datos, las correlaciones no fueron estadísticamente significativas.

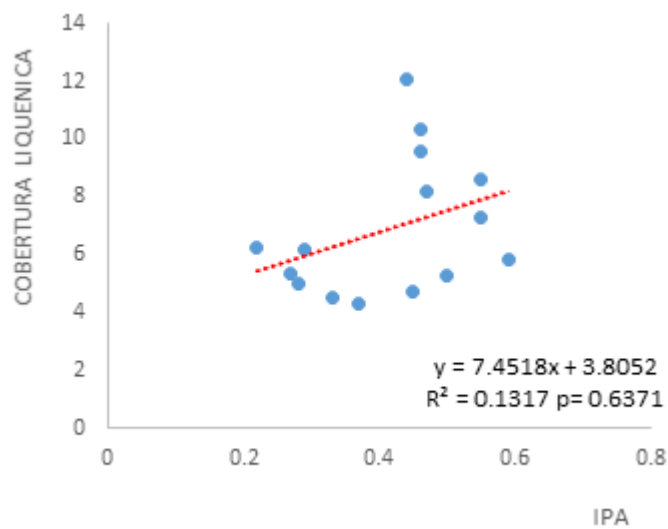


Figura 01. Relación entre el IPA y la Cobertura del área estudiada

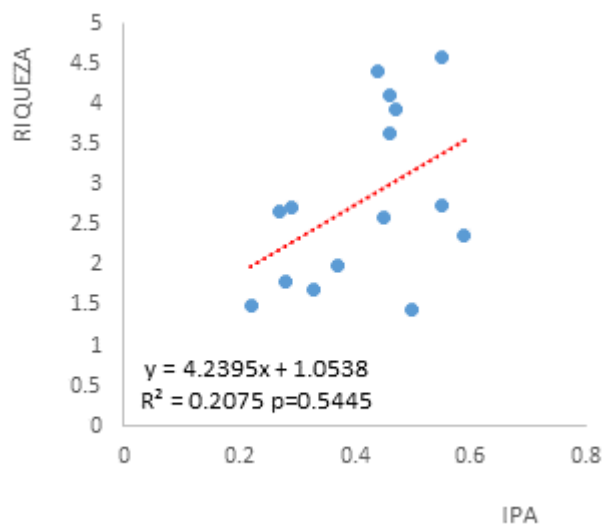


Figura 02. Relación entre el IPA y la Riqueza del área estudiada

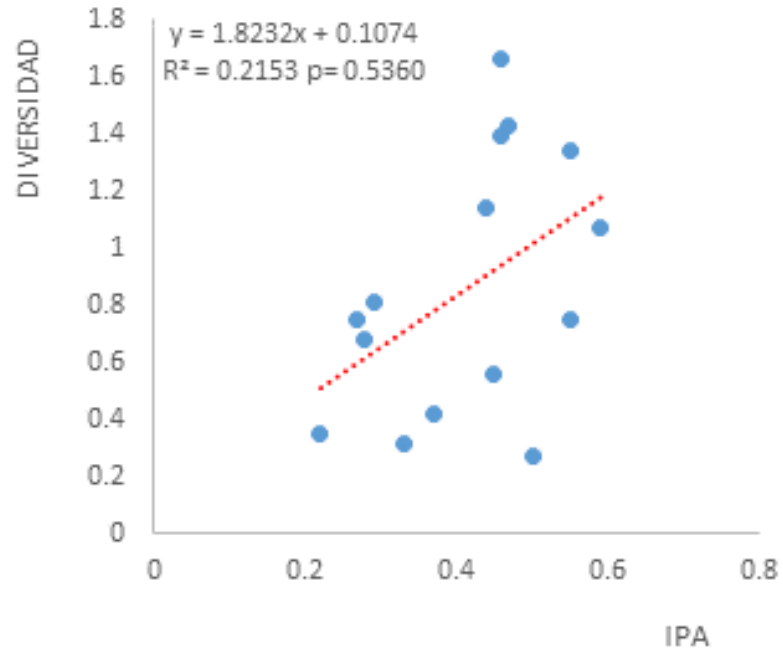


Figura 03. Relación del IPA del área estudiada y la diversidad del área estudiada

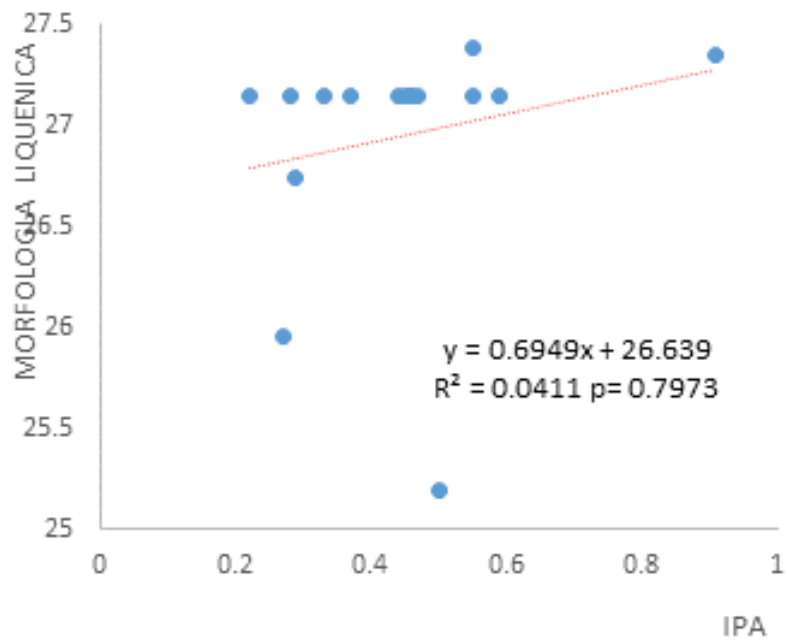


Figura 44. Relación entre el IPA y la morfología de los talos liquénicos en el área estudiada

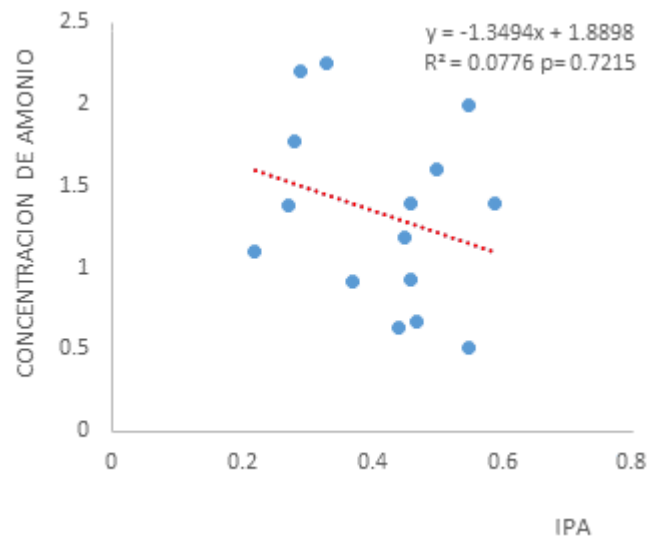


Figura 05. Relación entre la concentración de IPA del área estudiada y concentraciones de Amonio en los talos de los líquenes epífitos del área estudiada

4.2. Análisis de resultados

4.2.1. Condiciones meteorológicas

La climatología de la temperatura mostró un ciclo anual promedio entre 11 °C y 16 °C, mientras que la precipitación mostró una época lluviosa entre diciembre y marzo y una época seca el resto del año (Fig. 11). Sin embargo, en Junio 2017, el sistema climático se estaría normalizando luego de la onda de calor marina ocurrida entre enero y abril de 2017.

4.2.2. Actividades antropogénicas

Se consideró que las perturbaciones comunitarias son consecuencia de las actividades antropogénicas de la ciudad de Matucana sobre las comunidades liquénicas (principalmente: desplazamiento de trenes, carretera y estación del ferrocarril), con un gradiente de perturbación de menor a mayor perturbación en el siguiente orden: Huillpa, Umazamba, Socca, Maranchanca .

4.2.3. Comunidad liquénica

Se encontraron 10 especies de líquenes, siendo *Parmella squarrosa* la más dominante, seguida de *Dictyonema glabratum* y *Telochistes sp.* No existe información previa de la Liquenobiota del lugar, por lo que este sería el primer registro de las especies encontradas en los anexos de Matucana.

Con respecto al índice morfológico, en los talos liquénicos analizados bajo el estereoscopio se identificó la presencia de estructuras reproductivas típicas de talos sanos que deben poseer en condiciones óptimas (Fig. 1).

4.2.4. Variación latitudinal de las comunidades de líquenes

La preferencia de desarrollo de líquenes se observó en las latitudes de las estaciones del Anexo Huillpa 11° 86' S , donde ocurrió el menor IAA, y se obtuvo asimismo mayor riqueza, cobertura y diversidad de especie de líquenes.

4.2.5. Efecto de las actividades antropogénicas sobre las comunidades de líquenes en el Distrito de Matucana

Se encontró un efecto negativo (Fig. 29), aunque estadísticamente no significativo, del IAA sobre la cobertura de líquenes, demostrando que la primera hipótesis fue parcialmente verdadera.

Se encontró un efecto negativo (Figs. 30,31), aunque estadísticamente no significativo, del IAA sobre la riqueza y diversidad de líquenes, demostrando que la segunda hipótesis fue parcialmente verdadera.

Se encontró un efecto negativo (Fig. 32), aunque estadísticamente no significativo, del IAA sobre el índice morfológico de líquenes, demostrando que la tercera hipótesis fue parcialmente verdadera.

Adicionalmente, también se encontró un efecto negativo (Figs. 28 y 34) del IAA sobre el pH e IPA de la comunidad liquénicas.

La relación positiva entre el IAA y la concentración de amonio sugiere que los iones amonio indican una situación de estrés fisiológico en los líquenes (Aguillaume *et al.*2017).

4.2.6. Efecto del pH de los forofitos sobre las comunidades liquénicas.

El pH óptimo para los líquenes de Matucana, se encontró entre 5.5 y 6, con los mayores valores de cobertura (Fig. 35), riqueza (Fig. 36), diversidad (Fig. 37), Índice morfológico (Fig. 38) e IPA (Fig.39). Este resultado es similar a la relación cuadrática entre el pH y la riqueza de especies de líquenes encontrado por Darré (2011), sin embargo, esta autora encontró el pH óptimo a un rango más ácido entre 4.5 y 5.0 en Uruguay comparado con Matucana (Fig. 46). El efecto negativo del pH a concentraciones fuera del rango óptimo, podría deberse a la pérdida de nutrientes por efecto de distinta ionización a niveles extremos de acidez o alcalinidad (Barreno & Pérez 2003).

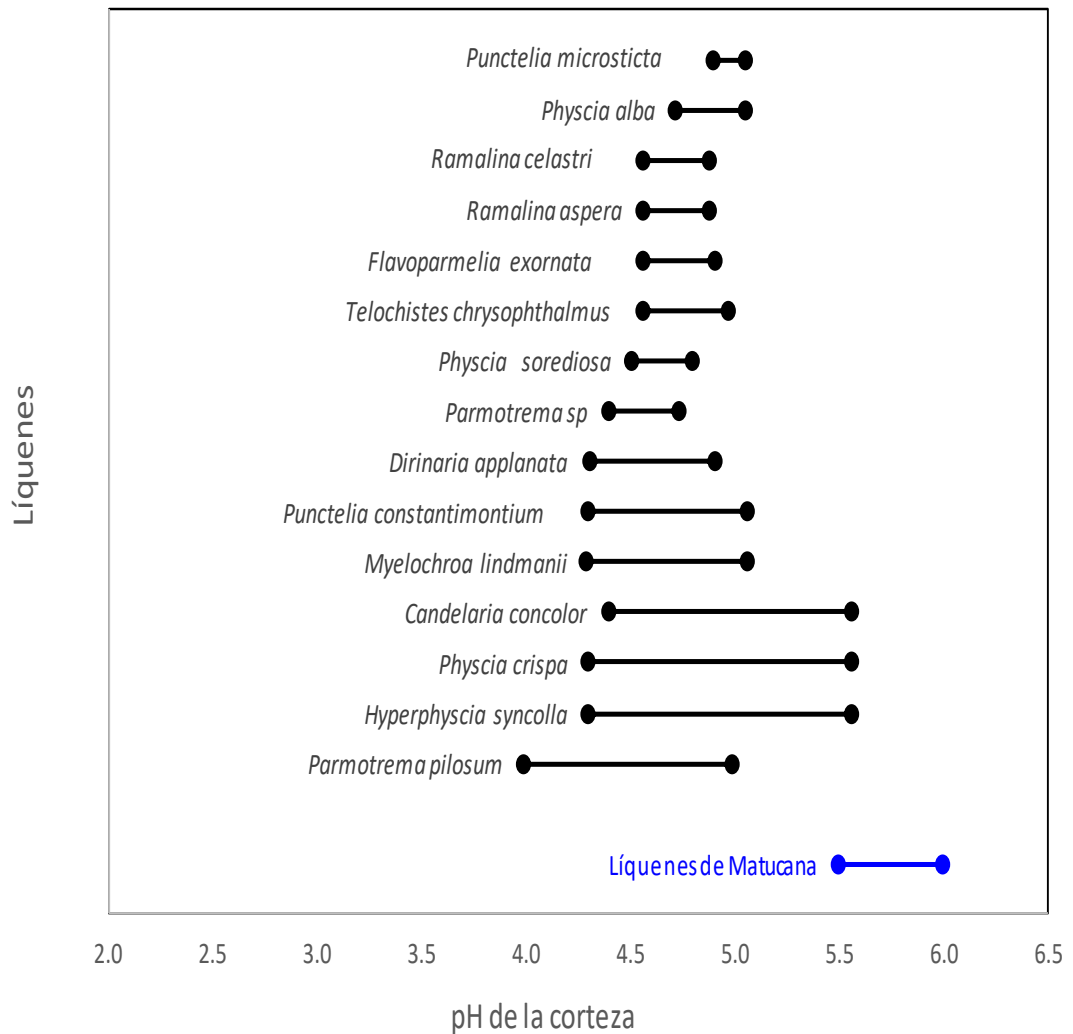


Figura 46. Rango óptimo de pH para diferentes especies de Matucana y Uruguay. Fuente: Modificado de Darré (2011).

4.2.7. Relación entre el IPA y las comunidades de líquenes en el Distrito de Matucana.

El IPA resultó ser un buen indicador de la calidad atmosférica, pues presentó relaciones positivas con la cobertura (Fig. 41), riqueza (Fig. 42), diversidad (Fig. 43), índice morfológico (Fig. 44). Además, presentó una relación negativa con la concentración de amonio (Fig. 45), lo cual concuerda con la presencia de amonio como indicador de estrés fisiológico.

La matriz de consistencia se presenta en el Anexo 2.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

El anexo Maranchanca presentó el mayor Índice de Actividad Antropogénica (IAA), seguido de Soca, Umazamba y Huillpa.

Se encontraron 10 especies de líquenes, siendo el más abundante *Parmella squarrosa*, seguido de *Dictyonema glabratum* e *Imshaugia alerites*.

Los mayores valores de cobertura, riqueza y diversidad se encontraron en el anexo Huillpa (11° 86' S).

Los mayores valores de cobertura, riqueza, diversidad, índice morfológico e Índice de Pureza Atmosférica (IPA) se encontraron a valores de pH entre 5.5 y 6.

Se encontró un efecto negativo del IAA sobre la cobertura, riqueza, diversidad e índice morfológico de las comunidades liquénicas, sin embargo, debido a la variabilidad y escasez de datos, los resultados indicaron correlaciones en la dirección esperada pero estadísticamente no significativas. Por lo tanto, las tres hipótesis planteadas fueron parcialmente verdaderas.

Adicionalmente, se encontró también un efecto negativo del IAA sobre el pH y el IPA de las comunidades liquénicas. En cambio, se encontró una relación positiva entre el IAA y la concentración de amonio.

Se confirmó que el IPA es un buen indicador de calidad atmosférica al presentar correlaciones positivas con la cobertura, riqueza, diversidad e índice morfológico.

Recomendaciones

Se recomienda el uso de líquenes como indicadores de perturbación antropogénica, destacando la riqueza como la variable mejor correlacionada al IAA.

Se sugiere continuar el muestreo para contar con mayor cantidad de datos que permita encontrar relaciones estadísticamente significativas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agenda Siglo XXI. 2007. Aspectos del desarrollo sostenible referentes a los recursos naturales en Costa Rica. San José, CR. Consultado el 4/4/2008. Disponible en <http://www.un.org/esa/agenda21/natinfo/countr/costaric/natur/htm>
- Ahti, T. (2000). Cladoniaceae. *Flora Neotropica*, 1-362.
- Ainsworth, G. C., James, P. W., & Hawksworth, D. L. (1971). *Dictionary of the fungi*. Dictionary of the fungi.
- Anze, R., M. Franken, M. Zaballa, M. R. Pinto, G. Zeballos, M. de los Á. Cuadros, Á. Canseco,
- Ariño Vila, X., Azuaya García, T., & Gómez-Bolea, A. (1997). Els líquens com a bioindicadors de la qualitat atmosfèrica: el cas de la vall de Fumanya (Cercs, Barcelona). *Butll. Inst. Cat. Hist. Nat.*, 65, 5-13
- Àvila & Castells, A. (2017). Determinació del nivell crític de contaminació per amoni en una zona ramadera de Catalunya. *UAB divulga*, 0001-3.
- Barreno, E. & Pérez, S. 2003. Líquenes de la reserva natural interal de Muniellos, Asturias. KRK Ediciones. 594 p.
- Bedregal, P., B. Torres, P. Mendoza, M. Ubillús, J. Hurtado, I. Maza y R. Espinoza. 2005. Uso de *Usnea* sp. y *Tillandsia capillaris*, como bioindicadores de la contaminación ambiental en la ciudad de Lima, Perú. Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN). Informe Científico y Tecnológico. 151-156. Consultado el 08/05/2009. Disponible en http://www.ipen.gob.pe/site/publicaciones/2006/ict_2005/version%20pdf/_Pag%20151-156_%20Biomonitores-%20QUIM%20_Revisado_.pdf
- Brighigna, L., A. Papini, S. Mosti, A. Cornia, P. Bocchini & G. Galletti. 2002. The use of tropical bromeliads (*Tillandsia* spp.) for monitoring atmospheric pollution in the town of Florence, Italy. *Rev. Biol. Trop.* 50 (2): 577-584.
- Brodo, I. M., Sharnoff, S. D., & Sharnoff, S. (2001). *Lichens of north America*. Yale University Press.
- Bungartz, F., Lücking, R., & Aptroot, A. (2010). The family Graphidaceae (Ostropales, Lecanoromycetes) in the Galapagos Islands. *Nova Hedwigia*, 90(1-2), 1-44.
- Canseco, Á, R. Anze & M. Franken. 2006. Comunidades de líquenes: indicadores de la calidad del aire en la ciudad de La Paz, Bolivia. *ACTA NOVA*, 3 (2): 286-307, junio. Consultado el 15/01/2010. Disponible en <http://www.ucbcba.edu.bo/Publicaciones/revistas/actanova/documentos/v3n2/v3.n2>.

- Coca, L. F., Sanín, D., Posada-Herrera, J. M., & Sierra-Giraldo, J. A. (2012). Peltigerales (Ascomycetes Liquenizados) del bosque alto andino del Parque Nacional Natural Tatamá, Colombia. *Boletín Científico del Centro de Museo de la Universidad*, 16, 60-72.
- Conti, M.E. & G. Cecchetti. 2001. Biological monitoring: lichens as bioindicators of air pollution assesment – a review. *Environmental Pollution* 114: 471–492.
- Conti, M.E., M. Tudino, J. Stripeikis & G. Cecchetti. 2004. Heavy metal accumulation in the lichen *Evernia prunastri* transplanted at urban, rural and industrial sites in Central Italy. *Journal of Atmospheric Chemistry* 49: 83–94.
- Cristofolini, F., P. Giordani, E. Gottardini & P. Modenesi. 2008. The response of epiphytic lichens to air pollution and subsets of ecological predictors: A case study from the Italian Prealps. *Environmental Pollution* 151 (2): 308 – 317.
- Cubas, P., Núñez, J., Crespo, A., & Divakar, P. K. (2010). Líquenes: que son y su uso como bioindicadores. *GEMM/Proyecto de Innovación*, 123, 1-9.
- Dal Forno, M. (2009). A Família Graphidaceae (Ascomycota Liquenizados) em Restinga em Pontal do Sul, Pontal do Paraná, Paraná (Doctoral dissertation, Universidade Federal do Paraná).
- Darré, E. 2011. Líquenes como bioindicadores de contaminación atmosférica en Montevideo – Uruguay. Universidad de La República. 101 p.
- De la Rocha, V. H. Estellano & S. Del Granado. 2007. Bioindicadores en la detección de la contaminación atmosférica en Bolivia. Junio. *Revista Virtual REDESMA*, 1 (1): 54 – 74. Consultado el 28/05/2009. Disponible en <http://revistavirtual.redesma.org/vol1/articulo3.htm>
- Díaz, E. (2006). Utilización de los líquenes como bioindicadores de contaminación por presencia de metales pesados en áreas andinas ubicadas en los alrededores de las unidades mineras. Universidad Nacional de Ingeniería. Facultad de Ingeniería Ambiental, Perú.
- Domeño, C., M. Blasco, C. Sánchez & C. Nerín. 2006. A fast extraction technique for extracting polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) from lichens samples used as biomonitors of air pollution: Dynamic sonication versus other methods Aragón. *Analytica Chimica Acta* 569 (1-2): 103–112. Estado de La Nación. 2006. Duodécimo Informe (en línea). San José, CR. Consultado el 20/10/2007. Disponible en <http://www.estadonacion.or.cr/Info2006/Paginas/armonia.htm> 30
- Estrada, V. H. M., & Nájera, J. M. (2016). El uso de líquenes como biomonitores para evaluar el estado de la contaminación atmosférica a nivel mundial. *Biocenosis*, 25(1-2).
- Fernandez-Salegui, A. B., Calatayud, A., TerrÓN, A., & Barreno, E. M. (2006). Chlorophyll a fluorescence in transplants of *Parmelia sulcata* Taylor near a power station (La Robla, León, Spain). *The Lichenologist*, 38(5), 457-468.

- Figuerola, E. V., & Méndez Montoya, A. P. (2015). Evaluación de la calidad del aire en 8 zonas de la ciudad de Bogotá utilizando los líquenes como bioindicadores.
- Fuga, A., M. Saiki, M. Marcelli & P. Saldiva. 2008. Atmospheric pollutants monitoring by analysis of epiphytic lichens. *Environmental Pollution* 151 (2): 334-340. Fundevi. 2007. Estudio de análisis y prospección del sistema urbano de la Gran Área Metropolitana GAM. Informe final, tomo 2. San José, Costa Rica. 298 p.
- García Lozano, L. C., & Rubiano, O. (1984). Comunidades de líquenes como indicadores de niveles de calidad del aire en Colombia. *Contaminación ambiental*, 8(13), 73-90.
- Garty, J., L. Weissman, O. Tamir, S. Beer, Y. Cohen, A. Karnieli & L. Orlovsky. 2000. Comparison of five physiological parameters to assess the vitality of the lichen *Ramalina lacera* exposed to air pollution. *Physiologia Plantarum* 109 (4): 410–418.
- Gauch Jr, H. G., & Whittaker, R. H. (1972). Coenocline simulation. *Ecology*, 53(3), 446-451.
- Giordani, P. 2007. Is the diversity of epiphytic lichens a reliable indicator of air pollution? A case study from Italy. *Environmental Pollution* 146 (2): 317-323.
- Golubev, A.V., V.N. Golubeva, N.G. Krylov, V.F. Kuznetsova, S.V. Mavrin, A.Yu. Aleinikov, W.G.
- Gombert, S., J. Asta & M.R.D. Seaward. 2006. Lichens and tobacco plants as complementary biomonitors of air pollution in the Grenoble area (Isère, southeast France). *Ecological Indicators* 6 (2): 429–443.
- Gómez, L.D. & W. Herrera. 1986. Vegetación y clima de Costa Rica. Tomo II. Editorial Universidad Estatal a Distancia, San José, Costa Rica. 118 p.
- Gorbushina, A.A. 2007. Life on the rocks. *Environmental Microbiology* 9: 1613–1631.
- Green, T. G. A., Horstmann, J., Bonnett, H., Wilkins, A., & Silvester, W. B. (1980). Nitrogen fixation by members of the Stictaceae (Lichenes) of New Zealand. *New Phytologist*, 84(2), 339-348.
- Grüninger, W. & J. Monge-Nájera. 1988. Use of temperate lichen *Hypogymnia physodes* (Parmeliaceae) to evaluate air pollution in the Tropics. *Rev. Biol. Trop.* 36 (2B): 545- 547.
- Hawksworth, D. L., Iturriaga, T., & Crespo, A. (2005). Líquenes como bioindicadores inmediatos de contaminación y cambios medio-ambientales en los trópicos. *Revista Iberoamericana de micología*, 22(2), 71-82.
- Heredia, Costa Rica. 156 p. Vokou, D., S. Pirintsos & S. Loppi. 1999. Lichens as bioindicators of temporal variations in air quality around Thessaloniki, northern Greece. *Ecological Research* 14 (2), 89–96.

- Hernández, J. E. (2010). Líquenes del Herbario Nacional de Venezuela (VEN) y sus muestras tipo. *Acta Botánica Venezuelica*, 33(2), 363-376.
- Hoppes & K.A. Surano. 2005. On monitoring anthropogenic airborne uranium concentrations and $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$ isotopic ratio by Lichen e bio-indicator technique. England, *Journal of Environmental Radioactivity* 84 (3) 333-342.
- Jovan, S. 2007. Lichens and nitrogen. *The Bryologist* 110 (2): 333-335.
- Kricke, R. & G.B. Beige. 2004. Changes in epiphytic lichen flora in urban environments. *Lichens in a changing pollution environment. English Nature Research Reports* 525: 27-30.
- Kricke, R., & Feige, G. B. (2004). Changes in epiphytic lichen flora in urban environments. In Number 525 *Lichens in a changing pollution environment Papers presented at a workshop at Nettlecombe, Somerset 24-27 February 2003 organised by the British Lichen Society and English Nature* (p. 27).
- Lijteroff, R., L. Lima & B. Prieri. 2009. Uso de líquenes como bioindicadores de contaminación atmosférica en la ciudad de San Luis, Argentina. *Rev. Int. Contam. Ambient.* 25 (2) 111-120. Consultado el 08/06/2009. Disponible en http://www.atmosfera.unam.mx/editorial/contaminacion/acervo/vol_25_2/6.pdf
- Loppi, S. 2004. Mapping the effects of air pollution, nitrogen deposition, agriculture and dust by the diversity of epiphytic lichens in central Italy. *Lichens in a changing pollution environment. English Nature Research Reports* 525: 37-41.
- Lücking, R., & Rivas-Plata, E. (2008). Clave y guía ilustrada para géneros de Graphidaceae. Key and illustrated guide to the Graphidaceae genera. *Glalia.*, 1, 1-41.
- Méndez, O. & L. Fournier. 1980. Los líquenes como indicadores de la contaminación atmosférica en el área metropolitana de San José, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 28 (1): 31-39.
- Méndez, O. 1977. Los líquenes como indicadores de la contaminación atmosférica en el área metropolitana de San José, Costa Rica. Tesis de licenciatura. Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. 60 p. 31
- Miller, J.R. 2005. Biodiversity conservation and the extinction of experience. *Trends Ecol. Evol.* 20 (8): 430-433.
- Miranda, J.J. 2006. Impacto económico en la salud por contaminación del aire en Lima Metropolitana. Instituto de Estudios Peruanos. Lima, Perú. 38 p.
- Monge-Nájera, J., M.I. González, M. Rivas & V.H. Méndez. 2002a. Twenty years of lichen cover change in a tropical habitat (Costa Rica) and its relation with air pollution. *Rev. Biol. Trop.* 50: 309-319. 2002b. A new method to assess air pollution using lichens as bioindicators. *Rev. Biol. Trop.* 50: 321-325.

- Monnet, F., F. Bordas, V. Deluchat, P. Chatenet, M. Botineau & M. Baudu. 2005. Use of the aquatic lichen *Dermatocarpon luridum* as bioindicator of copper pollution. Accumulation and cellular distribution tests. *Environmental Pollution* 138 (): 456 – 462.
- Nali, C., E. Balducci, L. Frati, L. Paoli, S. Loppi & G. Lorenzini. 2007. Integrated biomonitoring of air quality with plants and lichens: A case study on ambient ozone from central Italy. *Chemosphere* 67 (11) 2169–2176.
- Policnik, H., P. Simoncic & F. Batic. 2008. Monitoring air quality with lichens: A comparison between mapping in forest sites and in open areas. *Environmental Pollution* 151 (2):395 – 400. Consultado el 17/06/2009. Disponible en [http://nssl1.nssl.gov.cn/pages/2008/19/67/151\(2\).pdf](http://nssl1.nssl.gov.cn/pages/2008/19/67/151(2).pdf)
- Pujol, R. 2002. Estudio de indicadores urbanos en el área metropolitana de San José. Flota vehicular. ProDUS-UCR, San José, Costa Rica.
- Quispe, K., Ñique, M., & Chuquilin, E. (2018). Líquenes como bioindicadores de la calidad del aire en la ciudad de Tingo María, Perú. *RevIA*, 3(2).
- Ramírez-Morán, N. A., León-Gómez, M., & Lücking, R. (2016). Uso de biotipos de líquenes como bioindicadores de perturbación en fragmentos de bosque altoandino (Reserva Biológica “Encenillo”, Colombia) Use of lichen biotypes as bioindicators of perturbation in fragments of high Andean forest (“Encenillo” Biological Reserve, Colombia). *Caldasia*, 38(1), 31-52.
- Redon, J. (1985). Líquenes antárticos.
- Riquelme Acevedo, F. S. (2008). Evaluación del uso de líquenes como indicadores biológicos de contaminación atmosférica en la Quebrada de la Plata, región metropolitana.
- Rodríguez, S & J. Herrera. 2005. Resumen segundo informe de calidad del aire de la ciudad de San José 2004-2005. Municipalidad de San José y Universidad Nacional, San José, Costa Rica. 11p.
- Rogers, A. (1966). The multiregional matrix growth operator and the stable interregional age structure. *Demography*, 3(2), 537-544.
- Rojas-Fernández, J. A., A. Balza-Quintero, V. Marcano, P. A. Rojas, D. Dávila-Vera, Z. Peña- Contreras, R. V. Mendoza-Briceño & E. Palacios-Prü. 2008. Metabolitos secundarios de líquenes de la zona nival de la Sierra Nevada de Mérida-Venezuela y su papel en la absorción de la radiación ultravioleta. *Anales del Jardín Botánico de Madrid*, 65 (1): 59-72. Consultado el 15/01/2010. Disponible en <http://rjb.revistas.csic.es/index.php/rjb/article/view/246/242>
- Romero, P. A. (2013). Líquenes cortícolas como indicadores atmosféricos en la localidad de Kennedy Bogotá, Colombia. *Boletín Semillas Ambientales*, 7(1).

- Rusch, G. M., & Oesterheld, M. (1997). Relationship between productivity, and species and functional group diversity in grazed and non-grazed Pampas grassland. *Oikos*, 519-526.
- Sanchez-Bertucci, L., Darre, E., Reyes, B., Gogichaishvili, A., Morales, J., & Bautista, F. (2013). Estudio magnético en líquenes de la ciudad de Montevideo. *Latinmag Letters*, 3, 1-7.
- Shields, L. M., Mitchell, C., & Drouet, F. (1957). Alga-and lichen-stabilized surface crusts as soil nitrogen sources. *American Journal of Botany*, 489-498.
- Shochat, E., P. Warren & S.H. Faeth. 2006. Future directions in urban ecology. *Trends Ecol. Evol.* 21: 661-662.
- Silliman, B. R. and He, Q. 2018. Physical stress, consumer control and new theory in ecology. *Trends Ecol. Evol.* 33:492-503.
- Simijaca-salcedo, D. F., Vargas-Rojas, D. L., & Morales-Puentes, M. E. (2014). Use of non vascular plant organisms as indicators of urban air pollution (Tunja, Boyacá, Colombiano). *Acta Biológica Colombiana*, 19(2), 221-232.
- Stapper, N.J., 2004. Mapping aerial hypertrophication with epiphytic lichens as biomonitors in North Rhine-Westphalia (NRW, Germany). *Lichens in a changing pollution environment. English Nature Research Reports* 525: 31-36.32
- Thormann, M.N. 2006. Lichens as indicators of forest health in Canada. *The Forestry Chronicle* 82 (3):335-343.
- Umaña, L. & H. Sipman. 2002. *Líquenes de Costa Rica*. Instituto Nacional de Biodiversidad,
- Vicente, C. (1975). *Fisiología de las sustancias líquénicas*. Madrid, Alhambra.
- Weissman, L., M. Fraiberg, L. Shine, J. Garty & A. Hochman. 2006. Responses of antioxidants in the lichen *Ramalina lacera* may serve as an early-warning bioindicator system for the detection of air pollution stress. *Microbiol. Ecol.* 58: 41–53.
- Zechmeister, H.G. & D. Hochenwallner. 2006. A comparison of biomonitoring methods for the estimation of atmospheric pollutants in an industrial town in Austria. *Environmental Monitoring and Assessment* 117: 245–259.

ANEXOS

Anexo 1. Declaración de Autenticidad

Anexo 2. Matriz de consistencia

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPOTESIS GENERAL	VARIABLES GENERALES	INDICADOR	TECNICAS/ INSTRUMENTOS
Se desconoce la relación entre la cercanía a las actividades antropogénicas con la comunidad liquénica de los árboles del Distrito de Matucana.	Evaluar el efecto de actividades antropogénicas sobre las comunidades de líquenes en el Distrito de Matucana.	Las actividades antropogénicas tienen efecto negativo sobre la comunidad liquénica en el Distrito de Matucana.	- Actividades antropogénicas - Comunidad liquénica en el Distrito de Matucana		
PROBLEMA ES	OBJETIVOS ESPECIFICOS	HIPOTESIS ESPECIFICA	VARIABLES ESPECIFICAS	INDICADOR	
Hay incertidumbre sobre el efecto de las actividades antropogénicas sobre la cobertura de la comunidad liquénica del Distrito de Matucana. No se ha investigado el efecto de las actividades antropogénicas sobre la	- Evaluar el efecto de la cercanía a las actividades antropogénicas sobre la cobertura liquénica en los árboles del Distrito de Matucana. - Evaluar el efecto de la cercanía a las actividades antropogénicas sobre la riqueza y diversidad de las comunidades de líquenes en el Distrito de Matucana.	Las actividades antropogénicas tienen un efecto negativo sobre la cobertura liquénica en los árboles del Distrito de Matucana. Las actividades antropogénicas tienen un efecto negativo sobre la riqueza y diversidad de la comunidad liquénica del Distrito de Matucana.	- Actividades antropogénicas. - Cobertura liquénica. - Riqueza y diversidad de la comunidad liquénica. - Morfología de las especies de la comunidad liquénica. - pH, Amonio	. Índice de actividad antropogénica -Índice de pureza atmosférica -Índice morfológico. -Índice de diversidad de Shannon.	- Balanza - Rejilla - pHmetro - Medidor de amonio

<p>riqueza y diversidad de la comunidad liquénica del Distrito de Matucana.</p> <p>Se desconoce el efecto de las actividades antropogénicas sobre la morfología de las especies de la comunidad liquénica del Distrito de Matucana.</p>	<p>- Evaluar el efecto de la cercanía a las actividades antropogénicas sobre la morfología de las especies de las comunidades liquénicas del Distrito de Matucana.</p>	<p>Las actividades antropogénicas tienen un efecto negativo sobre la morfología de las especies de la comunidad liquénica del Distrito de Matucana.</p>			
---	--	---	--	--	--

Anexo 3. Registro fotográfico de líquenes



Figura A0.3. *Hypogymnia heterophylla*.

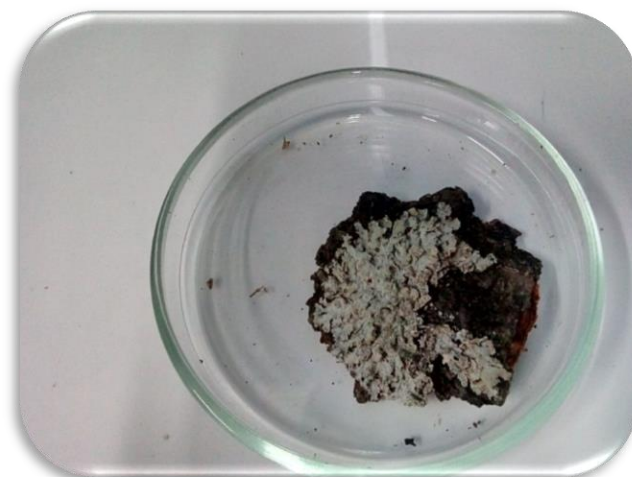


Figura A0.4. *Imshaugia aurelites*.

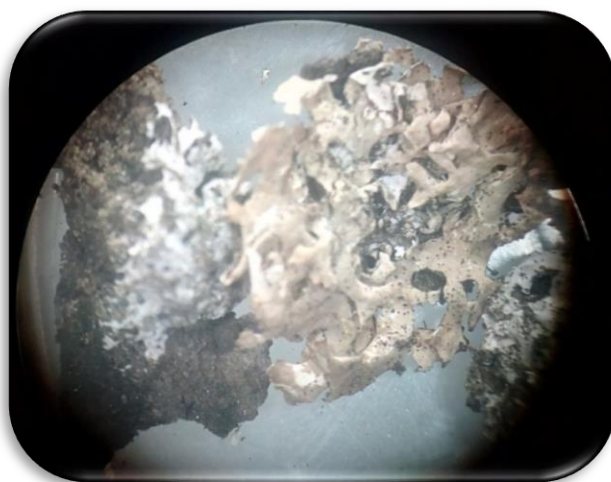


Figura A0.5. *Heterodermia hypoleucca*.



Figura A4. *Heterodermia hypoleuca*.



Figura A5. *Telochistes*.



Figura A6. *Sticta fuliginosa*.



Figura A7. *Sticta fuliginosa*.

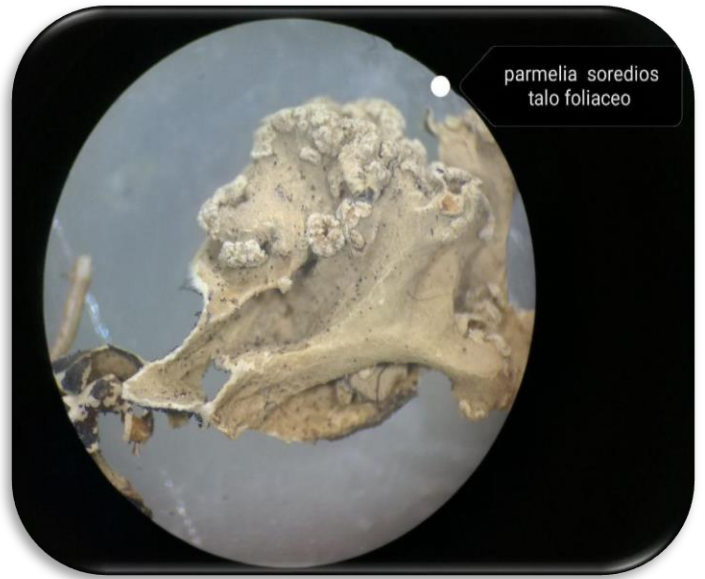


Figura A8. *Parmelia squarrosa*.



Figura A9. *Dycyonema glabratum*.



Figura A10. *Imshaugia aleurites*.

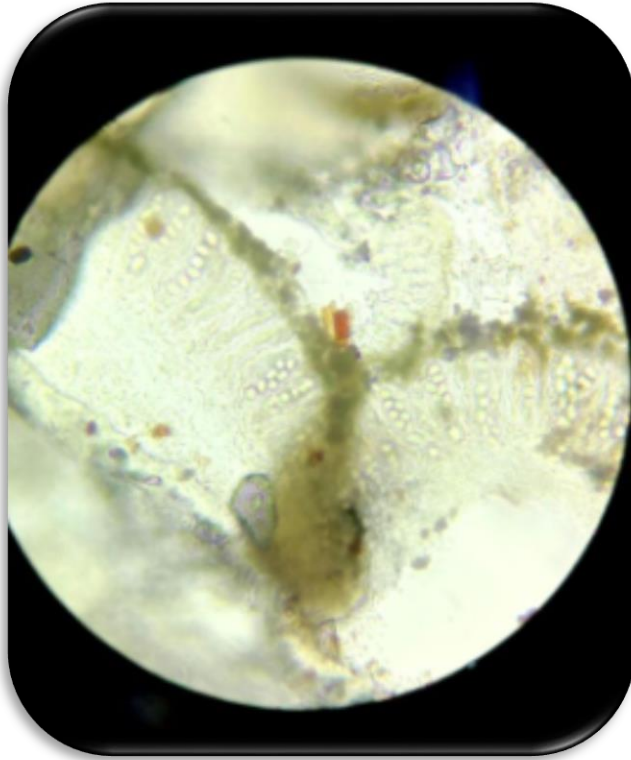


Figura A11. Corte transversal de apotecio en *Imshaugia aleurites*.

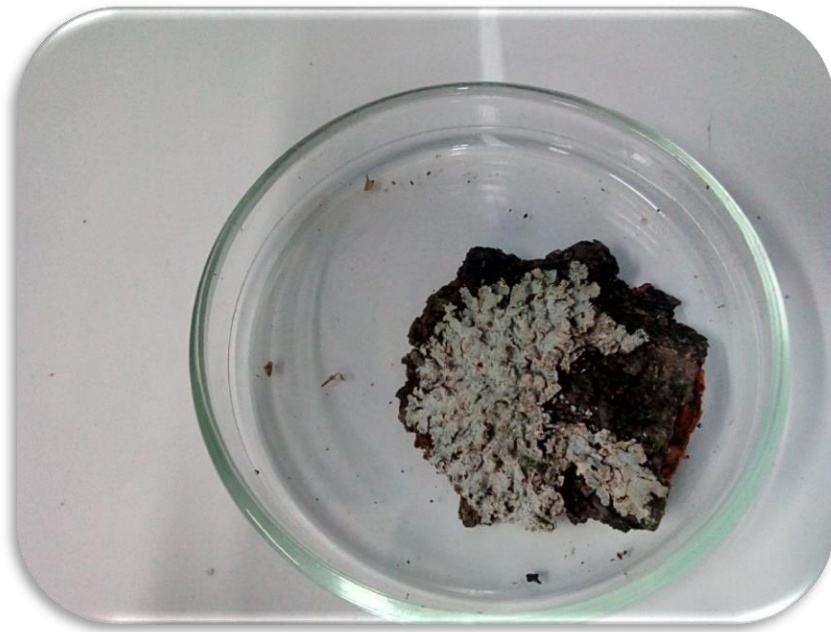


Figura A12. Apotecios en Liquen *Heterodermia*.



Figura A13. *Peltigera canina*.



Figura A14. *Phaeophyscia hispidula*



Figura A15. *Phaeophyscia hispidula* con apotecios.



Figura A16. *Everniopsis trulla* con apotecios.



Figura A17. Pesado de corteza de los forofitos para medir pH.



Figura A18. Agitación de las cortezas para luego medir pH.

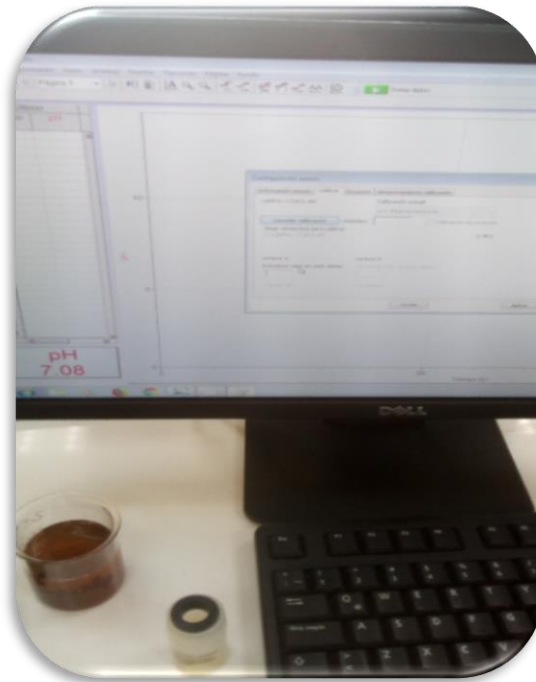


Figura A19. Toma de datos pH . Software logger pro 8.



Figura A20. Corteza de los forofitos



Figura A21. Zona de muestreo Anexo Umazamba.



Figura A22. Camino hacia el anexo Umazamba.



Figura A23. Anexo Maranchanca.

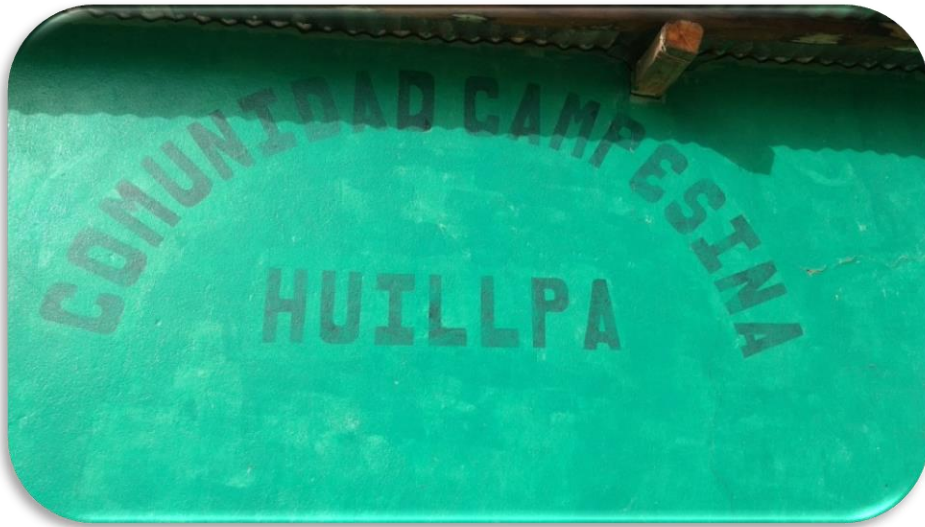


Figura A24. Anexo Huillpa (Comunidad Campesina).



Figura A25. Subida hacia el anexo de Soca.



Figura A26. Frontis de Municipalidad de Matucana.



Figura A27. Ingreso a la Ciudad de Matucana.



Figura A28. Zona de muestreo Maranchanca.



Figura A29. Fotofitos muestreados en el Anexo Maranchanca.



Figura A30. Riel del tren y vagones cargados de material tóxico.



Figura A31. Estudiante del colegio Julio Cesar Tello.

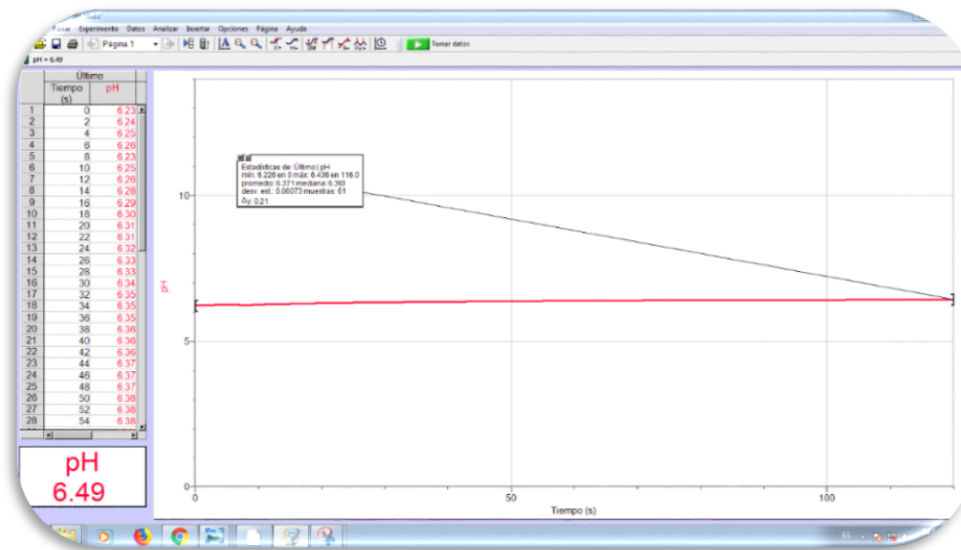


Figura A32. Software Logger pro 8. para obtener los resultados del pH.

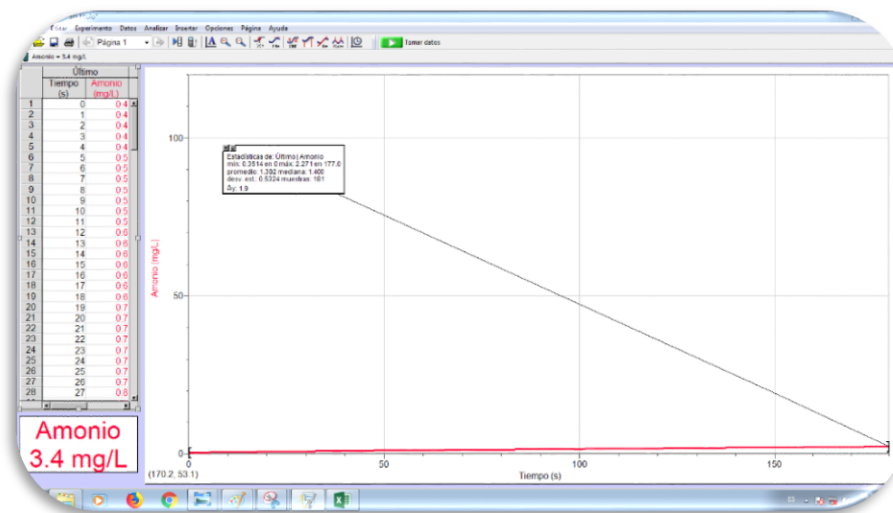


Figura A33. Software Logger pro 8. para obtener los resultados de amonio.