



UNIVERSIDAD ANDINA

NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL



**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE AIRE EMPLEANDO
LÍQUENES COMO BIOINDICADORES EN LA
CIUDAD DE JULIACA 2024**

TESIS PRESENTADA POR:

Bach. NADIA JULISA FIGUEROA QUISPE

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO SANITARIO Y AMBIENTAL**

JULIACA – PERÚ

2025



UNIVERSIDAD ANDINA

NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL

**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE AIRE EMPLEANDO
LÍQUENES COMO BIOINDICADORES EN LA
CIUDAD DE JULIACA 2024**

TESIS PRESENTADA POR:

Bach. NADIA JULISA FIGUEROA QUISPE

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO SANITARIO Y AMBIENTAL**

APROBADA POR EL JURADO REVISOR:

PRESIDENTE

:

Dr. OSCAR VICENTE VIAMONTE CALLA

PRIMER MIEMBRO

:

Mgtr. FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES

SEGUNDO MIEMBRO

:

Mgtr. WILFREDO DAVID SUPO PACORI

ASESOR DE TESIS

:

M.Sc. JESÚS ESTEBAN CASTILLO MACHACA

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

CONTAMINACIÓN Y CALIDAD AMBIENTAL – P22

**UNIVERSIDAD ANDINA**
"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"**RESOLUCIÓN DECANAL N° 1448-2025-D-UI-FICP-UANCV**

Juliaca, 04 de noviembre del 2025

VISTO: El expediente N° 2025 - CU - 10125 presentado por el (la) Bachiller: **NADIA JULISA FIGUEROA QUISPE** estudiante de la Escuela Profesional de **Ingeniería Sanitaria y Ambiental** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras quien solicita **NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN**.

CONSIDERANDO:

Que, el (la) Bach. **NADIA JULISA FIGUEROA QUISPE**, quien solicita **NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN** de la Tesis Titulada: **EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE AIRE EMPLEANDO LÍQUENES COMO BIOINDICADORES EN LA CIUDAD DE JULIACA 2024**, la misma que pertenece a la línea de investigación **CONTAMINACIÓN Y CALIDAD AMBIENTAL** para optar el Título Profesional de **Ingeniero Sanitario y Ambiental**.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos mediante Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en concordancia con el dictamen de similitud.

De conformidad al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en merito al Art. 24, Art. 28 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO. - **APROBAR**, la **NOMINACIÓN DE JURADOS** integrado por los siguientes docentes:

- * **Presidente** : Dr. OSCAR VICENTE VIAMONTE CALLA
- * **1er Miembro** : Mgtr. FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES
- * **2do Miembro** : Mgtr. WILFREDO DAVID SUPO PACORI

ARTICULO SEGUNDO. - **RECONOCER** como asesor de la investigación (tesis) de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras al (a la) docente, **M.Sc. JESÚS ESTEBAN CASTILLO MACHACA**.

ARTICULO TERCERO. - **APROBAR**, la **FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS** de él (la) bachiller: **NADIA JULISA FIGUEROA QUISPE**; del informe final de la investigación (tesis) titulada: **EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE AIRE EMPLEANDO LÍQUENES COMO BIOINDICADORES EN LA CIUDAD DE JULIACA 2024** para optar el Título Profesional de **Ingeniero Sanitario y Ambiental**. de acuerdo al siguiente detalle:

- * **FECHA** : miércoles 12 de noviembre del 2025
- * **HORA** : 11:00 horas
- * **LUGAR** : Aula 306 - FICP

ARTÍCULO CUARTO. - **DISPONER** que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de **Ingeniería Sanitaria y Ambiental** quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.

UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

Dr. OSCAR V. VIAMONTE CALLA

UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
Dr. Fritz Willy Mamani Apaza
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

**RESOLUCIÓN DECANAL N° 340-2025-D-UI-FICP-UANCV**

Juliaca, 23 de mayo del 2025

VISTO: El expediente N° 2025-CU - 2298 por el señor (a): **NADIA JULISA FIGUEROA QUISPE** quien solicita **REVISIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (borrador de tesis)**, el PROVEIDO - N° 227 - 2025-UI-FICP-UANCV/J, y la **FICHA DE OPINIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS)** formato N° 005 - 2025 del integrante del comité de investigación **EPISA** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, según al reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos.

CONSIDERANDO:

Que, el señor (a): **NADIA JULISA FIGUEROA QUISPE**, ha presentado su informe final de la investigación (borrador de tesis) Titulado: **EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE AIRE EMPLEANDO LÍQUENES COMO BIOINDICADORES EN LA CIUDAD DE JULIACA 2024**, para optar el Título Profesional de **Ingeniero Sanitario y Ambiental**.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales; el integrante del comité de investigación **MSc. Jesus Esteban Castillo Machaca** de la Escuela Profesional de **Ingeniería Sanitaria y Ambiental** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, emitió la ficha de opinión del informe final de la investigación (borrador de tesis) formato N° 005 - 2025 **aprobando** el informe final de la investigación (borrador de tesis) titulado: **EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE AIRE EMPLEANDO LÍQUENES COMO BIOINDICADORES EN LA CIUDAD DE JULIACA 2024**, Correspondiente a la línea de investigación **CONTAMINACION Y CALIDAD AMBIENTAL**.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el reglamento interno de trabajos de investigación conducentes a grados y títulos mediante Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y estando a la opinión favorable del comité de investigación respecto al informe final de la investigación (borrador de tesis).

Estando, con la opinión favorable del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y en concordancia al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en merito al Art. 27 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR, el **INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS)**, para la **REVISIÓN DE SIMILITUD TURNITIN**, presentado por el señor (a): **NADIA JULISA FIGUEROA QUISPE**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Sanitario y Ambiental, con el Tema Titulado: **EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE AIRE EMPLEANDO LÍQUENES COMO BIOINDICADORES EN LA CIUDAD DE JULIACA 2024** correspondiente a la línea de investigación **CONTAMINACION Y CALIDAD AMBIENTAL**, en virtud a los considerandos expuestos.

ARTÍCULO SEGUNDO.- RATIFICAR como **ASESOR DE INVESTIGACIÓN** al (a) la), **M.Sc. JESÚS ESTEBAN CASTILLO MACHACA**.

ARTÍCULO TERCERO.- DISPONER que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de **Ingeniería Sanitaria y Ambiental** quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.

UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y Cs. PURASDr. OSCAR V. VAMONTE CALLA
DECANO (e)
CIP. 32730UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
Dr. Fritz Willy Mamani Apaza
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

**RESOLUCIÓN DECANAL N° 377-2024-D-UI-FICP-UANCV**

Juliaca, 05 de junio del 2024

VISTO: El expediente N° 2024-CU- 2818, presentado el o (la) Bachiller **NADIA JULISA FIGUEROA QUISPE** solicitando **APROBACIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN** el **PROVEIDO - N° 183 -2024-UI-FICP-UANCV/J**, y la **FICHA DE OPINIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN** formato N° 048-2024 del integrante del comité de investigación **EPISA** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, según al reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos.

CONSIDERANDO:

Que, el o (la) Bachiller: **NADIA JULISA FIGUEROA QUISPE** ha presentado su propuesta de investigación Titulado: **EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE AIRE EMPLEANDO LÍQUENES COMO BIOINDICADORES EN LA CIUDAD DE JULIACA 2024**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Sanitario y Ambiental.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales; el integrante del comité de investigación **Mgtr. Franz Joseph Barahona Perales** de la Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, emitió la ficha de opinión de la propuesta de investigación formato N° 048-2024- aprobando la propuesta de investigación titulado: **EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE AIRE EMPLEANDO LÍQUENES COMO BIOINDICADORES EN LA CIUDAD DE JULIACA 2024**.

Que, es requisito indispensable contar con un asesor docente ordinario y/o contratado de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras con un mínimo de cinco años de docencia, grado de doctor o magister y experiencia en la línea a investigar, o deberá estar acreditado por Resolución 0989-2022-UANCV-CU-R, quien asumirá como asesor de la propuesta de investigación, según el área o grado.

Estando, con la opinión favorable de la propuesta de investigación del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y en concordancia al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R y en mérito al Art. 25 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR, la **PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN**, presentado por el o (la) Bachiller: **NADIA JULISA FIGUEROA QUISPE**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Sanitario y Ambiental, con el Tema Titulado: **EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE AIRE EMPLEANDO LÍQUENES COMO BIOINDICADORES EN LA CIUDAD DE JULIACA 2024** correspondiente a la línea de investigación **CONTAMINACIÓN Y CALIDAD AMBIENTAL**.

La misma que deberá proceder con la ejecución de la propuesta de Investigación aprobado de acuerdo a lo establecido en el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales.

ARTÍCULO SEGUNDO.- RECONOCER como **ASESOR DE INVESTIGACIÓN** de al (a la) docente **M.Sc. JESÚS ESTEBAN CASTILLO MACHACA**.

ARTÍCULO TERCERO.- DISPONER que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.

UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y Cs. PURASDR. MILTON QUISPE HUANCA
DECANO
CIP. 47790UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y Cs. PURASDR. Efraín Parillo Sosa
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



NADIA JULISA FIGUEROA QUISPE

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE AIRE EMPLEANDO LÍQUENES COMO BIOINDICADORES EN LA CIUDAD DE JULI...

 Trabajos de tesis para ingreso a repositorio

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::13016:597778812

Fecha de entrega

5 jun 2026, 23:05 GMT-5

Fecha de descarga

6 jun 2026, 10:28 GMT-5

Nombre del archivo

T036_73233670_T.docx

Tamaño del archivo

43.9 MB

118 páginas

10.582 palabras

56.507 caracteres



TESIS UANCV

16% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

- 14%  Fuentes de Internet
- 4%  Publicaciones
- 10%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

**Metadatos complementarios - UANCV**

Título de la tesis	
EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE AIRE EMPLEANDO LÍQUENES COMO BIOINDICADORES EN LA CIUDAD DE JULIACA 2024	
Datos de autor	
Nombres y apellidos	NADIA JULISA FIGUEROA QUISPE
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	73233670
URL de ORCID	https://orcid.org/0009-0000-9219-1729
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	JESÚS ESTEBAN CASTILLO MACHACA
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	01323821
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0003-4595-7589
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	OSCAR VICENTE VIAMONTE CALLA
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02371550
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02442876
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	WILFREDO DAVID SUPO PACORI
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02428673



Datos de investigación	
Línea de investigación	Contaminación y calidad ambiental – P22
Grupo de investigación	No aplica
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento
Ubicación geográfica de la investigación	País: Perú Departamento: Puno Provincia: San Román Distrito: Juliaca Coordenadas: Latitud: -15.493231 Longitud: -70.135618  https://maps.app.goo.gl/rK32NxnVPYhh9CZv5
Año o rango de años en que se realizó la investigación	julio 2024 - diciembre 2024
URL de disciplinas OCDE	Ingeniería Ambiental https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.07.00 Ciencias del medio ambiente https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.05.08
- Librería	



UNIVERSIDAD ANDINA "MORICUAY" DEL CUSCO
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN
Dr. Prita Willy Mamani Apaza
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD

Yo, NADIA JULISA FIGUEROA QUISPE..... identificado con DNI Nro. 73233670
en mi condición de egresado de:

☒ Escuela Profesional

☐ Programa de Segunda Especialidad,

☐ Programa de Maestría o Doctorado

INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL

informo que he elaborado el/la ☒ Tesis o ☐ Trabajo de Investigación, ☐ Trabajo Académico
denominada:

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE AIRE EMPLEANDO LÍQUENES COMO
BIOINDICADORES EN LA CIUDAD DE JULIACA 2024

Asesorado por: M.Sc. JESÚS ESTEBAN CASTILLO MACHACA

Es un tema original.

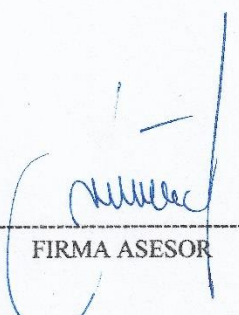
Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumo frente a terceros, la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Juliaca 07 de MAYO del 2026


FIRMA ASESOR


FIRMA TESISTA



Huella



DEDICATORIA

Primeramente, a Dios por darme fortaleza y nunca desampararme, a mi madre Gladys Ines por su apoyo absoluto, a mis hermanos Diego y Diana, a mi padre Marco Antonio y a Bangtan por inspirarme con sus canciones.

A mis seres queridos y amigos por estar a mi lado en cada etapa de mi desarrollo como profesional.

Nadia Julisa Figueroa Quispe.



AGRADECIMIENTO

A Dios por nunca desampararme, a mi casa de estudios Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez, a la Facultad de Ingeniería y Ciencias Puras, y la Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental por permitir mi desarrollo profesional.

A todos los educadores de la Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental por transmitir su conocimiento, enseñanzas y apoyarme en mi desarrollo como profesional, quienes guiaron el desarrollo de este trabajo de investigación, supieron orientarme de forma correcta y a todos los que contribuyeron en la elaboración del presente trabajo de investigación.

Nadia Julisa Figueroa Quispe.



ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	ii
ÍNDICE DE CONTENIDO	iii
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
ÍNDICE DE TABLAS	viii
RESUMEN	ix
ABSTRACT	x
INTRODUCCIÓN	xi

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Análisis de la situación problemática	13
1.2. Planteamiento del problema	14
1.2.1. Problema General	14
1.2.2. Problemas específicos	14
1.3. Objetivos de la investigación	15
1.3.1. Objetivo General	15
1.3.2. Objetivos Específicos	15
1.4. Justificación del estudio	15
1.5. Hipótesis	16
1.5.1. Hipótesis General	16



1.6. Variables.....	16
---------------------	----

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación	17
2.1.1. Antecedentes internacionales.....	17
2.1.2. Antecedentes nacionales.....	19
2.1.3. Antecedentes locales.....	21
2.2. Marco Teórico.....	21
2.2.1. Calidad del aire	21
2.2.2. Aire	22
2.2.3. Contaminación del Aire.....	23
2.2.4. Líquenes	23
2.2.5. Clasificación de líquenes	24
2.2.6. Ventajas del uso de bioindicadores	25
2.2.7. Líquenes como bioindicadores de la calidad del aire	26
2.2.8. Sensibilidad de líquenes a la contaminación del aire	26
2.2.9. Índice de Pureza Ambiental.....	27
2.2.10. Diversidad de líquenes	27

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Diseño de investigación.....	33
-----------------------------------	----



3.2. Tipo de Investigación.....	33
3.3. Enfoque de investigación.....	33
3.4. Nivel de investigación	33
3.5. Materiales y equipos.....	34
3.6. Zona de estudio	34
3.7. Población.....	35
3.8. Muestra.....	35

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados	41
4.1.1.Determinar la diversidad de las especies de líquenes presentes en la ciudad de Juliaca	41
4.1.2.Determinar las zonas de estudio para la evaluación de la calidad del aire en la ciudad de Juliaca.....	44
4.1.3.Aplicar el método del Índice de Pureza Ambiental en las zonas de estudio de la ciudad de Juliaca.....	48
4.2. Discusiones	56
CONCLUSIONES	58
RECOMENDACIONES.....	59
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	60
ANEXOS.....	66



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Especie de liquen Chrysothrix sp.2	29
Figura 2. Especie de liquen Talo crustoso granular Lepraria sp.....	30
Figura 3. Ubicación de las zonas	34
Figura 4. Especie Chrysothrix en la zona 2	37
Figura 5. <i>Método de la rejilla en árboles</i>	38
Figura 6. Zona 1 Parque Grau.....	45
Figura 7. Zona 2 Avenida Circunvalación.....	46
Figura 8. Zona 3 Hospital Carlos Monge Medrano.....	47
Figura 9. Resultado IPA de la Zona 1	50
Figura 10. Resultado IPA de la Zona 2	52
Figura 11. Resultado IPA de la Zona 3	55
Figura 12. Zona 1 Parque Grau.....	94
Figura 13. Zona 2 Av. Circunvalación Este	94
Figura 14. Zona 3. Hospital Carlos Monge Medrano	95
Figura 15. Zona 1 Parque Grau, especie Chrysothrix sp2	95
Figura 16. Zona 1 – Forofito 2.....	96
Figura 17. Zona 1 – Forofito 3.....	96
Figura 18. Zona 1 – Forofito 4.....	97
Figura 19. Zona 1 – Forofito 5.....	97
Figura 20. Zona 1 – Forofito 6.....	98
Figura 21. Zona 2 – Forofito 1.....	98
Figura 22. Zona 2 – Forofito 2.....	99
Figura 23. Zona 2 – Forofito 3.....	99



Figura 24. Zona 2 – Forofito 4	100
Figura 25. Zona 2 – Forofito 5	100
Figura 26. Zona 2 – Forofito 6	101
Figura 27. Zona 3 – Forofito 1	101
Figura 28. Zona 3 – Forofito 2	102
Figura 29. Zona 3 – Forofito 3	102
Figura 30. Zona 3 – Forofito 4	103
Figura 31. Zona 3 – Forofito 5	103
Figura 32. Zona 3 – Forofito 6	104



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de Variables	16
Tabla 2. Zonas de estudio	35
Tabla 3. Clasificación de niveles de contaminación.....	39
Tabla 4. Especies presentes en la zona 1	41
Tabla 5. Especies presentes en la zona 2	42
Tabla 6. Especies presentes en la zona 3	43
Tabla 7. Identificación de líquenes en la Zona 1 – Parque Grau	48
Tabla 8. Resultados del Cálculo del Índice de pureza ambiental (IPA) en cada árbol en la zona 1 perteneciente a Parque Grau.....	49
Tabla 9. Identificación de líquenes en la Zona 2 – Av. Circunvalación Este	51
Tabla 10. Resultados del Cálculo del Índice de pureza ambiental (IPA) en cada árbol en la zona 2 perteneciente a la Av. Circunvalación Este.	51
Tabla 11. Identificación de líquenes en la Zona 3 – Av. Perú Hospital Carlos Monge Medrano	53
Tabla 12. Resultados del Cálculo del Índice de pureza ambiental (IPA) en cada árbol en la zona 3 perteneciente a la Av. Perú – Hospital Carlos Monge Medrano	54



RESUMEN

El estudio presentó como objetivo evaluar la calidad del aire empleando líquenes como bioindicadores en la ciudad de Juliaca. El estudio es de diseño no experimental de tipo de estudio no descriptivo. Donde aplicó el Índice de Pureza Ambiental o atmosférico y el método de la rejilla para identificar la calidad del aire en la ciudad de Juliaca, empleando tres zonas de muestreo identificadas como zona 1 Parque Grau, Zona 2 Av. Circunvalación Este, Zona 3 Av. Perú Hospital Carlos Monge Medrano. En el resultado se encontró 4 especies de líquenes identificados a través de la Guía de Diversidad de líquenes en el Anexo Tuctumpaya, Distrito de Pocsi, Arequipa, Perú, donde se identificaron las especies de *Chrysothrix* sp.2, *Lepraria* sp.1 y *Candelaria* concolor. Siendo *Chrysothrix* sp.2 el de mayor abundancia en 2 zonas. Se determinó el índice de Pureza Ambiental (IPA), en la zona 1 Parque Grau en promedio obtuvo un resultado de 1.60, así como una contaminación ALTA, en la zona 2 presento un resultado de 0.97 lo que se considera una contaminación MUY ALTA y la zona 3 presentó un resultado de 3.10 considerándose una contaminación MUY ALTA. Concluyendo así que la zona 2 perteneciente a la Av. Circunvalación presenta el mayor nivel de contaminación esto coincide con la congestión vehicular que existe en la zona

Palabras claves: Líquenes, bioindicadores, Calidad del aire, índice de pureza ambiental.



ABSTRACT

The study aimed to evaluate air quality using lichens as bioindicators in the city of Juliaca. The study is a non-experimental, non-descriptive study. It applied the Environmental or Atmospheric Purity Index and the grid method to identify air quality in the city of Juliaca, using three sampling areas identified as Area 1 Parque Grau, Area 2 Av. Circunvalación Este, and Area 3 Av. Perú Hospital Carlos Monge Medrano. The results found four species of lichens identified through the Lichen Diversity Guide in the Tuctumpaya Annex, Pocsi District, Arequipa, Peru, where the species *Chrysothrix* sp.2, *Lepraria* sp.1, and *Candelaria concolor* were identified. *Chrysothrix* sp.2 was the most abundant in two zones. The Environmental Purity Index (EPI) was determined. Zone 1, Parque Grau, obtained an average result of 1.60, as well as HIGH pollution. Zone 2 presented a result of 0.97, which is considered VERY HIGH pollution, and zone 3 presented a result of 3.10, also considered VERY HIGH pollution. It was thus concluded that zone 2, belonging to Circunvalación Avenue, has the highest level of pollution, which coincides with the traffic congestion that exists in the area.

Keywords: Lichens, bioindicators, air quality, Environmental Purity Index



INTRODUCCIÓN

A nivel mundial la población en su 92% habita en zonas donde sobrepasa los niveles máximos de contaminación atmosférica que se permiten por la Organización Mundial de Salud, de tal forma señala que casi el 90% de fallecimientos que tiene relación con la contaminación del aire es generado en países donde presentan una economía baja, y mayormente dos de tres suceden en las regiones del Sudeste Asiático y del Pacífico Oriental (Organización Mundial de Salud, 2016).

La polución del aire representa una dañina modificación de la calidad del aire, causada por emisiones naturales, elementos biológicos y químicos que se hallan en la atmósfera en superiores concentraciones a las habituales, originadas tanto por factores naturales como en su mayoría por actividades humanas (Torres, 2019)

Los bioindicadores son organismos que tiene respuesta a la contaminación ambiental con modificaciones en su apariencia o en la acumulación de contaminantes, así también existen diversos tipos de bioindicadores, como los biomonitores, el cual su respuesta fisiológica el cual permite cuantificar la contaminación. Una especie que es indicadora debe poseer una tolerancia baja y sensibilidad alta a cambios del medio ambiente, posterior a exponerse a contaminantes presentando deterioros fisiológicos y posterior a ellos cambios morfológicos hasta llegar en ocasiones a desaparición de algunas especies en el ecosistema (Jimenez, 2018).

Los líquenes son considerados organismos altamente sensibles frente a condiciones del ambiente, los que cumplen la función de verificar las alteraciones



en el ambiente, entre ellos existe el Índice de Pureza Ambiental, el que tiene como objetivo calcular la calidad del aire utilizando los líquenes (Palomino, 2020).

La investigación se conforma por cuatro capítulos: El capítulo I está conformado por el planteamiento del problema de investigación: Introducción, problema, antecedentes y objetivo. El capítulo II conformado por la revisión bibliográfica, planteamiento de la hipótesis. El capítulo III se conforma por la metodología de investigación, zona de estudio, población y muestra, tipo de investigación y diseño de investigación. El capítulo IV se conforma por el análisis de resultados, conclusiones y recomendaciones



CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Análisis de la situación problemática

Perú tiene una de las más bajas en la calidad de aire en toda Latinoamérica, conforme al informe World Air Quality Report 2021, ubicando en el puesto 26 de 117, Chile ubicándose en el puesto 40, México en el puesto 51, Colombia el puesto 72, Brasil en el puesto 75, entre otros. Dicho estudio examinó la calidad del aire en 117 países y 6,475 ciudades a nivel mundial mediante la existencia de material particulado (Asociación Automotriz del Perú, 2021).

Aunque los métodos físico-químicos para medir contaminantes son importantes, no pueden ofrecer conclusiones sobre cómo las concentraciones de estos contaminantes afectan a los organismos vivos. Para eso, se emplean los bioindicadores, los cuales aportan a los procedimientos fisicoquímicos y proporcionan datos acerca del impacto de la contaminación en los organismos. Las plantas, también de diversos seres vivos, reaccionan en distintas formas a estímulos externos como contaminantes atmosféricos, son de importancia como

indicadores de la actividad biológica de contaminantes además de tener sensibilidad, proporcionan respuestas relevantes a contaminantes atmosféricos.

La ciudad de Juliaca respecto a la contaminación atmosférica es apreciable por la consecuencia de los gases del parque automotor, industrias (que son liberados a la atmósfera como partículas sólidas, vapor o gases), aparatos domésticos (Chuquija, 2021). Las condiciones actuales del parque automotor en la ciudad de Juliaca según el Ministerio de Transporte y Comunicaciones en el año 2012 se conforma por automóviles de carga en un 57%, camionetas pick – up en un 16%, camionetas rurales en un 12% , camiones en un 9% y finalmente vehículos menores (ómnibus, remolcadores, etc.) en un 6%; concentrados especialmente en la zona urbana de la ciudad de Juliaca, frente a este crecimiento vertiginoso del parque automotor en un contexto local, la ciudad de Juliaca enfrenta como problemática central la contaminación del aire, las partículas que los vehículos motorizados emiten al aire son altamente contaminantes (Labra et al., 2020). Por lo cual se plantea el estudio presente para evaluar la contaminación del aire mediante el comportamiento de líquenes que serán identificados en 3 zonas de la ciudad de Juliaca.

1.2. Planteamiento del problema

1.2.1. Problema General

¿Cuál será la calidad del aire empleando líquenes como bioindicadores en la ciudad de Juliaca, 2024?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cuál es la diversidad de líquenes presentes en la ciudad de Juliaca?

- ¿Cuáles son las zonas de estudio para la evaluación de la calidad del aire en la ciudad de Juliaca?
- ¿Cuál es el nivel de calidad del aire en las zonas de estudio de la ciudad de Juliaca, según los valores obtenidos mediante la aplicación del Índice de Pureza Ambiental?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo General

Evaluar la calidad del aire empleando líquenes como bioindicadores en la ciudad de Juliaca, 2024

1.3.2. Objetivos Específicos

- Determinar la diversidad de las especies de líquenes presentes en la ciudad de Juliaca.
- Determinar las zonas de estudio para la evaluación de la calidad del aire en la ciudad de Juliaca.
- Aplicar el método del Índice de Pureza Ambiental en las zonas de estudio de la ciudad de Juliaca.

1.4. Justificación del estudio

El bioindicador es un organismo que reacciona almacenando o modificando las funciones vitales debido a la contaminación por nocivas sustancias, lo que, proporciona información acerca del medio en donde se hallan. Se propone el empleo de líquenes como indicador de la contaminación, conforme a la abundancia y frecuencia de especies de líquenes que se encuentran en los árboles de las zonas de estudio individuales. Asimismo, podemos proporcionar nuevas opciones para monitorear la calidad del aire a un precio más reducido,

este estudio además aporta por la información que proporcionará para compartir con futuros investigadores que ansían realizar estudios con relación a los bioindicadores de la calidad del aire, a razón de que los estudios son mínimas con respecto a la ciudad de Juliaca sobre el uso de líquenes como bioindicadores.

1.5. Hipótesis

1.5.1. Hipótesis General

La calidad del aire mediante el uso de líquenes como bioindicadores, es muy alta en la ciudad de Juliaca, 2024

1.6. Variables

Tabla 1.

Operacionalización de Variables

Variables	Indicador	Valor final	Tipo de valor
Variable de interés Calidad del aire	Índice de Pureza Ambiental	Muy alta	Categórica ordinal
		Alta	Categórica ordinal
		Moderado	Categórica ordinal
		Baja	Categórica ordinal
		Muy baja	Categórica ordinal
Variable de caracterización Líquenes como bioindicadores	Frecuencia de especies	Sumatoria de presencia	Categoría nominal
	Presencia de especies	Número de especies en la zona	Categoría nominal
	Morfología	Color	Categoría nominal
		Tipo	Categoría nominal
		Tamaño	Categoría nominal



CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedentes internacionales

García & Pineda (2022) en el estudio "Líquenes como bioindicadores para la evaluación de la contaminación del aire por fuentes móviles" que tuvo por objetivo evaluar el nivel de contaminación atmosférica a través de líquenes como bioindicadores en los municipios de Pereira y Dosquebradas. La metodología se basó en tomar 3 áreas de estudio de los 2 municipios estudiando su composición y su diversidad de comunidades de líquenes y un área de control que en esta situación fue en la sierra, trabajando con una reja de relevamiento de líquenes, que se conformó por 10 cuadrículas y categorizó rangos de contaminación de 289.73 a 500.47. En los resultados se evidencia lo relevante de los espacios verdes, encontrando así especies de líquenes como: *Candelaria Concolor*, *Cladonia*, *Subcervicornis* y *Collema Crispum*. En el cálculo del índice de pureza ambiental obtuvo resultados de 411 nivel moderado, 301 nivel máximo, 289 nivel máximo y 500 nivel muy bajo. El estudio concluye evidenciando lo relevante que



son los espacios verdes en las zonas urbanas ya que existe una correlación significativa entre la cantidad de zonas verdes y la variedad de líquenes.

Acevedo & Charry (2018) en el estudio denominado "Líquenes como bioindicadores de la calidad de aire", que tiene como objetivo evaluar la calidad del aire usando líquenes como bioindicadores en el sur de Cali. En la metodología trabajó con una rejilla de 10 divisiones, posterior a ello empleó el cálculo IPA donde obtuvo la tabla de frecuencias para las especies presentes en cada inventario. En los resultados indica las siguientes especies encontradas: *Arthoniaceae*, *Bacidiaceae*, *Candelariaceae*, *Usneaceae*, *Parmeliaceae*, *Pertusariaceae*, *Physciaceae*. En el resultado del IPA presentó rangos de 9.7, 23.0, 25.8 y 40.9. Concluyendo así que el implemento de líquenes como bioindicadores es una excelente alternativa para el estudio de la calidad del aire, pues ellos dan una respuesta mediante conductas como alteración en la morfología, así también en la distribución y abundancia.

Figuerroa (2017) en el estudio "Comparación histórica de calidad del aire del Sector Las Ferias - Bogotá D.C. por medio de indicadores biológicos (Líquenes)". El propósito de esta investigación fue reconocer los líquenes en el área de Ferias que se encuentra cerca de la estación de control de la calidad del aire, abarcando un perímetro de 500 metros. En la metodología se empleó una cuadrícula de 50 x 20 cm, dividido en 10 cuadros y se planteó hacer una comparación histórica de calidad de aire de la zona. En los resultados se identificó especies como *Candelaria concolor*, *Physcia undulata*, el valor de IPA obtenido fue de 0.382 en el año 2015 y en el año 2017 fue de 0.35. Concluyendo así que el área en estudio tuvo una clasificación de contaminación máxima en



los 2 periodos, indicando así que la ciudad de Bogotá no se encuentra en un adecuado ambiente.

Pardo (2017) en el estudio titulado "Líquenes como bioindicadores de la calidad de aire". La finalidad del tema en estudio es la relevancia de los líquenes como bioindicadores de la calidad del aire, así como su ventaja en estudios de biomonitorización. En la metodología se trabajó en la búsqueda bibliográfica con la finalidad de identificar lo importante que son los líquenes como bioindicadores de la calidad del aire, así también su empleo en estudios ambientales. En los resultados se mostraron las especies de líquenes *Physcia adscendens*, *Hyperphyscia adglutinata* y *Phaeophyscia hirsuta*. El índice de pureza atmosférico identificado fue de 3.716 siendo este una contaminación alta. Las conclusiones sugieren que la casi total falta de líquenes podría estar relacionada con una pobre calidad del aire, ocasionada por el tránsito de automóviles, la existencia de vías estrechas y la carencia de espacios verdes.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Palomino (2020) en la investigación denominada "Evaluación de la calidad del aire mediante líquenes como bioindicadores ambientales en la ciudad de Ilo, 2020" Con la finalidad de evaluar la calidad del aire con bioindicadores empleando el índice de pureza ambiental. El método empleado fue el de la rejilla seleccionando árboles de corteza rugosa para la identificación de líquenes. En los hallazgos se reconocieron líquenes pertenecientes a los géneros *Chrysothrix* sp. 1, *Chrysothrix* sp. 2, *Caloplaca* sp. 1 y *Lepraria* sp. 1, determinados por sus características morfológicas observadas a simple vista y respaldados por fuentes bibliográficas. En el Índice de Pureza Atmosférica, la zona de Alto Ilo presentó



un resultado de 9.12, lo que indica un nivel moderado de pureza, mientras que el área de Urbanización Garibaldi recibió una puntuación de 0.77, indicando un nivel elevado de contaminación. Esto lleva a concluir que la Urbanización Garibaldi es la zona con el mayor grado de contaminación.

Torres (2019) en el estudio denominado "Líquenes: Los bioindicadores de la calidad del aire", que tuvo como finalidad identificar los líquenes de manera bibliográfica en la ciudad de Chachapoyas. Siendo así encontrado los líquenes crustáceos, liquen folioso y liquen fruticuloso, así también indica que los líquenes se registran por ser confiables biomonitores de consecuencias de la contaminación atmosférica, a razón que poseen particularidades propias muy sensitivos a las variaciones ambientales. Concluye que el empleo de los bioindicadores liquénicos complementa a los procesos fisicoquímicos, pues contribuyen datos en el transcurso del tiempo en el que el organismo que se encuentra en exposición, así también las mediciones fisicoquímicas identifican las situaciones ambientales en el transcurso del muestreo.

Bringas & Ambrosio (2017) en el estudio titulado "Evaluación de líquenes como bioindicadores de contaminación atmosférica de origen vehicular en tres zonas del distrito de Cajamarca en el año 2017" donde tuvo de objetivo evaluar el empleo de líquenes para determinar la contaminación atmosférica que proviene del transporte en 3 áreas del distrito de Cajamarca. En el enfoque utilizado se tomaron como medidas la cantidad y variedad de líquenes, información que se recolectó mediante una rejilla de 10 por 50 cm dividida en 20 cuadrantes. En los resultados se hallaron especies como: *Parmelia caperata*, *Candelaria concolor* y *Physcia estellaris*, respecto al IPA se identificó un



resultado de 13.8 siendo una contaminación moderada. Finalizando el estudio, se presenta prueba de que los líquenes, como bioindicadores, son alternativas más económicas para vigilar los gases contaminantes generados por los vehículos.

2.1.3. Antecedentes locales

Villamar (2018) en la investigación titulada "Evaluación de la calidad del aire mediante el Índice de Pureza Ambiental y el análisis de metales pesados en el liquen *Xanthoparmelia sp. (Vain.) Hale* en la ciudad de Puno", que presenta como objetivo evaluar la calidad del aire mediante el Índice de Pureza Ambiental en distintos puntos de la ciudad de Puno. En los resultados indica que la calidad del aire guarda relación con la diversidad Liquélica, así mismo se identificaron los líquenes *Chysotrichaceae candelaris*, *Candelariella vitellina*, *Candelaria concolor*, *Lepraria incana*, *Anthornia sp.*, *Lecidea sp.* y *Rinodina sp.* Así mismo en el IPA se identificó un resultado de 47.16 siendo esta una contaminación muy alta. Concluyendo así que la calidad del aire en la ciudad de Puno guarda relación con la diversidad líquénica.

2.2. Marco Teórico

2.2.1. Calidad del aire

Se describe la calidad del aire como el nivel en que el aire está libre de contaminantes. Estas sustancias pueden ser resultado de emisiones naturales o de acciones humanas, que, por sí mismas o a través de reacciones fisicoquímicas, afectan la salud, alteran el funcionamiento de los ecosistemas y contribuyen al deterioro de los materiales. Así mismo la calidad del aire viene a ser un indicio de que el aire se encuentre libre de contaminantes y así mismo



adecuado para respirar, no contar con un espacio con aire de calidad es una problemática que involucra peligro y deterioro. La composición del aire que respiramos es extremadamente complicada y comprende cerca de mil sustancias químicas distintas. El nitrógeno, el oxígeno y el hidrógeno son los importantes componentes del aire. La vida no sería posible en la Tierra sin estas tres sustancias, los componentes del aire determinan su calidad. Los factores clave que afectan a la calidad del aire son la presencia o no de distintos compuestos, así como sus concentraciones. En consecuencia, la calidad del aire puede describirse por la cantidad o grado de magnitud de los contaminantes, la existencia de microorganismos o las características reales del aire (Ministerio del Ambiente, 2021).

2.2.2. Aire

Una combinación de varios gases que son a la vez un recurso valioso y un requisito para la vida. Mientras que las impurezas pueden dar al aire un toque de color u olor, el aire limpio es totalmente indetectable e inodoro. Los seres humanos necesitan una enorme cantidad de aire sólo para sobrevivir, por lo que no se puede subestimar el valor del aire limpio como recurso. Los adultos toman entre 10 y 20 metros cúbicos de aire al día, indicando, unas 20.000 respiraciones, la mayor parte de la atmósfera de la Tierra se constituye por aire. Aunque la atmósfera tiene casi 1.000 kilómetros de espesor, la mayor parte del aire y muchos contaminantes atmosféricos se concentran en los dos kilómetros inferiores. No obstante, la composición del aire no se altera significativamente a razón de que se desplaza por las capas de la atmósfera, su concentración reduce rápidamente a medida que se incrementa. Los gases más significativos en el aire

sin humedad son el dióxido de carbono, argón, oxígeno y nitrógeno, junto con el vapor de agua (García & Pineda, 2022).

2.2.3. Contaminación del Aire

Los compuestos tóxicos creados principalmente por las actividades humanas en los últimos años están presentes en la atmósfera y causan contaminación atmosférica. Para los ecosistemas y los seres vivos que componen nuestro mundo, estos gases y sustancias químicas tienen diversos efectos. Animales, culturas, ciudades, bosques y medios acuáticos se perciben perjudicados por la contaminación atmosférica. La salud y el ambiente, específicamente, padecen múltiples impactos adversos debido a la polución del aire, y tanto el medio ambiente como la salud han recibido recientemente un gran enfoque (National Geographic, 2024).

2.2.4. Líquenes

Los líquenes se constituyen por agrupación de un hongo y alga, la relación que entablan dichos individuos es una simbiosis, lo que significa, una relación donde los dos consiguen un aprovechamiento con esa asociación. El alga efectúa la fotosíntesis, en tanto provee materia orgánica al hongo, el hongo recoge agua y nutrientes minerales del entorno en el que vive, sin importar cuán árido esté, y resguarda al alga de la pérdida de agua. Un liquen puede aparentar un organismo solo, no obstante, en contexto es una entidad complicada constituida por diversos organismos que viven en simbiosis. Existe el principal hongo, que conforma la estructura del liquen y es además la parte que se ve cuando se visualiza un liquen que se desarrolla en una roca o árbol. Además se

encuentran las algas verdes o las cianobacterias, en el propio liquen (Ministerio de Educación España, 2019).

2.2.5. Clasificación de líquenes

Conforme a su forma y morfología de su tallo que se fija al sustrato, se diferencia 6 clases de líquenes:

- **Fruticulosos:** Ubicado en zonas con poca contaminación, unido al sustrato mediante una base de montaje pequeña y con apariencia de arbustos pequeños. Ya sea presentarse de forma cilíndrica, como *Usnea* y *Alectoria*, o tener un aspecto laciniado, como *Cetraria*, *Ramalina* y *Evernia*. Está ubicado en áreas con muy baja contaminación.
- **Foliáceos:** Distribuidos sobre la base y se fijan a ella a través de diversas ricinas, como *Physcia* o *Xanthoria*, o bien con un solo punto de *Dermatocarpon* y *Umbilicaria*. Se encuentran en zonas de contaminación mínima.
- **Escuosos:** Distinguidos por estar compuestos por un conjunto de escamas que están bastante próximas entre sí y poseen un borde que no se conecta con la base.
- **Gelatinosos:** Consigue una consistencia que es al menos suave y maleable cuando está húmeda. En esta condición, pueden llegar a ser semitransparentes.
- **Filamentosos:** Están compuestos por una red de hilos delgados y lanosos, incluidos *Cystocoleus* y *Racodium*. Se localizan en áreas libres de contaminación.



- **Crustáceos:** Son la categoría más grande que reúne las secciones identificadas de los líquenes. Fijados firmemente al soporte y mayormente son saxícolas (habitan en rocas), aunque además existen variedades cortícolas que residen en superficies de madera. Poseen una apariencia similar a costras y se adhieren firmemente a la superficie. Se encuentran en áreas que están bastante contaminadas.
- **Compuestos:** Compuesto por dos variedades de talo: una variedad principal, que es principalmente crustácea o de forma escamosa, y raramente se observa en su forma foliácea, y una variedad secundaria que tiene una estructura fruticulosa.

2.2.6. Ventajas del uso de bioindicadores

El uso de líquenes como indicadores biológicos tiene beneficios tales como, es un método conocido en todo el mundo, identifica fuentes de contaminación a bajo costo y no requiere electricidad. También, pueden crecer en diferentes clases de sustratos tanto inertes como orgánicos, siendo más comunes en entornos extremos como los desiertos, ya sean cálidos o fríos, y en altas montañas, donde las plantas vasculares enfrentan retos para prosperar. Las regiones trópicas exhiben la mayor cantidad de diversidad, a excepción de las selvas. Sin embargo, tienen estándares muy altos y muestran poca tolerancia a uno o varios factores relacionados con el cultivo, lo que al final hace que sean percibidos como sobresalientes bioindicadores de las condiciones del entorno (Museo Nacional de Costa Rica, 2021).

2.2.7. Líquenes como bioindicadores de la calidad del aire

Considerando su delicadeza y su cutícula que les facilita la absorción de nutrientes y contaminantes del aire, se piensa que los líquenes son excelentes bioindicadores de la polución en la atmósfera. Los líquenes se emplean con frecuencia para la detección de alteraciones medioambientales provocadas por presiones ambientales (como la contaminación, la mala calidad del aire, incendio, cambio climático, etc.). Además, emplean para proporcionar una base de referencia para la investigación en sistemas forestales. Entre los elementos externos que afectan a la diversidad de líquenes se encuentran la irradiancia sola, precipitaciones, temperatura, velocidad del viento y el último de ellos es especialmente crucial, ya que varía más de un lugar a otro (Valdivia & Ramírez, 2018).

2.2.8. Sensibilidad de líquenes a la contaminación del aire

La gran susceptibilidad de los líquenes frente a la polución se relaciona con su biología, Las especies contaminadas (bioacumuladores) tienen diferentes impactos en numerosas especies, que pueden extenderse hasta 100 años o más. Los líquenes carecen de un sistema de vasos que transporte agua o nutrientes. Por esta razón, han creado métodos eficientes para obtenerlos de fuentes presentes en el aire. La neblina y el rocío, que son las principales fuentes de agua para estos seres, frecuentemente contienen niveles de contaminantes que son considerablemente más altos que los del agua de lluvia, y los métodos que utilizan los líquenes para concentrar nutrientes también atrapan contaminantes. Los líquenes son incapaces de evitar el contacto con contaminantes para eliminar segmentos muertos, a diferencia de otras plantas vasculares. La capa de fotobionte facilita la propagación de los contaminantes

del aire, ya que carecen de un control biológico significativo sobre el cambio de gases. La falta de agua puede contribuir a los líquenes a superar lapsos de aridez, asimismo pueden concentrar soluciones hasta que ciertos compuestos se tornan perjudiciales (Palomino, 2020)

2.2.9. Índice de Pureza Ambiental

Este índice biológico considera la existencia, la ubicación, la cantidad y el área cubierta por las especies de líquenes, así como la cantidad y la disposición de las especies de líquenes en un área en el cual la contaminación es generalizada y está causando alteraciones. La media de los valores recolectados de todos los forófitos se determina mediante el producto de las frecuencias de las especies existentes que se encuentran en por forófito y el Índice que indica un punto de muestreo (Charry, 2018).

De este modo, en un área donde el aire está muy contaminado, es probable que solo se observen unas escasas especies de líquenes, pero son organismos que son capaces de soportar esa contaminación y que son tóxicos, reflejando así una zona con un alto nivel de polución atmosférica. Este indicador evalúa la abundancia o singularidad de los tipos de líquenes epífitos en una zona específica, y se utiliza exclusivamente para hacer comparaciones entre lugares o áreas que cuenten con condiciones climáticas y ecológicas similares (Tito, 2019)

2.2.10. Diversidad de líquenes

El conjunto de seres vivos conocidos como líquenes representa un grupo polifilético que se origina de múltiples antepasados diferentes, que han evolucionado a través de distintas interacciones con un mismo patrón. Sin



embargo, no existe una clasificación para este grupo que sea completamente consensuada entre los especialistas en el tema.

a. Chrysothrix sp.2

Liquen con un talo que mide entre 0. 5 y 2 cm de diámetro, a veces fusionado, con una forma alargada que se adhiere al soporte. Su estructura es efusa o ligeramente placodioide, con una textura granular de color amarillo limón, y un grosor que varía entre 0. 3 y 1. 0 mm. No presenta protalo ni córtex; está cubierto de gránulos redondeados que abarcan toda la superficie del talo, con un diámetro que va de 24. 9 a 41. 9 μm . La médula tiene una tonalidad que va de levemente cretácea a casi bisoide. Amarillo limón en la parte superior, pero en la base y más gruesa del tallo presenta un color amarillo pálido que casi roza el blanco, conteniendo poco o mucho oxalato de calcio; Micobionte con hifas que poseen muchos cristales en las paredes de entre 1 y 3 μm de diámetro. El fotobionte es del grupo clorococales, con células que pueden ser individuales o en pequeñas agrupaciones, unicelulares, con un diámetro de aproximadamente 8 a 20 μm . En climas fríos, el liquen crece alrededor de las montañas y se puede encontrar en secciones secas de árboles y coníferas caducifolias, en superficies protegidas de la lluvia e incluso en árboles frutales.

Figura 1.

Especie de liquen Chrysothrix sp.2



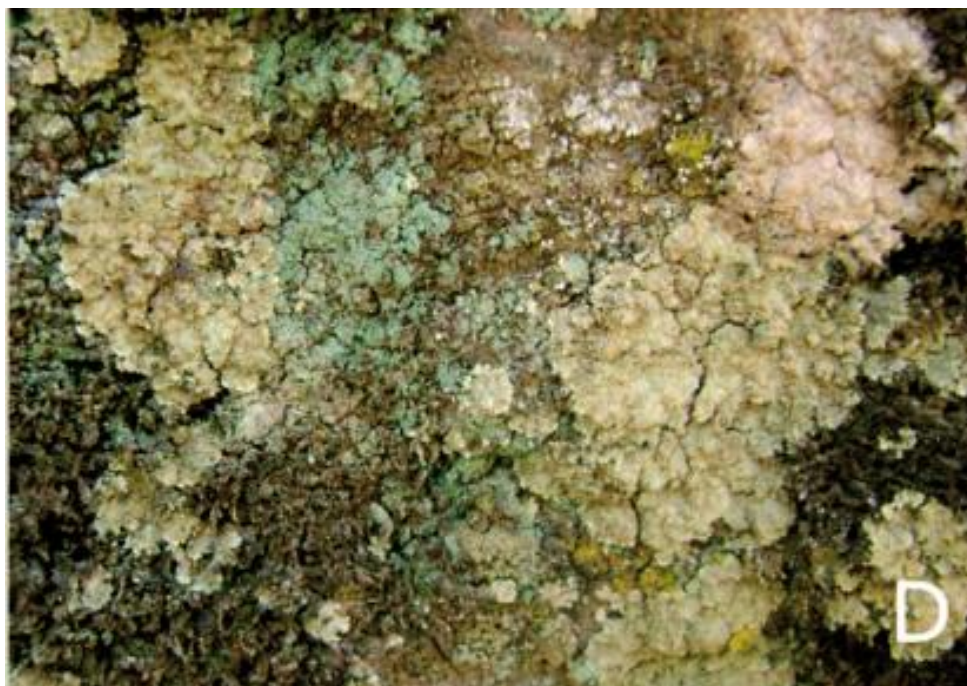
Nota. (Palomino, 2020)

b. Lepraria sp.1

Las especies de Lepraria son característicos por sus talos costrosos y polvorientos compuestos casi en su totalidad por soledios (pequeños grupos granulares de células fúngicas y algales que permiten la reproducción asexual, el talo puede estar ligeramente adherido al (INaturalistMX, 2020).

Figura 2.

Especie de liquen Talo crustoso granular Lepraria sp.



Nota. (Ramos et al., 2014)

c. Candelaria concolor

Talo amarillo brillante, que forma pequeñas rosetas de menos de 1 cm de diámetro de lóbulos sobrepuestos, de 0.1-0,5 mm de diámetro, con márgenes de encaje con bordes granulosos y soledios granulares, pocas veces casi se disuelve totalmente en soledios granulares a convertirse esencialmente en leprosa. Apotecio poco común, 0.2-0.7 mm de diám., disco muy delgado, tonalidad amarillo oscuro con tendencia a marrón anaranjado, margen talino coloreado, de 16 o más esporas por asca; soledios en los márgenes de los lóbulos; en la parte inferior con córtex a excepción de muy en el borde (Ministerio del Ambiente Colombia, 2015).



2.3. Marco Conceptual

2.3.1. Aire

Consiste en una composición de gases conformando así la atmósfera, en tanto permanece en todos los lugares. Los elementos más destacados son el helio, neón, dióxido de carbono, oxígeno, nitrógeno, etc (Perez, 2021).

2.3.2. Calidad del Aire

La pureza del aire se encuentra relacionada con la reducción y extinción de los líquenes más vulnerables, así como con el aumento de los más robustos (Menéndez & Dueñas, 2020).

2.3.3. Líquenes

Conocidos como hongos liquenizados, estos organismos actúan como biomonitores, bioacumuladores y bioindicadores que permiten valorar o identificar la calidad del aire en una concluyente zona a analizar (Villeda, 2016).

2.3.4. Contaminación del Aire

Los riesgos para la salud ambiental son más altos en países con niveles de ingresos bajos, medianos y altos debido a la prevalencia de la contaminación del aire exterior, que perjudica a todos los habitantes (Organización Mundial de la Salud, 2022).

2.3.5. Bioindicadores

Grupos de organismos que son capaces de reaccionar a la contaminación del entorno, ya sea mediante cambios en su funcionamiento interno o por su habilidad para almacenar contaminantes (Anze, 2018)



2.3.6. Índice de Pureza Ambiental

Los líquenes ayudan a estimar la calidad del aire por medio de la integración del número de especies que se presenta en un área con su respuesta a contaminantes ambientales específicos (Santoni, 2015).



CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Diseño de investigación

El diseño del estudio es no experimental pues indica que este diseño examina los objetos en su estado actual, ya que, para observar el impacto en otros factores, no se cambia las variables.

3.2. Tipo de Investigación

El estudio es de investigación descriptiva, pues busca especificar propiedades, características e importantes rasgos de cualquier fenómeno que se analice (Hernández et al., 2013).

3.3. Enfoque de investigación

El estudio es de enfoque cuantitativo pues los registros poseen categorías estandarizadas.

3.4. Nivel de investigación

Aplicativa ya que se utilizó conocimientos previos de la investigación básica para generar soluciones prácticas, productos o innovaciones, pues se

entabla los niveles de contaminación del aire empleando líquenes en las 3 zonas en estudio.

3.5. Materiales y equipos

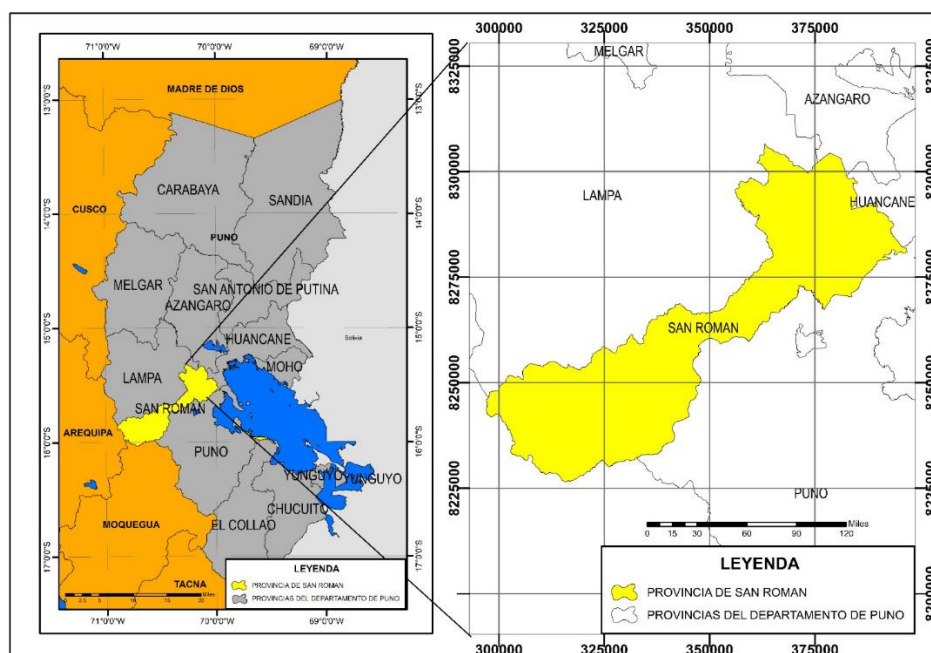
- Rejilla de medidas 10 x 50 cm
- Cámara fotográfica
- Laptop
- Libreta

3.6. Zona de estudio

El distrito de Juliaca se ubica en la provincia de San Román, departamento de Puno, a una latitud sur $15^{\circ}29'27''S$ y longitud Oeste de $70^{\circ}07'37''O$, en una altura de 3824 m s. n. m. Las zonas en estudio fueron 3, Zona 1 perteneciente al Parque Grau, Zona 2 Av. Circunvalación y Zona 3 ubicado en la Av. Perú Hospital Carlos Monge Medrano.

Figura 3.

Ubicación del distrito de Juliaca



3.7. Población

La población se conformó por las zonas en estudio donde se presenta mayor cantidad de árboles en la ciudad de Juliaca. Además, la población o universo se define como la colección de todas las ocurrencias que satisfacen ciertos criterios (R. Hernández et al., 2014).

3.8. Muestra

La muestra se conformó por 3 zonas presencia de árboles, considerándose 6 árboles por cada zona.

3.9. Procedimiento metodológico

Para la determinación de los puntos de identificación de líquenes, se ubicó la mayor presencia de árboles y además que sea de fácil acceso, seleccionando zonas urbanas para la identificación de presencia o ausencia de líquenes. Fueron seleccionado 3 zonas de estudio, los que se identifican en la siguiente tabla.

Tabla 2.

Zonas de estudio

	Zonas	Coordenadas
Zo1	Parque Grau	x: 378378.85 y: 8286171.85
Zo2	Av. Circunvalación Este	x: 379438.52 y: 8305844.96
Zo3	Av. Perú – Hospital Carlos Monge Medrano	x: 379739.75 y: 8288053.58

Nota. Coordenadas UTM de cada zona en estudio

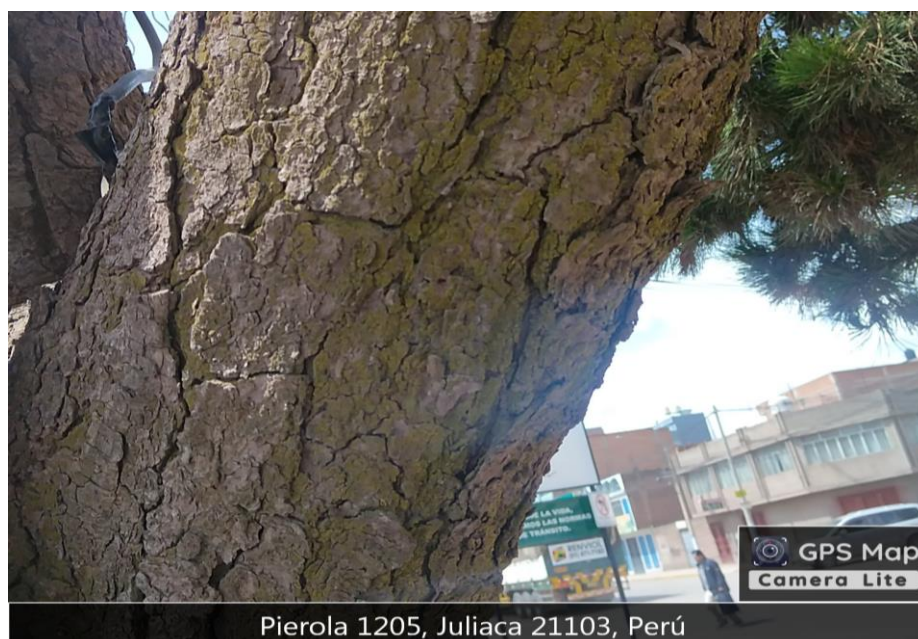
3.9.1. *Determinar la diversidad de las especies de líquenes presentes en la ciudad de Juliaca*

Para la identificación de líquenes en la corteza de los forofitos en cada zona de estudio se empleó bibliografía, los que se usaron en los siguientes documentos:

- a) Guía de Campo de los líquenes, musgos y hepáticas: Guía resultado de la adaptación a la flora ibérica de la guía de Wirth y Dull, para lo cual, a la selección de especies de la original obra, añadiendo así los autores españoles 234 especies, siendo 133 líquenes y 101 briófitos-relevantes o emblemáticos (Wirth & Llimona, 2020). Identificando con las siguientes características:
 - Aspecto del talo y de sus diferenciaciones (color)
 - Tipo de organización (talo crustáceo, talo foliáceo y talo fruticuloso)
 - Tamaño
 - Forma
 - Margen
- b) Diversidad de líquenes en el Anexo de Tuctumpaya, distrito de Pocsi, Arequipa: El estudio contiene la diversidad de líquenes, los que se determinaron mediante la observación con relación a sus características morfológicas macroscópicas. El estudio registra 34, 29 distribuidos en 14 familias y 27 géneros (Ramos eat, 2013).

Figura 4.

Especie Chrysothrix en la zona 2



Nota. Forofito identificado en la zona 2

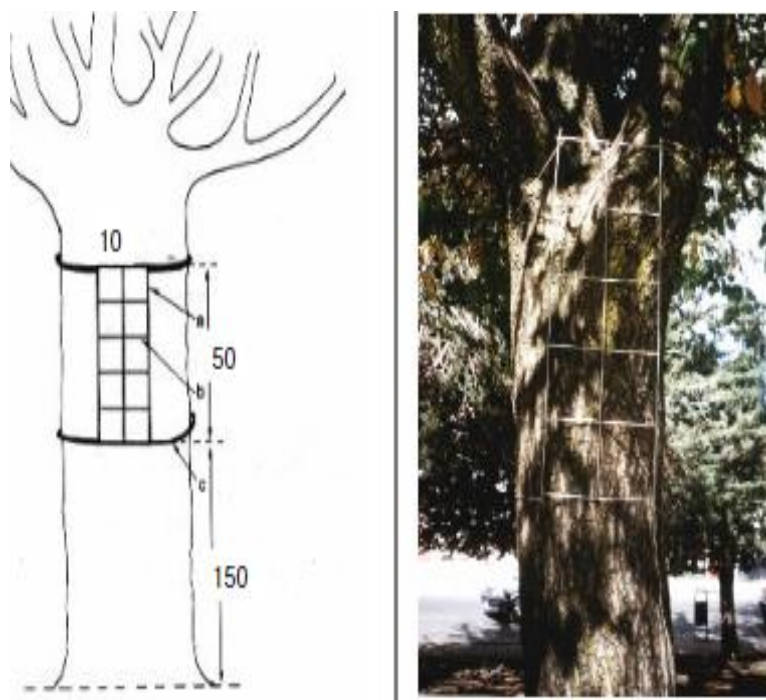
3.9.2. Determinar zonas de estudio en la ciudad de Juliaca.

Se eligieron 3 zonas de estudio en la ciudad de Juliaca, considerando las particularidades a continuación:

- Presencia de forofitos acompañados de líquenes
- El mínimo de 5 árboles en la zona.
- Nivel de tránsito o el flujo vehicular bajo, medio o alto.
- Caracterización de las acciones próximas al área (comercial, habitacional e industrial).
- Condiciones del entorno (áreas contaminadas y áreas limpias).
- Árboles sanos, sin deterioros o pintas

Figura 5.

Método de la rejilla en árboles



Nota. (LeBlanc & De Sloover, 1970)

3.9.3. Aplicar el método del Índice de Pureza Ambiental en las zonas de estudio de la ciudad de Juliaca

- **Índice de Pureza Ambiental**

Se empleó la fórmula IPA, la cual fue propuesta (LeBlanc & De Sloover, 1970)-

$$IPA = \sum_{1}^n \frac{(Q * f)}{10}$$

n: Número de especies encontradas

Q: Índice ecológico o factor de acompañamiento
para cada especie

f: Cobertura o frecuencia de cada especie

- **Cálculo del Factor Q:**

$$= \frac{\sum (Total\ presencia\ de\ una\ especie\ en\ sitio\ n) * (Total\ de\ especies\ en\ el\ sitio\ n - 1)}{\sum Total\ de\ especies\ en\ los\ diferentes\ sitios}$$

$$Q_i = \sum_j \frac{A_j - 1}{N_j}$$

Donde: A_j = Número de especies presentes en cada estación (j) donde se encuentra la especie i.

N_j = Número de estaciones (j) donde se encuentra la especie i.

Posterior a los cálculos se realizó la comparación con la siguiente tabla:

Tabla 3.

Clasificación de niveles de contaminación

Nivel	Rango
Muy Alta	0 – 3.36
Alta	3.37 – 6.72
Moderado	6.73 – 10.08
Baja	10.09 – 13.44
Muy baja	13.45 – 16.8

Nota. (LeBlanc & De Sloover, 1970)



3.10. Técnicas e instrumentos

3.6.1. Técnicas

En la siguiente investigación se utilizó las técnicas como:

- Observación
- Fichas para muestreo
- Exploración de investigaciones, papers y libros

3.6.2. Instrumentos

En el estudio se emplearon los instrumentos siguientes:

- Fichas de registro de campo
- Método de la rejilla
- Guía de identificación de especies de líquenes

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados

4.1.1. *Determinar la diversidad de las especies de líquenes presentes en la ciudad de Juliaca*

a) Zona 1

Tabla 4.

Especies presentes en la zona 1

Especies	M1	M2	M3	M4	M5	M6
Chrysothrix sp.2	x	x	x	x	x	x
Lepraria sp.1	-	x	-	x	-	-
Candelaria concolor	-	-	-	-	-	-

Nota. La letra "M" representa cada árbol o forofito, "x" corresponde a la presencia de los líquenes en cada muestra

La tabla 4, identifica las especies que se encontraron en la zona 1, las cuales fueron: *Chrysothrix sp 2* el cual es un liquen perteneciente a la familia de Chrysothricaceae del Género Chrysothrix, que se identifica por tener una superficie de color amarillento a un verde amarillento. La especie *Lepraria sp. 1*

fue encontrado en el segundo forofito (M2), perteneciente a la familia Stereocaulaceae del Género Lepraria, que se caracteriza por tener en su estructura una costra de forma desigual de un color verdoso y amarillento.

b) Zona 2

Tabla 5.

Especies presentes en la zona 2

Especies	M1	M2	M3	M4	M5	M6
Chrysothrix sp.2	x	x	x	x	x	x
Lepraria sp.1	-	-	-	-	-	-
Candelaria concolor	-	-	x	-	-	-

Nota. La letra "M" representa cada árbol o forofito, "x" corresponde a la presencia de los líquenes en cada muestra.

Se identifica en la tabla 5, las especies que se encontraron en la zona 2, las cuales fueron: *Chrysothrix*: Liqueen que se encontró en la zona de investigación, perteneciente a la familia de Chrysothicaceae del Género Chrysothrix, que se identifica por tener una superficie de tonalidad amarilla a un verde con tonalidades amarillentas. La especie *Candelaria concolor*., especie que es muy común y abundante, donde fue encontrada en la muestra 6, conocida especie por tener un talo amarillo brillante, que forma pequeñas rosetas de menos de 1 cm de diámetro de lóbulos superpuestos.

c) Zona 3

Tabla 6.

Especies presentes en la zona 3

Especies	M1	M2	M3	M4	M5	M6
Chrysothrix sp.2	-	-	-	-	-	-
Lepraria sp.1	x	-	-	x	x	x
Candelaria concolor	-	x	x	-	-	-

Nota. La letra "M" representa cada árbol o forofito, "x" corresponde a la presencia de los líquenes en cada muestra

Se identifica en la tabla 6, las especies que se encontraron en la zona 3, las cuales fueron 2. La especie *Lepraria sp. 1* es un liquen que se encontró en la zona 2. La especie *Candelaria concolor* liquen de superior anaranjado, además se observa manchas de color marrón, fue encontrado en el cuarto, quinto y sexto árbol.

4.1.2. Determinar las zonas de estudio

Se ubicaron las 3 zonas de estudio que presentan las características indicadas anteriormente

Figura 6.

Ubicación de los puntos de estudio

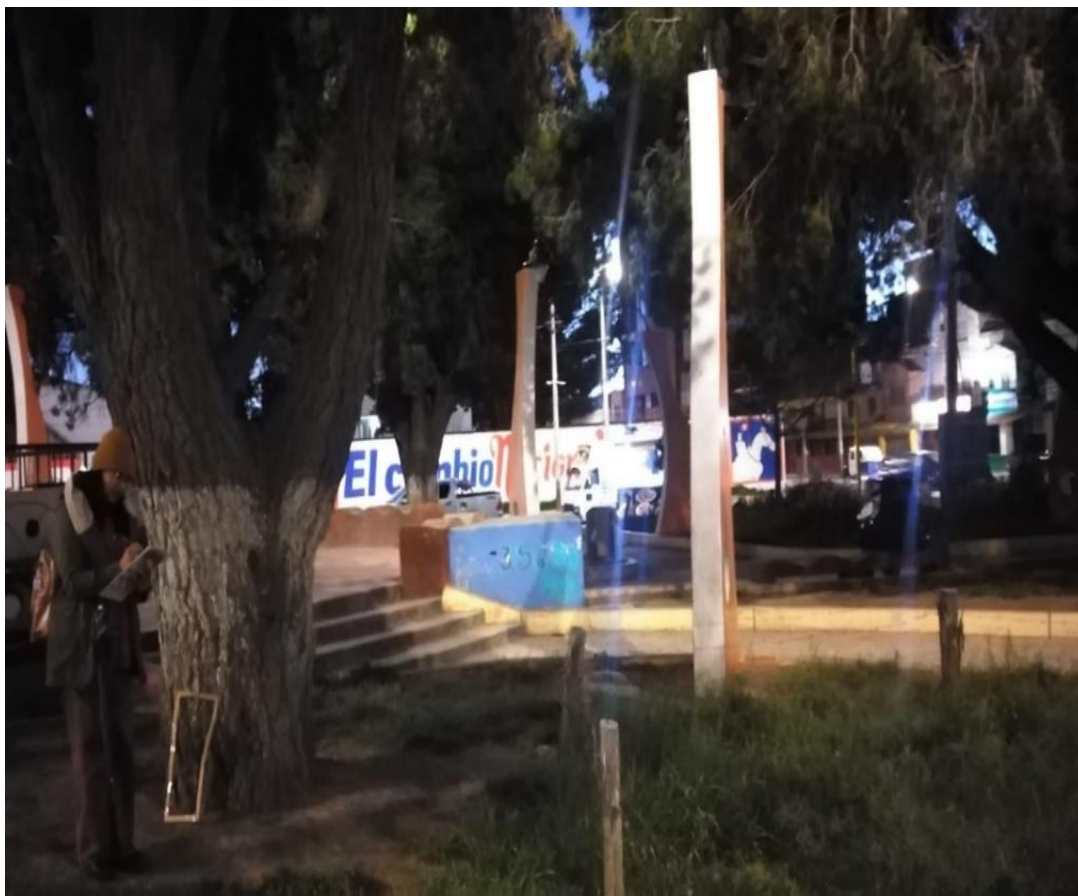


a) Zona 1- Parque Grau

La primera zona seleccionada fue el Parque Grau ya que había accesibilidad al lugar, además se identificó más de 5 árboles, presencia de líquenes y nivel de tráfico medio. Sin embargo, se observó mayor cantidad de líquenes en la parte superior de cada árbol.

Figura 7.

Zona 1 Parque Grau



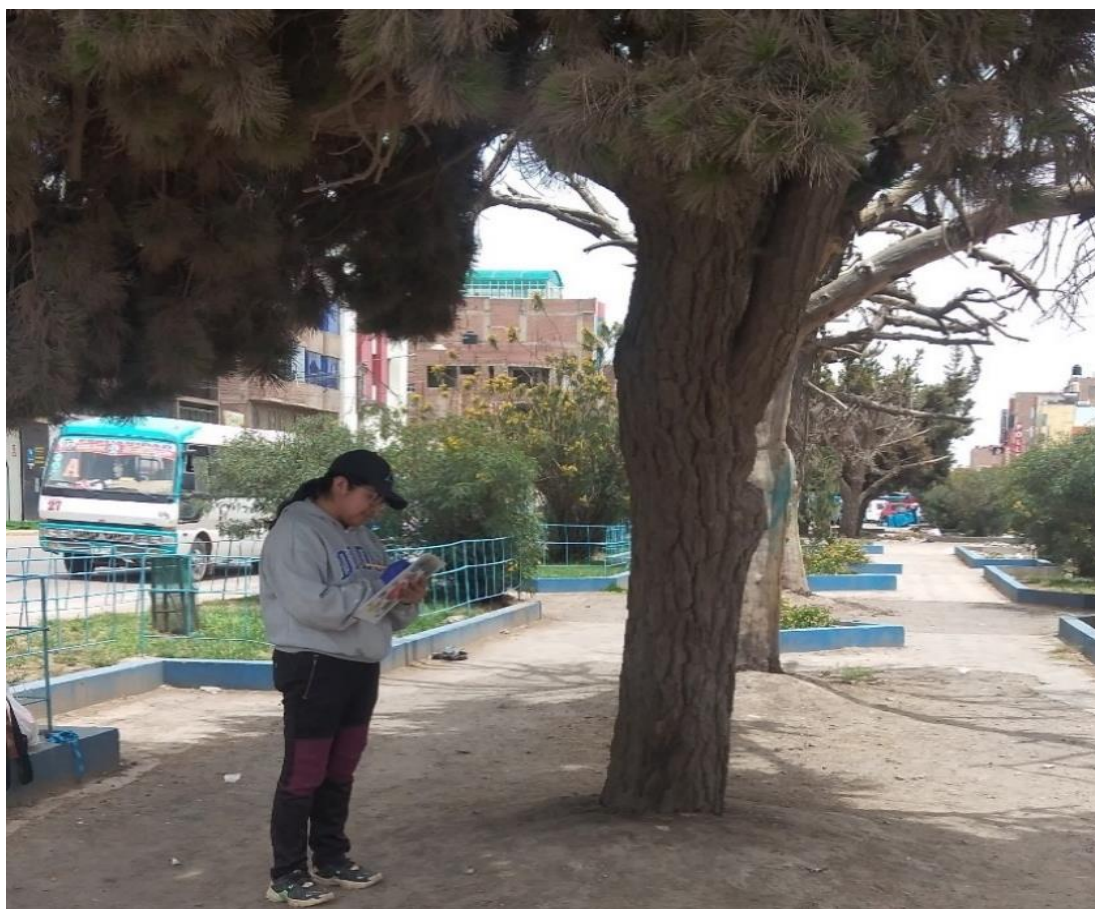
Nota. Presencia de más de 5 árboles en la zona 1 Parque Grau

b) Zona 2 Avenida Circunvalación

La Avenida Circunvalación fue seleccionado como zona 2, ya que presentó más de 5 árboles y se identificó un nivel de tránsito alto, además de presentar árboles que no se encontraban dañados y con una circunferencia de más de 50cm.

Figura 8.

Zona 2 Avenida Circunvalación



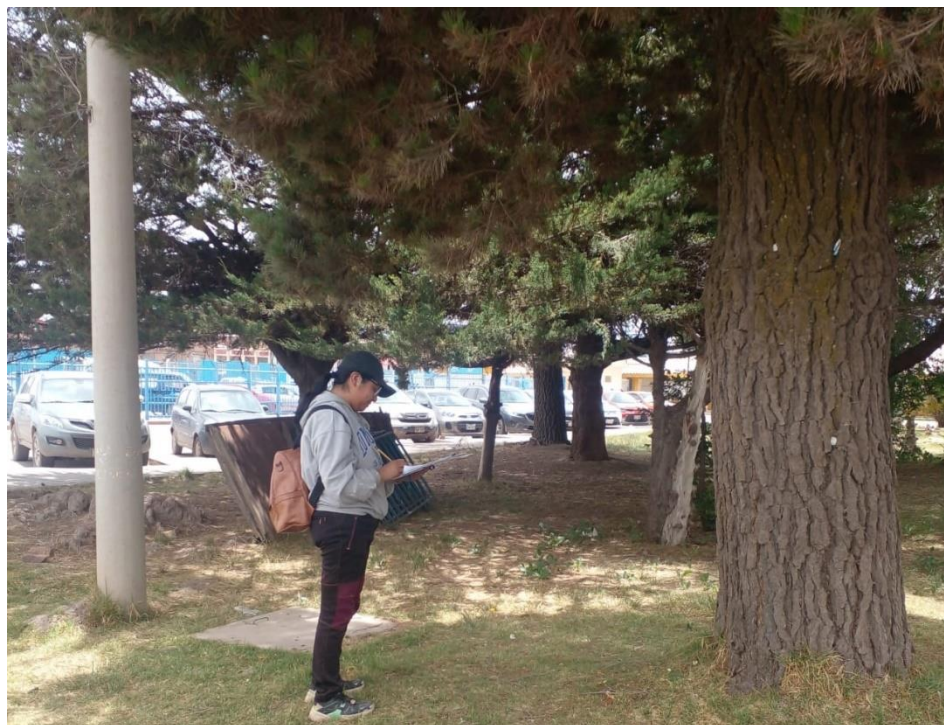
Nota. Presencia de más de 5 árboles en la zona de estudio

c) Zona 3 Hospital Carlos Monge Medrano

El Hospital Carlos Monge Medrano fue seleccionado como zona 3, pues presentaron más de 5 árboles en la zona y las muestras se encontraron en buen estado sin ningún deterioro, además la zona presentó una gran variedad de líquenes.

Figura 9.

Zona 3 Hospital Carlos Monge Medrano



Nota. Presencia de árboles en la zona 3 con variedad de líquenes

4.1.3. Aplicar el método del Índice de Pureza Ambiental en las zonas de estudio de la ciudad de Juliaca

a) Zona 1: Parque Grau

Realizando los cálculos con los datos de la zona 1 correspondiente al parque Grau, se obtuvo los siguientes resultados en el conteo de líquenes en las rejillas.

Tabla 7.

Identificación de líquenes en la Zona 1 – Parque Grau

Zona 1				
Muestras	Chrysothrix sp.2	Lepraria sp.1	Candelaria concolor	Total
M1	10	0	0	10
M2	5	4	0	9
M3	6	0	0	6
M4	5	5	0	10
M5	4	0	0	4
M6	9	0	0	9
To	39	9	0	48

Nota. El To se refiere a la sumatoria de los cuadrantes por especie

En la tabla 7 se observa la abundancia y la diversidad de líquenes encontrados en la muestra perteneciente a la zona 1, donde se identificaron especies como: *Chrysothrix sp.2* que ocupa 10 cuadrantes en la muestra 1, 5 cuadrantes en la muestra 2, 6 cuadrantes en la muestra 3, 5 cuadrantes en la muestra 4, 4 cuadrantes en la muestra 5 y 9 cuadrantes en la muestra 6; la especie *Lepraria sp.1* presentó 5 cuadrantes en muestra 4. Siendo así la especie *Chrysothrix sp.2* con mayor abundancia presentándose en todas las muestras con 39 cuadrantes.

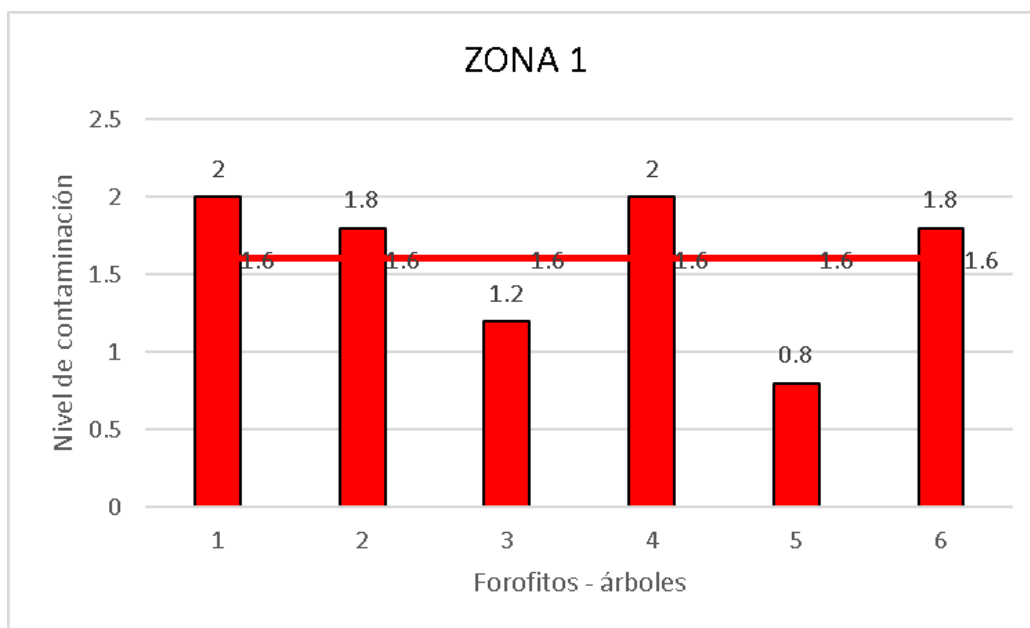
Tabla 8.

Resultados del Cálculo del Índice de pureza ambiental (IPA) en cada árbol en la zona 1 perteneciente a Parque Grau.

IPA				
	Chrysothrix sp.2	Lepraria sp.1	Candelaria Concolor	IPA
Q	1	1	0	2
M1	1.0	0	0	2.00
M2	0.5	0	0	1.80
M3	0.6	0.4	0	1.20
M4	0.5	0	0	2.00
M5	0.4	0.5	0	0.80
M6	0.9	0	0	1.80
PROM				1.60

Nota. Q se refiere al factor de acompañamiento de cada especie, los datos resaltados de rojo representan una contaminación muy alta y los datos.

En la tabla 8, se observa el Índice de Pureza ambiental por cada muestra, donde el resultado en la muestra 1 para la especie Chrysothrix sp.2 fue de 1.0; en la muestra 2 presentó un IPA en la especie Chrysothrix sp.2 de 0.5; en la muestra 3 para la especie Chrysothrix sp.2 fue de 0.6, la especie Lepraria sp 1 de 0.4; en la muestra 4 para la especie Chrysothrix sp.2 fue de 0.5, la especie Lepraria sp 1 de 0.5; en la muestra 5 para la especie Chrysothrix sp.2 fue de 0.4, la especie Lepraria sp 1 de 0.5; en la muestra 6 presentó para la especie Chrysothrix sp.2 fue de 0.9. En el resultado del IPA de forma general y por muestra tuvo cifras de 2.00, 1.80, 1.20, 2.00 0.80, 1.80 con un promedio de 1.60 lo que indica que presenta una contaminación alta.

Figura 10.*Resultado IPA de la Zona 1*

Nota. Las barras rojas representan a una contaminación muy alta.

Se identifica en la tabla 10, los resultados que se obtuvieron en la zona 1, donde la muestra 3 presenta la menor calificación siendo este un resultado de contaminación muy alta, y la muestra 1 y 4 tuvieron un resultado de 2 siendo este una calificación de contaminación MUY ALTA.

b) Zona 2

Realizando los cálculos con los datos de la zona 2 correspondiente a la Av. Circunvalación Este, se obtuvo los resultados en el conteo de líquenes en las rejillas, como indica la tabla siguiente.

Tabla 9.

Identificación de líquenes en la Zona 2 – Av. Circunvalación Este

ZONA 2				
Muestras	Chrysothrix sp.2	Lepraria sp.1	Candelaria concolor	Total
M1	5	0	0	4
M2	8	0	0	5
M3	4	0	0	6
M4	3	0	0	6
M5	4	0	0	3
M6	3	0	0	5
To.	27	0	10	29

Nota. El To. Se refiere al total de abundancia es decir a la sumatoria de los cuadrantes ocupado por cada especie

En la tabla 9 se observa la abundancia y la diversidad de líquenes encontrados en los forofitos perteneciente a la zona 2, donde se identificaron especies como: *Chrysothrix sp.2* que ocupa 5 cuadrantes en el forofito 1, 8 cuadrantes en el forofito 2, 4 cuadrantes en el forofito 3, 4 cuadrante en el forofito 5 y 3 cuadrante en el forofito 6.

Tabla 10.

Resultados del Cálculo del Índice de pureza ambiental (IPA) en cada árbol en la zona 2 perteneciente a la Av. Circunvalación Este.

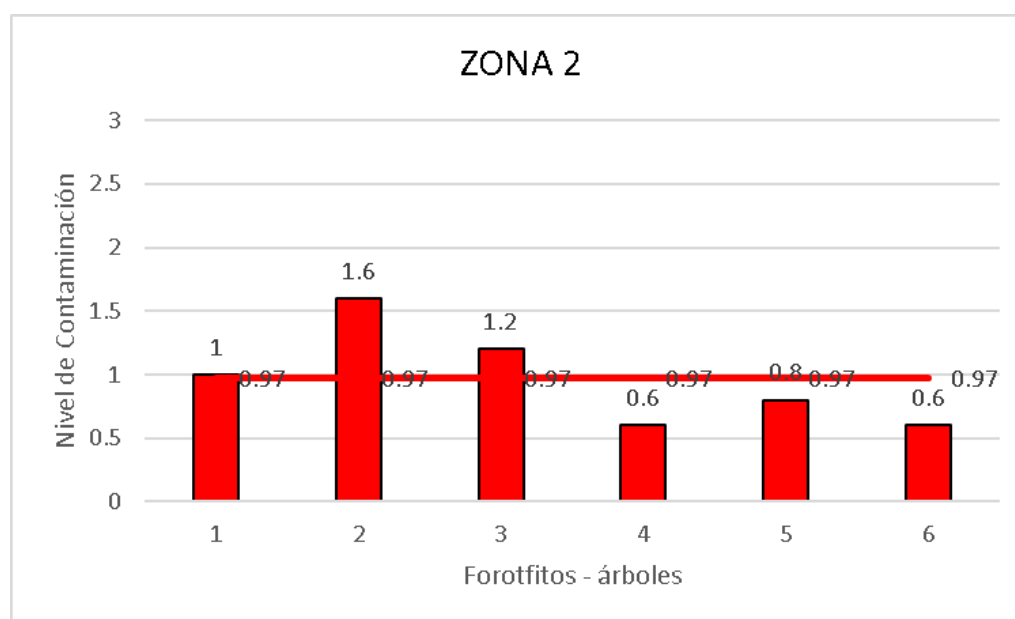
ÍNDICE DE PUREZA AMBIENTAL				
IPA	Chrysothrix sp.2	Lepraria sp.1	Candelaria concolor	IPA
Q	1	0	1	2.0
M1	0.5	0	0	1.00
M2	0.8	0	0	1.60
M3	0.4	0	0.15	1.20
M4	0.3	0	0.9	0.60
M5	0.4	0	0.15	0.80
M6	0.3	0	0.3	0.60
PROM				0.97

Nota. Q se refiere al factor de acompañamiento de cada especie, los datos resaltados de rojo representan una contaminación muy alta.

En la tabla 10, se observa el Índice de Pureza ambiental por cada muestra, donde el resultado en la muestra 1 para la especie *Chrysothrix* sp.2 fue de 0.5; en la muestra 2 presentó un IPA en la especie *Chrysothrix* sp.2 de 0.8; en la muestra 3 para la especie *Chrysothrix* sp.2 fue de 0.4; y de la especie *Candelaria* concolor de 0.2; en la muestra 4 para la especie *Chrysothrix* sp.2 de 0.3; en la muestra 5 para la especie *Chrysothrix* sp.2 fue de 0.4; en la muestra presentó para la especie *Chrysothrix* sp.2 fue de 0.3. En el resultado del IPA de forma general y por muestra tuvo cifras de 1.00, 1.60, 1.20, 0.60, 0.80, 0.60 con un promedio de 0.97 lo que indica que presenta una contaminación Muy Alta.

Figura 11.

Resultado IPA de la Zona 2



Nota. El color rojo de la barra representa a la contaminación de categoría muy alta.

Se identifica en la figura 11, los resultados que se presentan en la zona 2, donde la muestra 1 presentó una IPA de 1.00, la muestra 2 fue de 1.60, el árbol

3 fue de 1.20, la muestra 4 fue de 0.60, la muestra 5 de 0.80 y la muestra 6 de 0.6, con un promedio 0.97, encontrándose todos en un nivel de contaminación muy alta

c) Zona 3

Realizando los cálculos con los datos de la zona 3 correspondiente a la Av. Perú Hospital Carlos Monge Medrano. Se obtuvo los resultados en el conteo de líquenes por cada cuadrante en las rejillas según como se muestra en la tabla siguiente.

Tabla 11.

Identificación de líquenes en la Zona 3 – Av. Perú Hospital Carlos Monge Medrano

Zona 3				
Muestras	Chrysothrix sp.2	Lepraria sp.1	Candelario concolor	Total
M1	0	9	0	9
M2	0	0	1	1
M3	0	0	9	9
M4	0	6	2	6
M5	0	3	0	3
M6	0	3	0	3
To	0	21	10	31

Nota. El To. Se refiere al total de abundancia es decir a la sumatoria de los cuadrantes ocupado por cada especie

En la tabla 11 se observa la abundancia y la diversidad de líquenes encontrados en los forofitos perteneciente a la zona 2, donde se identificaron

especies como: la especie *Lepraria* sp.1 presentó 9 cuadrantes en el forofito 1 y 4 cuadrante en el forofito 6; la especie *Candelaria* concolor presenta 1 cuadrantes en el forofito 2, 9 cuadrantes ocupados en el forofito 3. Siendo así la especie *Lepraria* con abundancia elevada presentándose en 4 muestras con 21 cuadrantes.

Tabla 12.

Resultados del Cálculo del Índice de pureza ambiental (IPA) en cada árbol en la zona 3 perteneciente a la Av. Perú – Hospital Carlos Monge

Medrano

ÍNDICE DE PUREZA AMBIENTAL				
	Chrysothrix sp.2	Lepraria sp.1	Candelaria concolor	IPA
Q	0	1	3	
M1	0	0	0	3
M2	0	0	0	1.8
M3	0	0	0	1.8
M4	0	0.2	0.6	2.4
M5	0	0	0.9	1.8
M6	0	0.12	0.6	1.8
			PROM	2.1

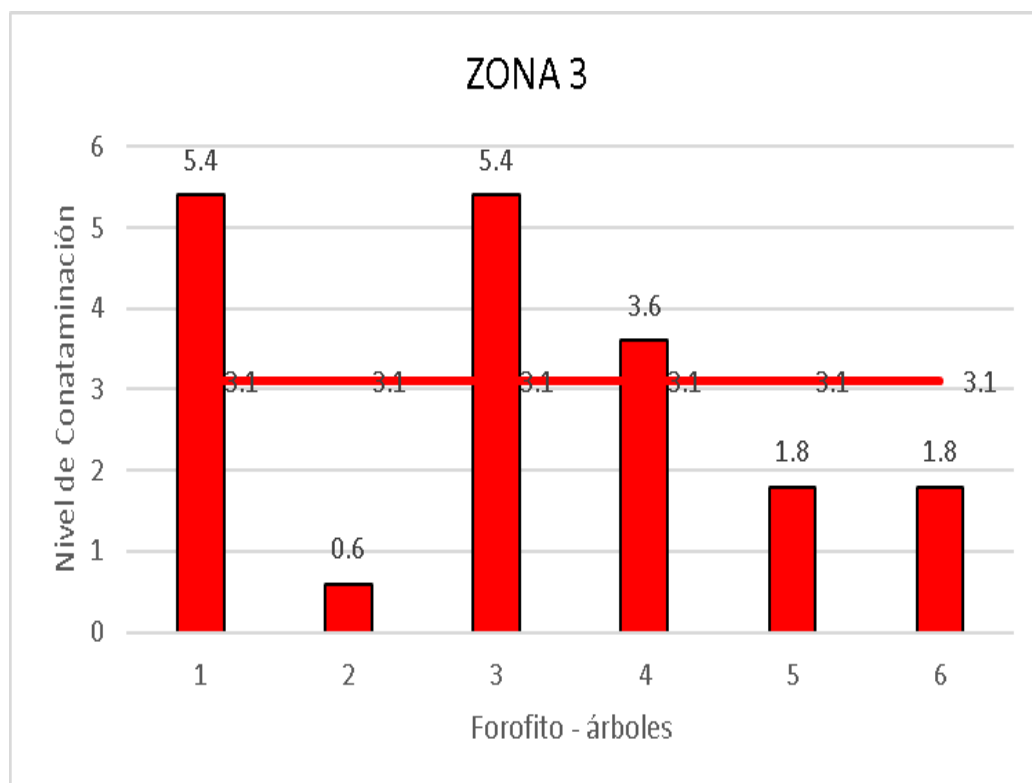
Nota. Q se refiere al factor de acompañamiento de cada especie, los datos resaltados de rojo representan una contaminación muy alta.

En la tabla 12, se observa el Índice de Pureza ambiental por cada muestra, donde el resultado en la muestra 1 en la especie *Lepraria* sp.1 fue de 1.08, en la muestra 2 para la especie *Candelaria* concolor fue de 0.3, en la muestra 3 para la especie *Candelaria* concolor fue de 2.7, en la muestra 4 para la especie *Lepraria* sp.1 fue de 0.6; en la muestra 5 para la *Candelaria* concolor sp 1 fue de 0.36; en la muestra 6 presentó para la especie *Lepraria* sp.1 fue de 0.36. En el

resultado del IPA de forma general y por muestra tuvo cifras de 5.4, 0.6, 5.4, 3.6, 1.8 y 1.8 con un promedio de 3.10 lo que indica que presenta una contaminación Muy Alta.

Figura 12.

Resultado IPA de la Zona 3



Nota. Las barras de color rojo representan el nivel de contaminación muy alta y la representación en línea representa el promedio.

Se identifica en la figura 12, los resultados que se obtuvieron en la zona 3, donde la muestra 1 tuvo un resultado de 5.40, la muestra 2 presentó un resultado de 0.60, la muestra 3 presentó un resultado de 5.40, la muestra 4 presentó un resultado de 3.60, la muestra 5 y árbol 6 de 1.80 representando así a una calificación de contaminación muy alta. Así también presentó un promedio de 3.1 en la zona 3

4.2. Discusiones

Con referencia con los resultados obtenidos en las 3 zonas de la ciudad de Juliaca en la diversidad de especies de líquenes se hallaron 4 especies las cuales fueron: *Candelaria concolor*, *Chrysothrix* sp.2 y *Lepraria* sp.1, en donde prevalece en mayor cantidad la especie *Chrysothrix* sp.2, tal como el estudio de Palomino que tiene por nombre "Evaluación de la calidad del aire a través de líquenes como indicadores, realizado en ciudad de Ilo en las zonas de Alto Ilo y Urbanización Garibaldi en el año 2020, dichas zonas fueron designados por la existencia de árboles y líquenes, donde al igual que nuestro estudio empleó el método de la rejilla registrando especies como *Chrysothrix* sp 1 y 2, *Caloplaca* y *Lepraria* sp.1, en donde la especie que más abundancia tuvo fue *Chrysothrix* sp 1. Según el (Ministerio del Ambiente Colombia, 2016) la especie crece especialmente en coníferas costeras con corteza ácida, además que se encuentran en madera en descomposición y superficies rocosas, así también la especie *Leprasia* sp. 1 que se encontró en mayor cantidad en la zona 3 siendo esta especie conocida por su tolerancia a la contaminación del aire (Thakur & Bhardwaj, 2024).

Con respecto al índice de pureza ambiental se obtuvo resultados de calificación de 0.97 como nivel de contaminación muy alta, perteneciente a la Avenida Circunvalación, dicho resultado se debe al flujo vehicular que existe en la zona por el constante tránsito diario, además indica (Coronado & Castiblanco, 2019) menciona distintos factores como las zonas cercanas que presenten actividad de tránsito y la presencia de zonas. Sin embargo, la zona 1 Parque Grau se encontró presencia de líquenes, no obstante, en la superficie de cada muestra tuvo una gran presencia de líquenes en las ramas de cada muestra que



se encuentra a una altura de 2 metro, siendo así que en el tronco tuvo menor presencia de especies líquénicas. Como indica (Méndez & Campos, 2015) las especies crecen en mayor abundancia en zonas que reciben algo de humedad y luz solar, siendo la copa del árbol en donde se presenta mayor humedad.

Así también Figueroa en su investigación denominada "Comparación histórica de calidad del aire del sector las ferias – Bogotá, en donde encontró líquenes como: *Candelaria concolor* y *Physcia undulata* así también trabajó con un rango de IPA distinto que fue de 0 considerada como contaminación máxima hasta 7.9 considerado como contaminación mala, siendo así que analizó el IPA del año 2015 al 2017 en donde este fue ascendente teniendo así un IPA de 0.35 de calificación contaminación máxima.

En la investigación realizada se obtuvo una baja similitud de 33% de las especies entre las 3 zonas de estudio, así como también se menciona en la investigación de (Álvarez & Ordoñez, 2022) que a mayor diversidad y cobertura líquénica presenta menos alteraciones antrópicas en el ambiente, menor flujo vehicular y ausencia de industria.

Con relación a la diferencia que hay en la riqueza de las zonas de estudio, la zona 2 Hospital Carlos Monge Medrano que presentó mayor variedad y teniendo un comportamiento distinto al resto de zonas, pueda influir de forma positiva para mitigar el impacto que es provocado por los contaminantes a los líquenes, pues funciona como barrera de protección frente a la contaminación, que impide el paso del smog que se desprende del parque automotor (Rubiano & Chaparro, 2006).

CONCLUSIONES

- Primero:** En el estudio se reconocieron 3 especies en las 3 zonas, siendo estos *Chrysothrix sp2*, *Candelaria concolor* y *Lepraria sp1*. Lo cual, la mayor cantidad total de individuos en las 2 primeras zonas fue *Chrysothrix sp2*, no obstante, en la zona 3 la especie *Candelaria concolor* fue la que tuvo una cantidad mayor de individuos. Asimismo, la presencia recurrente de *Lepraria sp.* en las zonas 1 y 3, con su característica estructura de costra desigual verdosa, demuestra la adaptabilidad de la familia Stereocaulaceae a los diferentes forófitos de la ciudad.
- Segundo:** Se determinaron y establecieron tres zonas de estudio estratégicas (Parque Grau, Av. Circunvalación y Hospital Carlos Monge Medrano) que cumplen con los requisitos técnicos para el monitoreo de la calidad del aire. La selección se validó mediante la presencia de al menos 5 ejemplares arbóreos por zona, con circunferencias mayores a 50 cm y un estado fitosanitario óptimo, lo que garantiza un sustrato estable para el desarrollo de líquenes como bioindicadores.
- Tercero:** Se determinó que la Zona 2 (Avenida Circunvalación) es el punto con mayor impacto negativo, registrando el IPA más elevado (0.97), lo cual se correlaciona con la alta exposición al tráfico pesado. Por el contrario, la Zona 3 (Hospital Carlos Monge Medrano), aunque se mantiene en nivel de contaminación muy alta, presentó el IPA más bajo (3.10) y una mayor abundancia de cuadrantes ocupados (especialmente por *Lepraria sp.* con 21 cuadrantes), sugiriendo una ligera resistencia biológica o una menor presión vehicular en comparación con las otras zonas

RECOMENDACIONES

Primero: Debido a que se encontró *Punctelia punctilla* (un líquen folioso más grande y sensible), se recomienda realizar un seguimiento fotográfico semestral para medir el crecimiento del talo, ya que cualquier reducción en su tamaño o cambio de color marrón a grisáceo sería una señal temprana de alerta sobre el aumento de la contaminación en el área hospitalaria.

Segundo: Debido a las diferencias de flujo vehicular identificadas (especialmente el nivel alto en la Av. Circunvalación), se recomienda realizar muestreos estacionales (época seca y época de lluvias). Esto permitirá determinar si la respuesta de los bioindicadores varía ante la dispersión de contaminantes por el viento o el lavado de sustancias por las precipitaciones en estas zonas específicas

Tercero: Se recomienda la implementación de planes de gestión de transporte y el incremento de áreas verdes con especies forestales que actúen como filtros naturales en estos puntos críticos de Juliaca, así también la plantación de especies arbóreas con alta capacidad de captura de material particulado.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acevedo, S., & Charry, Y. (2018). *Líquenes como bioindicadores de la calidad del aire* (Vol. 6, Issue 1) [Universidad Autónoma de Occidente]. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gde.2016.09.008><http://dx.doi.org/10.1007/s00412-015-0543-8><http://dx.doi.org/10.1038/nature08473><http://dx.doi.org/10.1016/j.jmb.2009.01.007><http://dx.doi.org/10.1016/j.jmb.2012.10.008><http://dx.doi.org/10.1038/s4159>
- Álvarez, A., & Ordoñez, P. (2022). *Determinación de la calidad del aire por medio de líquenes como bioindicadores en el área urbana del municipio de Tuluá, Valle del Cauca*. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-19352020000210528
- Asociación Automotriz del Perú. (2021). *Perú con la peor calidad de aire entre los países de la región*. <https://aap.org.pe/iqair-calidad-de-aire-peru-mala-aap/>
- Bringas, B., & Ambrosio, M. (2017). *Evaluación de líquenes como bioindicadores de contaminación atmosférica de origen vehicular en tres zonas del distrito de Cajamarca en el año 2017*. <https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/6618130>
- Chuquija, I. (2021). Contaminación del aire producido por el parque automotor de vehículos menores de la categoría I5 y su incidencia en el impacto vial en la ciudad de Juliaca [Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez]. In *Revista Científica Investigación Andina* (Vol. 1). <https://uancv.edu.pe/>



Coronado, K., & Castiblanco, D. (2019). *Líquenes como bioindicadores en la evaluación de la calidad del aire* [Universidad Distrital Francisco José de Caldas].

<https://repository.udistrital.edu.co/server/api/core/bitstreams/145b33c1-99ac-4c69-9fb6-7174825b0926/content>

Figueroa, E. (2017). Comparación histórica de la calidad del aire del sector las Ferias-Bogotá D.C. por medio de indicadores biológicos (líquenes). In *Universidad Militar Nueva Granada*.

<https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/16431>

García, Á., & Pineda, I. (2022). Líquenes como bioindicadores para la evaluación de la contaminación del aire por fuentes móviles. In *Braz Dent J.* (Vol. 33, Issue 1).

<https://repository.unad.edu.co/jspui/bitstream/10596/53855/1/amgarciaj.pdf>

Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, L. (2014). *Metodología de la investigación*.

Hernández, S., Fernández, C., & Baptista, L. (2013). *Metodología de la Investigación*.

INaturalistMX. (2020). *Líquen Lepraria sp.* 2.

<https://mexico.inaturalist.org/taxa/154184-Lepraria>

Jaccard, P. (1901). *Similitud de Jaccard*.

<https://medium.com/@shmyga.87/vectors-similarity-jaccard-similarity-b67925895fd2>

Jimenez, M. (2018). *Bioindicadores de la contaminación atmosférica*.



<https://www.upo.es/cms1/export/sites/upo/moleqla/documentos/Numero39/Destacado-2.pdf>

Labra, S., Choque, C., Cossi, H., Aquisé, S., & Lima, W. (2020). *Aplicación del impuesto selectivo al consumo sobre los combustibles como medida para mitigar la contaminación del aire en la ciudad de Juliaca.*

LeBlanc, F., & De Sloover, J. (1970). *Relation between industrialization and the distribution and growth of epiphytic lichens and mosses in Montreal.* Canadian Journal Botany.

Méndez, V., & Campos, C. (2015). *Cobertura de líquenes arborícolas y su relación con la orientación cardinal en parques municipales de la Gran Área Metropolitana de Costa Rica.*

https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1659-42662015000200313#:~:text=En nuestro estudio fue en,colonizan las poblaciones de líquenes.&text=A Ligia Jeannette Bermúdez por sus recomendaciones estadísticas

Ministerio de Educación España. (2019). *Líquenes.* Proyecto Biosfera. <http://recursos.cnice.mec.es/biosfera/alumno/1ESO/clasica/contenidos17.htm>

Ministerio del Ambiente. (2021). *Calidad del aire.* <https://infoaireperu.minam.gob.pe/calidad-de-aire/>

Ministerio del Ambiente Colombia. (2015). *Ficha de antecedentes de especie Candelaria concolor.* https://clasificacionespecies.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2019/10/Candelaria_concolor_14RCE_FINAL.pdf



- Ministerio del Ambiente Colombia. (2016). *Ficha de Antecedentes de Especie Chrysothrix*. https://clasificacionespecies.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2019/10/Chrysothrix_granulosa_14RCE_FINAL.pdf
- Museo Nacional de Costa Rica. (2021). *Líquenes y contaminación*. <https://www.museocostarica.go.cr/divulgacion/articulos-educativos/liquenes-y-contaminacion/>
- National Geographic. (2024). *La Contaminación del aire*. <https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/contaminacion-aire-atmosferica>
- Organización Mundial de Salud. (2016). *Estimaciones nacionales sobre la exposición de la contaminación del aire y sus repercusiones para la salud*. <https://www.who.int/es/news/item/27-09-2016-who-releases-country-estimates-on-air-pollution-exposure-and-health-impact>
- Palomino, R. (2020). *Evaluación de la calidad del aire mediante líquenes como bioindicadores ambientales en la ciudad de Ilo*. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://repositorio.upt.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12969/1700/Palomino-Quispe-Rosalia.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Pardo, A. (2017). Líquenes como bioindicadores de la calidad del aire [Universidad Complutense Madrid]. In *Tesis*. <https://docta.ucm.es/rest/api/core/bitstreams/f10c1f96-0305-4484-b82d-634357f9c0f0/content>
- Ramos, D., Quipuscoa, V., Durand, K., & Huallpa, J. (2014). *Diversidad de*



líquenes en el Anexo de Tuctumpaya, distrito de Pocsi, Arequipa, Perú.

<https://www.imod.org.pe/attachments/article/81/Ramos> et
al._2013_Tuctumpaya_líquenes.pdf

Rubiano, L., & Chaparro, M. (2006). *Delimitación de áreas de isocontaminación atmosférica en el campus de la Universidad Nacional de Colombia mediante el análisis de bioindicadores (líquenes epífitos)* (Acta Bioló).

Thakur, M., & Bhardwaj, S. (2024). *Los líquenes como bioindicadores eficaces para el seguimiento de los cambios ambientales: una revisión exhaustiva 2024.*

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2950395723000012>

Torres, M. (2019). Líquenes: Los bioindicadores de la calidad del aire [Universidad Nacional Toribio Rodriguez de Mendoza de Amazonas]. In *Ecología* (Issue 14).

[http://repositorio.untrm.edu.pe/bitstream/handle/UNTRM/2067/Torres
Sanchez Maria Estelita.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.untrm.edu.pe/bitstream/handle/UNTRM/2067/Torres_Sanchez_Maria_Estelita.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Valdivia, D., & Ramírez, Á. (2018). Uso De Líquenes Como Bioindicadores De Contaminación Atmosférica En El Pasivo Ambiental Minero Santo Toribio, Áncash, Perú. *The Biologist*, 16(1), 77–95.
<https://doi.org/10.24039/rtb2018161223>

Villamar, O. (2018). Evaluacion de la calidad del aire mediante el indice de pureza ambiental y el analisis de metales pesados en el liquen *Xanthoparmelia* sp. (Vain.) Hale en la ciudad de Puno [Universidad Nacional del Altiplano]. In *Tesis.*



https://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14082/10169/Villamar_Valdivia_Oskar_Guillermo.pdf?sequence=3&isAllowed=y



ANEXOS

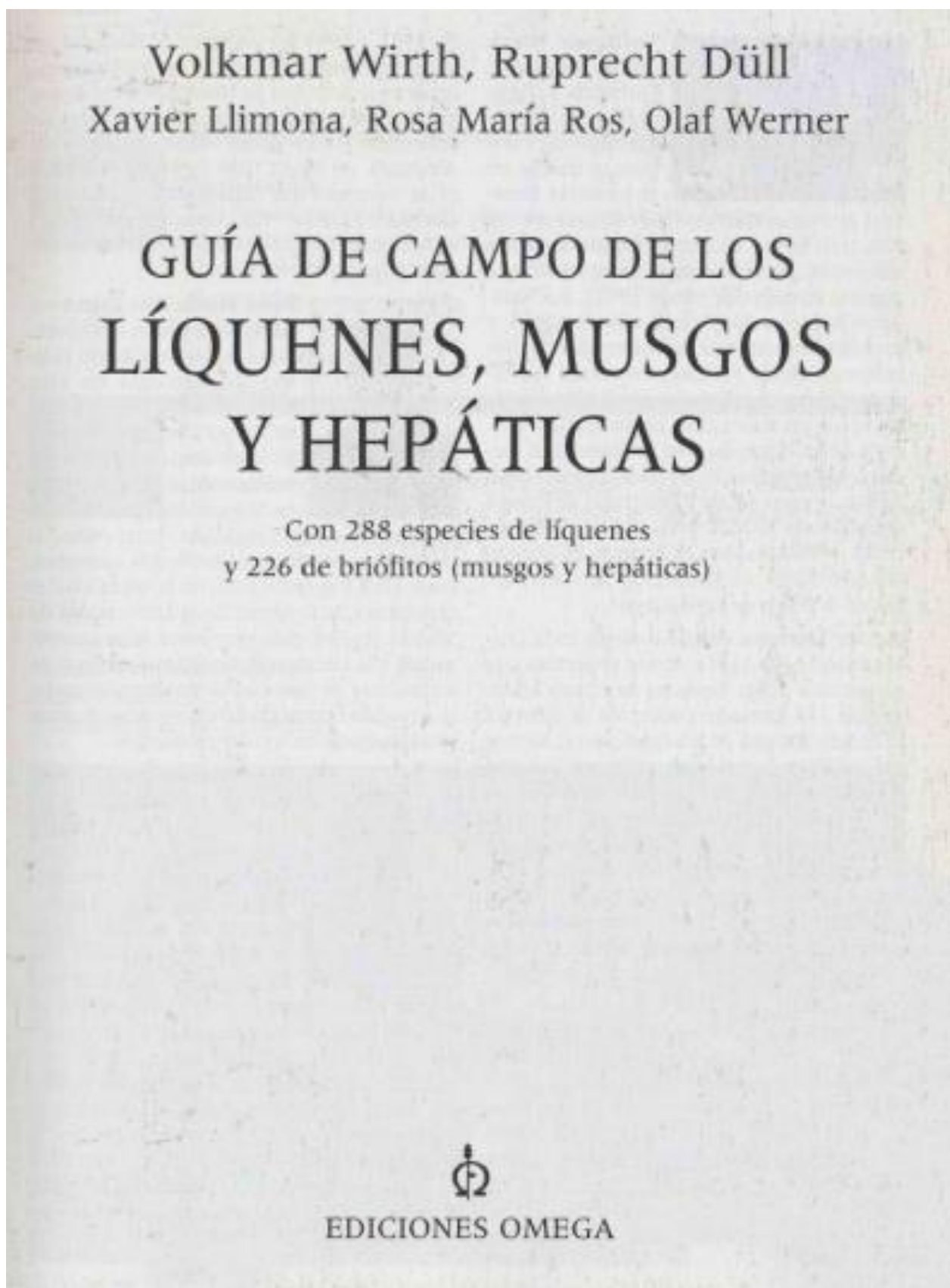


Anexo 1. Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADOR	VALOR FINAL	TIPO DE VALOR	METODOLOGÍA	
General	General	La calidad del aire mediante el uso de líquenes como bioindicadores , es muy alta en la ciudad de Juliaca, 2024	Variable de interés Calidad del aire	Índice de Pureza Ambiental	Muy alta	Categórica ordinal	Tipo de investigación	
¿Cuál será la calidad del aire empleando líquenes como bioindicadores en la ciudad de Juliaca, 2024?	Evaluar la calidad del aire empleando líquenes como bioindicadores en la ciudad de Juliaca, 2024				Alta	Categórica ordinal	Descriptiva	
					Moderado	Categórica ordinal	Diseño de investigación	
					Baja	Categórica ordinal	No experimental	
					Muy baja	Categórica ordinal	Instrumentos	
Específico	Específico		Variable de caracterización Líquenes como bioindicadores	Frecuencia de especies	Sumatoria de presencia	Categoría nominal	- Fichas de registro de campo - Método de la rejilla - Guía de identificación de especies de líquenes	
¿Cuál es la diversidad de líquenes presentes en la ciudad de Juliaca?	Determinar la diversidad de las especies de líquenes presentes en la ciudad de Juliaca.				Presencia de especies	Número de especies en la zona		Categoría nominal
					Morfología	Color		Categoría nominal
						Tipo		Categoría nominal
								Tamaño
¿Cuáles son las zonas de estudio para la evaluación de la calidad del aire en la ciudad de Juliaca?	Determinar las zonas de estudio para la evaluación de la calidad del aire en la ciudad de Juliaca.							
¿Cuál es el nivel de calidad del aire en las zonas de estudio de la ciudad de Juliaca, según los valores obtenidos mediante la aplicación del índice de Pureza Ambiental?	Aplicar el método del Índice de Pureza Ambiental en las zonas de estudio de la ciudad de Juliaca.							



Anexo 2. Diversidad de Líquenes en el Anexo de Tuctumpaya, Distrito de Pocsi, Arequipa, Perú



Prólogo

A muchos de los que se interesan por las plantas con flores (espermatófitos) o los que ya tienen conocimientos profundos sobre este grupo de plantas, les gustaría conocer mejor la diversidad de las plantas y profundizar en otros grupos menos vistosos o que viven en ambientes donde es más difícil verlos. Este libro ha sido pensado para animar a los aficionados a la naturaleza, a familiarizarse con los grupos de briófitos y líquenes, dando mucho peso a la identificación visual mediante fotografías. Puesto que una fotografía única no puede expresar nunca toda la variabilidad de una especie, se ofrece también la posibilidad de comprobar la identificación mediante una descripción amplia, en la que se da mucha información acerca de las posibles confusiones con otras especies o géneros. También se mencionan, dentro de lo posible, los caracteres de cada especie, o detalles interesantes. Se presenta asimismo una clave corta y muy sencilla, pensada para limitar el número de especies con las que comparar un ejemplar determinado, con el fin de que no haya que consultar demasiadas páginas. En muchos casos será posible determinar una especie a simple vista; no obstante, suele ser más seguro, y en algunos casos imprescindible, usar una lupa. Ésta abre un mundo nuevo, oculto para muchos.

La selección de los briófitos y líquenes ha sido para nosotros el resultado de un compromiso entre estos dos criterios: «tiene que ser una especie frecuente» y «debe ser una especie fácilmente reconocible». Puesto que el número de especies

otra especie. A la edición española se le han añadido numerosas especies mediterráneas o alpinas, raras o ausentes en Europa central.

Deseamos que los usuarios del libro tengan momentos agradables y mucho éxito cuando intenten identificar las especies, y esperamos que los briófitos y los líquenes conquisten con ello muchos nuevos amigos.

Agradecemos a todos los que nos han ayudado, en las fotografías a W. Glöckner, Prof. Dr. H. M. Jahns, Dr. G. Schwab, Dr. S. Woike, J. Wunder y especialmente al matrimonio formado por el Dr. Kurt Rasbach y Helga Rasbach por su extraordinario interés cuando se trataba de conseguir las fotografías que faltaban de briófitos, y a la Dra. F. Lo-Kockel, Sr. H. Payerl, Dr. F. Schumm y Sr. U. Schwarz por sus indicaciones y su trabajo como guía en las excursiones. Queremos expresar también nuestra gratitud al Prof. Dr. U. Kirschbaum, quien nos dejó los textos sobre varias especies.

Duisburg, Stuttgart
Ruprecht Düll, Volkmar Wirth

Los líquenes: dónde se encuentran y cómo se recolectan

Los líquenes son organismos de crecimiento lento que viven varios años, decenios e incluso siglos. Por ello no pueden competir en lugares donde las plantas superiores forman una capa de vegetación densa. Solamente *Cetraria islandica*, *Cladonia rangiferina* (y otros líquenes de los renos) y unos pocos más, suelen formar céspedes densos, cubriendo gran parte de la superficie de prados pobres en nutrientes o de brezales bajos. Los demás líquenes que viven sobre suelo se encuentran entre la vegetación abierta, en taludes y bordes de caminos, en lugares rocosos o con poco suelo. Además, también hay muchos líquenes que crecen sobre roca desnuda, corteza de árboles y madera y, ocasionalmente, sobre briófitos, todos ellos, nichos ecológicos vedados a los espermatófitos, que son generalmente más vigorosos en nuestro clima. En las regiones de montaña hay mucha diversidad de líquenes, donde crecen muy bien, aunque también pueden desarrollarse céspedes llamativos de líquenes en las llanuras, sobre sustratos arenosos, pobres en nutrientes.

Para la recolección se necesita, en el caso de los líquenes que viven sobre corteza, madera o suelo, una navaja para separar las muestras. Cuando se trata de líquenes de roca, son indispensables un martillo y un cincel para desprender fragmentos delgados de roca colonizada por líquenes. Al cortar la corteza de árboles se debe evitar herir el tejido vivo (de color claro). Es imprescindible disponer de una lupa (adecuada a partir de 10 aumentos), para la localización de las especies pequeñas y para su posterior identificación.

Las muestras de líquenes se meten en bolsas o sobres de papel, en las que se apuntan los datos referentes al lugar de recolección y sus características. Las bolsas de plástico sirven únicamente para el transporte por poco tiempo, ya que, en ellas, las muestras empiezan a enmohecerse rápidamente. El material fresco todavía húmedo se debe extender sobre una mesa para que se seque, antes de guardarlo.

Cuando uno quiere tener un pequeño herbario para comparar muestras, entonces debe preparar bolsas de papel plegado reforzadas por una cartulina. Los líquenes crustáceos se pegan, junto con su sustrato, en la cartulina, pero no los líquenes foliáceos o fruticulosos, porque, en este caso, no podrían verse caracteres importantes para la identificación. No es necesario realizar ninguna preparación especial. Para evitar que los altere la acción de animales dañinos, se deben mantener los líquenes en un lugar seco. También hay que pegar en cada pliego una etiqueta en la que se habrá anotado todos los datos relevantes.

Muchas especies de líquenes son raras y están en peligro de extinción. Por ello es conveniente coger tan poco material como sea posible, o renunciar a ello y hacer una fotografía, cuando una especie es escasa en el lugar. Algunas especies alpinas son muy raras y están amenazadas fuera de las altas montañas, pero son comunes en los Alpes y allí sí pueden ser recolectadas. En las zonas protegidas (parques nacionales, naturales, reservas, etc.) la recolección está protegida o sujeta a permisos, que suelen concederse para objetivos científicos.

El estudio y la identificación de los líquenes

Generalidades

Este libro utiliza principalmente la fotografía como medio de identificación. Renuncia al empleo de claves, con la excepción de una muy sencilla, que se refiere a las formas de crecimiento y características del hábitat y conduce hasta un grupo de fotografías. La comparación meramente óptica tiene que confirmarse por medio del texto, que menciona los criterios más importantes para la identificación. Solamente en ocasiones se citan caracteres microscópicos. Siempre se mencionan las posibles especies o géneros con los que se puede confundir.

Para facilitar el uso del libro, las especies están ordenadas según su tipo de organización y su presencia sobre roca, suelo o corteza de árboles. Pero como hay algunas especies que pueden crecer tanto sobre roca como sobre corteza de árboles, cuando uno no llega a encontrar la especie, también conviene considerar las especies que viven sobre otros sustratos. Siempre hay que tener en cuenta que este libro contiene sólo una selección de especies (288 de entre las más de 2500 de la península Ibérica) y que, en consecuencia, no todas las especies que podemos encontrar en el campo están en este libro. En el proceso de selección de las especies se ha procurado que estén presentes todas las que son frecuentes y muchas de las especies raras pero especialmente bellas y vistosas.

Es posible identificar la mayoría de las especies con talo foliáceo y fruticuloso (véase más adelante) con la ayuda de una lupa e incluso, muchas veces, sin instrumento óptico alguno. Son caracte-

res importantes, por ejemplo, la forma y el color del talo y de las fructificaciones. Para la identificación de los líquenes crustáceos suele ser necesario utilizar un microscopio para poder analizar la forma de las esporas y su tamaño y la estructura de las fructificaciones. Pero la mayoría de los líquenes crustáceos tratados aquí se pueden reconocer sin estudios microscópicos.

Una ayuda importante a la hora de determinar líquenes es el color de las reacciones de los talos cuando se les aplica ciertas sustancias químicas. Pero no siempre es fácil conseguir los reactivos. Es probable encontrarlos en farmacias o en las empresas que se dedican a la venta de productos químicos.

Los caracteres en los que se basa la identificación de los líquenes

El aspecto del talo y de sus diferenciaciones

Color

La mayoría de las especies de líquenes tienen un color gris blanquecino hasta gris-parduzco, gris-verdoso, amarillo-verdoso, más raramente pardo, amarillo o anaranjado. Aunque el color es un carácter importante, siempre es problemático definir el color de un talo. A menudo es difícil describir el color de los líquenes. Solamente la práctica dará poco a poco una idea de lo que se entiende por determinados colores en algunas descripciones. Aquí las fotografías en color ayudan

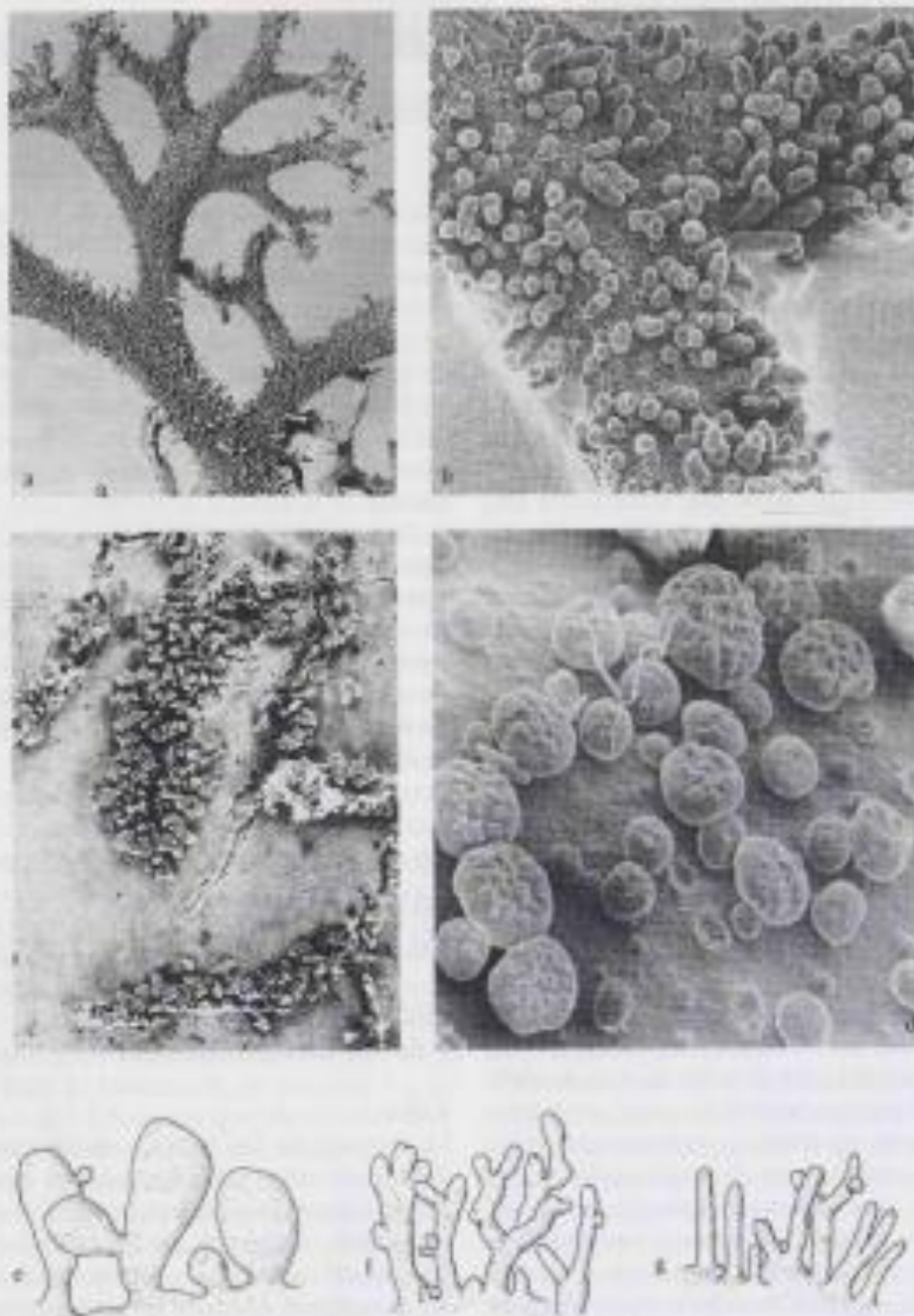


Figura 1. Isidios, a y b: isidios cilíndricos sobre el talo ramificado de *Pseudosclera farfugacea* (3 x y 30 x); c: isidios escumiformes, erectos, en grietas del talo de *Peltigera praetextata* (12 x); d: isidios con forma de botón de *Parmelia parvifera* (56 x); e: isidios con forma de espátula o claviformes (*Parmelia saxatilis*); f: isidios cilíndricos o coraliformes (*Parmelia elegantula*); g: isidios cilíndricos, simples o ramificados (*Parmelia glabrata*).

a superar las insuficiencias del lenguaje. De esta manera, una fotografía de *Paraselia caperata* o de *Usnea* nos muestra lo que se entiende por verdoso pálido hasta amarillo verdoso, mientras que la descripción sola, sin fotografía, puede dar lugar a malentendidos.

Tipos de organización

Se distinguen tres tipos principales de organización: talo crustáceo, talo foliáceo y talo fruticuloso. No se puede abarcar completamente a la multitud de formas de los líquenes con este esquema poco detallado, pero es muy útil para empezar con la identificación.

Los líquenes crustáceos son aquellos fijados por toda su extensión al sustrato, como si se tratara de una costra, con lo que carecen de cara inferior diferenciada. No se pueden separar del sustrato sin romper su integridad. Los talos pueden tener una superficie continua o pueden mostrar una fisuración que delimita en pequeñas areolas o estar formados por escamas.

Los líquenes foliáceos tienen un borde más o menos ampliamente lobulado, se extienden principalmente en dos dimensiones y se pueden separar del sustrato –con un poco de cuidado– en forma de trozos grandes o incluso el talo completo. Tienen una cara inferior diferenciada claramente visible. Generalmente están fijados al sustrato por órganos especiales (rizinas). Los líquenes umbilicados son líquenes foliáceos que se fijan al sustrato solamente por un punto situado más o menos en el centro (ombiligo).

Los líquenes fruticulosos crecen de forma tridimensional y no en dos dimensiones, y se caracterizan por su crecimiento preferentemente en longitud y no tanto en anchura. A este grupo pertenecen las especies con aspecto de barbas, que se distinguen por sus talos colgantes, filiformes, o bien con forma de arbusto, con ramas de sección circular. Existen otras

especies parecidas, pero cuyas ramas son acintadas (lacinias), de forma que el talo tiene un aspecto más robusto. Los líquenes fruticulosos en sentido estricto crecen de forma más o menos erecta y pueden presentar formas muy variadas, desde muy ramificados como un arbusto, hasta simples, como un palo, un cuerno, una lanza o una trompeta. Muchos de los líquenes fruticulosos se caracterizan por tener un talo basal, compuesto por escamas u hojitas adheridas al sustrato.

Soralios, soredios e isidios

Los soralios y los isidios se incluyen entre las estructuras más importantes para la identificación. Estos órganos sirven para la multiplicación vegetativa. La presencia y la forma de soralios e isidios son caracteres específicos. Los isidios son excrescencias con forma cilíndrica o de maza, a veces ramificadas como un coral y tam-

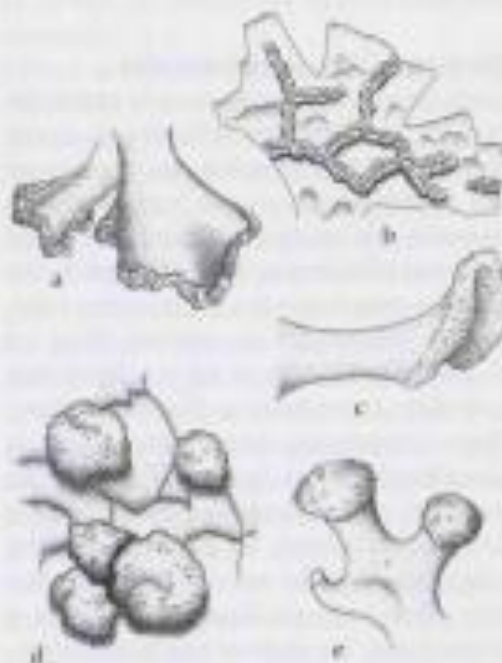


Figura 2. Soralios, a: soralios marginales, b: soralios lineares, c: soralio labiosepaloso, d: soralios umbiliformes, e: soralios capitiformes.

buen casi globulosas, situadas en la cara superior del talo (figura 1), del que se desprenden fácilmente. Si caen en un lugar adecuado, pueden seguir creciendo hasta originar nuevos talos del líquen. En general, tienen el mismo color que el talo y no se diferencian anatómicamente de forma notable de la parte del talo de la que proceden.

Los soralios son aberturas del talo con aspecto pulverulento, de color blanquecino hasta gris verdoso, que están compuestas por diminutos propágulos más o menos globulosos, llamados soredios. Estos suelen iniciar su diferenciación en la capa de las algas. La posición y la forma de los soralios varían de una especie a otra. Pueden estar situados por toda la superficie, en el margen, en el extremo de los lóbulos, pueden tener un contorno linear-alargado o circular, ser cóncavos, convexos o casi labriformes (en forma de labio). La figura 2 muestra una representación de la diversificación de las formas.

Rizinas, cilios, pseudocifelas

Las rizinas se encuentran en la cara inferior de los líquenes foliáceos y sirven para fijar el talo al substrato. Pueden tener forma simple, o con ramificaciones laterales que les dan aspecto de un pincel o de escobilla limpia-tubos (figura 3). En algunas pocas especies de líquenes foliáceos y fruticulosos de nuestra flora, en el margen del talo o en su ápice hay apéndices característicos (llamados cilios). Otras estructuras importantes para la identificación son las pseudocifelas. Se trata de perforaciones o interrupciones delicadas del córtex, en forma de mancha o de línea, de color más claro, que aparecen sobre todo en líquenes foliáceos y fruticulosos. En algunas ocasiones se trata de un retículo y tienen la parte central ligeramente prominente (fotografías páginas 96 y 97).

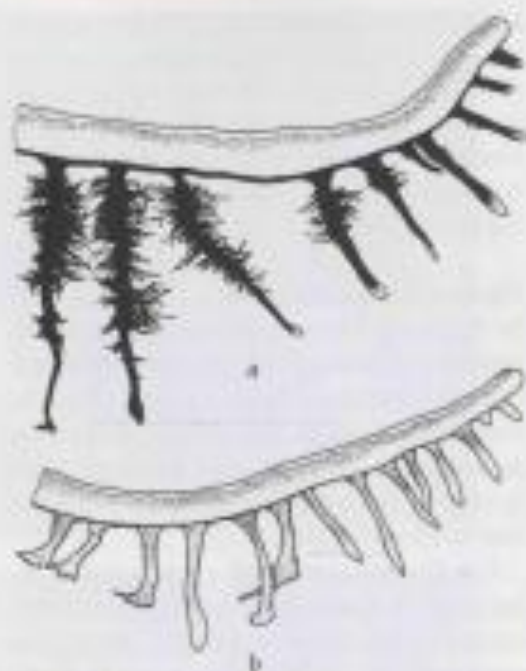


Figura 3. Rizinas. a: rizinas con ramificaciones en ángulo tecto (en forma de escobilla lava-tubos) de *Physcia distorta*. b: rizinas simples de *Physcia grisea* (de Purvis et al. 1992: The Lichen Flora of Great Britain).

Superficie del talo

La superficie del talo de los líquenes foliáceos y fruticulosos es –sin tener en cuenta la posible presencia de isidios y de soralios– desde lisa hasta arrugada, y a veces dividida por pliegues algo prominentes. En muchos líquenes crustáceos el talo está dividido en áreas poligonales más o menos aisladas (areolas) delimitadas por fisuras (talo fisurado-areolado). También puede estar formado por gránulos más o menos densos. En ocasiones, el talo está exclusivamente formado por gránulos sorediformes, que le dan un aspecto de capa farinosa (talo leprarioide).

Fructificaciones

Un buen número de los líquenes de nuestra flora se multiplican de forma ve-

getativa mediante sorellitos, isidios o fragmentos del talo. Estas especies no suelen desarrollar fructificaciones. En cambio, las especies que fructifican produciendo esporas, no suelen desarrollar órganos de multiplicación vegetativa.

Las fructificaciones de los líquenes las forma el hongo. Puesto que casi todos los hongos de los líquenes pertenecen a los ascomicetes, las fructificaciones son ascomas. Se distinguen dos tipos de fructificaciones, los peritecios y los apotecios.

Los *peritecios* tienen forma globulosa o piriforme. Su parte basal (algunas veces la fructificación completa) está inmersa en el talo, la parte superior suele sobresalir por encima del nivel del talo y tiene una forma desde más o menos convexa hasta hemisférica. Se abren únicamente mediante un poro (figura 6); las esporas se forman en un himenio, que está completamente rodeado por una pared o por el talo. Los peritecios no tienen margen claramente diferenciado. En casi todas las especies de nuestra flora los peritecios son de color negro.

Los *apotecios* pueden ser desde planos hasta convexos, y su superficie, generalmente abierta y en forma de disco, queda bien visible. Los apotecios son estructuras que suelen estar claramente diferenciadas del talo, por su contorno circular, en forma de disco o copa, a veces pueden llegar a ser hemisféricos, de color muy variado, y a menudo con un margen bien diferenciado. Si éste tiene el mismo color que el resto del apotecio, el llamado disco del apotecio, se habla de un *margen propio*; si tiene el color del talo y por lo tanto contiene algas, como corresponde a la estructura del talo, se trata de un *margen talino*. Algunas veces los apotecios tienen forma desde ovalada hasta alargada o ramificada (lirelas).

Los siguientes caracteres tienen importancia para la identificación y, por lo tanto, se utilizan en las claves:



Figura 4. Cilios en los márgenes de los lóbulos de *Anaptychia ciliata*.

Tamaño: se refiere a la anchura (diámetro), en raras ocasiones (en fructificaciones con aspecto de afiller) a la altura (no se tienen en cuenta los valores muy extremos).

Forma: se considera el contorno (p, ej. redondeada o estirada) y la forma del disco (cóncava, plana, convexa).

Margen: cuando presenta un borde visible exteriormente. A menudo se pueden observar cambios en el grado de convexidad del disco o en la persistencia del margen, en función de la edad del apotecio: los apotecios jóvenes son planos y presentan el margen bien desarrollado; con la edad el disco se vuelve convexo y el margen puede ir desapareciendo gradualmente. Un margen talino suele tener el color del talo, mientras que un margen propio suele tener el color del disco.

Posición en el talo: se pueden distinguir fructificaciones prominentes, sésiles, parcialmente (más o menos) inmersas y completamente inmersas (es decir, aquellas que no sobresalen por encima del nivel del talo).

Estructura de los líquenes (anatomía)

El talo

En un líquen, el hongo, con un tejido formado a partir de estructuras filiformes (las hilas), que están más o menos soldadas, recubre una capa en donde abundan las algas unicelulares o raramente pluricelulares. Las algas se suelen concentrar en una zona específica (capa algal). El resto del líquen lo forma el hongo que, en general, es el que da forma al talo del líquen, al estructurar sus hilas (figura 3).

A menudo, las hilas del hongo forman junto a la superficie un córtex protector, de estructura diferenciada. Debajo del córtex se encuentra la capa algal, en la cual las algas están envueltas dentro del tejido de las hilas. Debajo de las algas hay una médula en general muy bien desarrollada, compuesta de hilas laxas. En los líquenes crustáceos, el talo se une al sustrato directamente por la médula. En los líquenes foliáceos y fruticulosos, la cara inferior suele tener otra capa de córtex, es decir, el córtex cubre toda la superficie del líquen. En la cara inferior se encuentran a menudo órganos especializados que sirven para la fijación al sustrato, como por ejemplo las rizinas.

Las fructificaciones

Los caracteres relevantes utilizados en este libro para la identificación no necesitan, en general, estudios anatómicos detallados. Para observar las características de las esporas es suficiente una preparación de un poco de himenio aplastado en agua (véase a continuación). Pero en algunos grupos problemáticos, puede ser muy útil realizar secciones finas de las fructificaciones, con el fin de asegurar la identificación.

No es muy difícil obtener las secciones. Resulta mucho más fácil cuando se

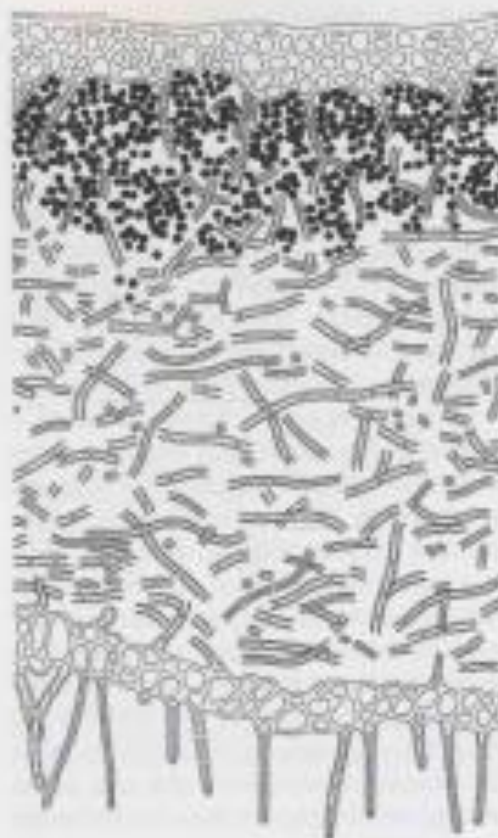


Figura 3. Corte semiesquemático de un líquen foliáceo. En la parte superior está el córtex, formado por un tejido denso de hilas del hongo, a continuación, la capa algal, seguida de la médula, que es muy gruesa y con hilas laxamente dispuestas y, por último, el córtex inferior.

dispone de una lupa binocular, que permite trabajar con las dos manos. Por lo menos en el caso de fructificaciones grandes, se pueden hacer secciones sin la ayuda de una lupa. Con una mano se sostiene el líquen, con la otra se efectúan, con una cuchilla de afeitar nueva, cortes verticales paralelos, perpendiculares a la superficie de la fructificación. Lo mejor es descartar primero una parte del exterior, más o menos una cuarta o una tercera parte, y después se cortan rebanadas muy finas como si de pan se tratara. Puede ser de gran ayuda inmovilizar

el objeto con el dedo, de manera que la uña esté casi vertical, para que pueda servir de «apoyo» para la cuchilla de afeitar. En algunos líquenes, las fructificaciones se desprenden fácilmente y entonces son poco manejables. En este caso, es aconsejable pegar la fructificación sobre una base de cartulina. No es difícil recoger los cortes mediante la cuchilla de afeitar (mejor húmeda) o con una aguja enmangada. Los cortes se depositan en una gotita de agua, sobre un portaobjetos, y se cubren con un cubreobjetos. Si los cortes no salen lo suficientemente finos se puede proceder a aplastarlos. Para hacerlo, se pone el portaobjetos con el cubreobjetos hacia abajo, sobre un papel de cocina o similar (en una superficie lisa) y se presiona.

Los apotecios constan principalmente del *himenio* y del *excipulo*. Este último envuelve al apotecio como un anillo o una copa. Visto desde encima, el himenio suele denominarse disco y el excipulo, margen. Bajo el himenio se halla el *hipotecio* (figura 7). El himenio se compone de hileras dispuestas más o menos verticalmente, las *paráfisis*; esta disposición paralela permite reconocer fácilmente el himenio al microscopio, en los cortes de las fructificaciones; entre las paráfisis se hallan los *arcos*, de forma cilíndrica, saciformes o claviformes (en forma de perra). En su interior maduran las esporas.

Las esporas se forman en general en grupos de ocho, pueden ser uni- o pluricelulares, con o sin color. Color, disposición y número de los septos, forma y tamaño, son los caracteres habituales usados para la identificación, pero en este libro se usan pocas veces, ya que exigen el uso de microscopio. El himenio está delimitado por el excipulo. Cuando éste contiene algas, se trata en general de un margen talino, reconocible desde el exterior por tener el mismo color que el talo. Si no las contiene, entonces se trata

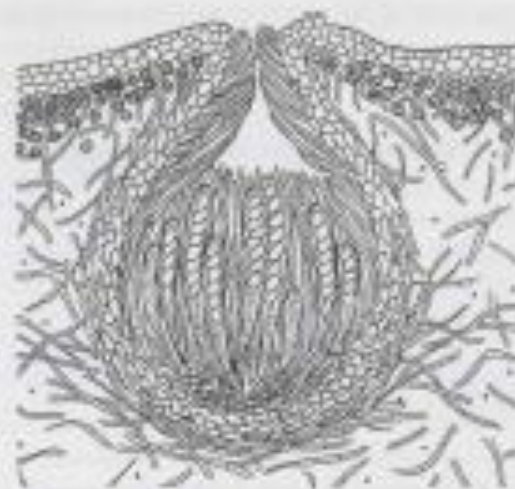


Figura 6. Corte esquemático por un pectecio (de Poelt, 1967, *Bestimmungsschlüssel europäischer Flechten*).

de un margen progo y su color es negro o distinto del de la superficie del talo.

Cuando para la identificación se requieren caracteres de las esporas o saber el color del epihimenio, basta en muchos casos con una preparación sencilla, por aplastamiento. Se humedece la fructificación, se deja que se rehidrate, se la desprende del líquen (mejor partiéndola en dos o tres trozos) y se aplasta en una gota de agua en un portaobjetos usando la hoja de una navaja.

Identificación con la ayuda de reacciones coloreadas

Muchos líquenes contienen sustancias del metabolismo secundario. El líquenólogo profesional puede identificarlas, p. ej., mediante cromatografía en capa fina. Algunas de estas sustancias son coloreadas y son la causa del color amarillo, verde-amarillento, pardo o rojo de muchas especies. Pero en su mayoría carecen de color. Son las que suelen encontrarse en la medula del talo.



Figura 7. Corte esquemático de un apotecio con margen propio (izquierda) y con margen taloso (derecha).

Una parte de estas sustancias incolores reacciona con reactivos como hidróxido potásico o hipoclorito sódico, formando sustancias coloreadas. Puesto que con frecuencia hay especies muy próximas que contienen sustancias químicas claramente diferentes, estas reacciones coloreadas pueden dar una información adicional muy importante y ser una ayuda sencilla para la identificación.

En la práctica, se aplica una gota lo más pequeña posible del reactivo en el lugar del talo que se quiere analizar, y se observa la reacción inmediata o gradual, que tarda, como regla general, un cuarto de minuto. A menudo el córtex (cara superior) y la medula muestran reacciones diferentes, por el hecho de contener sustancias químicas diferentes. Como algunas de las sustancias importantes para la identificación de las especies se encuentran en la medula, hace falta en estos casos realizar la reacción en esta parte del talo. Para ello, hay que poner al descubierto una superficie suficientemente amplia de la medula, mediante un corte casi paralelo a la superficie del talo. Cada uno desarrollará su propia técnica. Una posibilidad es, por ejemplo, coger la cuchilla de afeitar con el pulgar y el índice, por los lados no afilados, presionar para que se curve y cortar después con un ángulo muy pequeño respecto a la su-

perficie del líquen. Todo es más fácil si se hacen estas observaciones y manipulaciones bajo la lupa binocular. En el caso de los líquenes foliáceos, es recomendable efectuar el corte por la cara inferior ya que así se puede evitar una reacción paralela de la cara superior o por lo menos se logra que ésta interfiera menos.

Para realizar la reacción coloreada, se aplica el reactivo p. ej. con una pipeta, una varilla de cristal de extremo agudo o con la punta de acero de una navaja. A menudo las gotas adheridas a una pipeta son demasiado grandes, por lo que el reactivo se extendería por una superficie demasiado grande. Conviene evitarlo, sobre todo cuando se quieren observar reacciones diferentes de la medula y el córtex. Es mejor poner entonces con la pipeta una gota en el ángulo de una cuchilla de afeitar, quitar la solución sobrante y aplicar después.

Para observar la reacción, se separa un fragmento del talo, que se tirará después. Los reactivos queman la piel o son dañinos para la salud. Se debe evitar todo contacto con la piel. Especialmente, la *paraformaldehído* es bastante tóxica y provoca manchas en la ropa, en muebles y papel, que ya no se borran. En el caso de que se produzca contacto de las sustancias químicas con los ojos, hay que lavarlos con abundante agua.

Se necesitan las soluciones siguientes: 1. Hidróxido potásico (símbolo K). 2. Hipoclorito sódico, o hipoclorito cálcico (C). 3. Parafenilendiamina (P). Estos reactivos duran más tiempo si se guardan en botellas de vidrio color topacio y fuera de la acción de la luz. 4. Solución de yodo.

Hidróxido potásico

Se disuelven 2-4 g de hidróxido potásico en 20 ml de agua. La solución se conserva mucho tiempo. En algunos casos pueden producirse observaciones erróneas, ya que el K hace que el córtex se vuelva transparente y, como consecuencia, la capa algal subyacente puede dar la impresión de una reacción positiva amarillenta (Solución: comprimir sobre el punto al que se ha aplicado K un papel absorbente de color blanco y observar la coloración en el papel).

Solución de hipoclorito sódico

Hay que renovar de vez en cuando la solución comercial de hipoclorito sódico para obtener la reacción de C; lo idóneo sería hacerlo cada tres meses. La lejía o agua de Javel, es un producto de limpieza que sirve para esta reacción, pero también tiene una duración limitada. Las soluciones de hipoclorito cálcico (pulvos de gas) en agua pierden pronto su actividad y por eso son menos adecuadas. A menudo la reacción C es muy efímera, por lo que conviene estar muy atento en el momento de aplicar el reactivo. Para que la reacción se produzca con certeza, hace falta que haya un contacto total entre la solución C y el líquen. Una simple prueba con un líquen adecuado (p. ej. *Lecidea fuscata*, *Pertusaria rupicola*, *Diloria* o *Hypocynomyces scalaris*) nos permite saber si la solución está activa. En algunos casos es necesaria una reacción KC. Para realizarla, se aplica primero hidróxido potásico y después, en el mismo lugar, C. Por regla general,

este procedimiento refuerza la reacción C. Pero la reacción KC no siempre es idéntica a la reacción C.

Solución de parafenilendiamina

Este reactivo es tóxico y provoca manchas en la ropa, etc. (véase antes). En las descripciones de las especies se dan las reacciones con P, pero debe evitarse hacer esta reacción cuando no sea imprescindible para la identificación.

Según Steiner, se prepara el reactivo de la siguiente manera: 1 g de parafenilendiamina, 10 g de sulfito sódico y 1 ml de un detergente (p. ej. Fairy) en 100 ml de agua. Se conserva varios meses.

Una alternativa para la parafenilendiamina es el revelador 1 (Color Developer 1) de la empresa Merck. Se utiliza para revelar fotografías de color en las empresas especializadas. Se prepara como sigue:

Disolver 10 g de sulfito sódico deshidratado (Na_2SO_3) en 100 ml de agua destilada y añadir 3 g de N^o, N^o dietil-1,4-fenilendiaminasulfato (revelador de color), agitar hasta que esté completamente disuelto y añadir 1 ml de un detergente. La solución se mantiene por espacio de varios meses. P convencional y P alternativo dan los mismos resultados. Las reacciones del revelador aparecen casi al mismo tiempo que las otras y la tinción sale algo más pálida (anaranjada en vez de roja).

En el caso de líquenes oscuros (p. ej. *Bryoria*), la reacción coloreada se observa sobre un poco de papel absorbente blanco colocado sobre un portaobjetos. Se pone el líquen sobre el papel y se dejan caer algunas gotas de P sobre el líquen: los productos de la reacción se difunden sobre el papel blanco y así se observa su color mejor que en el líquen oscuro.

Solución de yodo

0,05 g de yodo, 0,15 g de yoduro de potasio y 25 ml de agua destilada.

Grupos artificiales de especies y claves para llegar a ellos

En esta guía, las especies ilustradas con una o dos fotografías no están dispuestas al azar. En efecto, para facilitar su identificación las hemos reunido en grupos artificiales (es decir, sin atender al parentesco entre las especies) basados en su parecido a simple vista o, a lo sumo, con ayuda de una lupa. También se ha tenido en cuenta como son sus fructificaciones, si las hay, y el substrato sobre el que viven: roca silíceas, roca caliza, corteza, suelo. En total, hemos distribuido las 288 especies en 21 grupos. Cuando se da el caso que una especie debería estar en más de un grupo (p. ej. si vive sobre corteza y también sobre roca), la hemos incluido en el grupo en el que tiene su óptimo.

Cuando deseemos identificar un líquen, buscaremos primero a qué grupo pertenece mediante las «Claves artificiales» de la página siguiente. Llegados al grupo correspondiente, cuyo contenido está indicado por una cifra romana y por la primera y la última página en que se tratan las especies que contiene, compararemos el líquen con las ilustraciones del grupo (indicado en el ángulo inferior interno de cada página). Si alguna de ellas concuerda con la muestra, podemos comprobar la exactitud de la identificación leyendo la descripción resumida (en cursiva, al principio del texto), o la descripción completa. En ellas, sólo se han usado los caracteres macroscópicos más descriptivos y estables, que corresponden a ejemplares típicos, en estado deshidratado si no se indica lo contrario. En algunos casos de líquenes crustáceos, sobre todo, se dan también detalles de las esporas. Sólo son útiles si se dispone de un microscopio. También son importantes

los caracteres químicos, indicados en el apartado «Reacciones». En muchos casos, una comparación entre la ecología observada y los datos contenidos en el apartado «Ecología y distribución» puede ayudar a evitar errores. Así, si hemos llegado a una especie mediterránea y nuestro ejemplar era de alta montaña, es probable que la identificación esté equivocada.

Si ninguna de las especies tratada en el grupo concuerda con la nuestra, pero alguna se le parece, conviene buscar en el apartado «Confusiones», donde están, brevemente caracterizadas, las especies frecuentes que más se le parecen.

Si a pesar de todo no encontramos nuestro líquen en la guía, puede ser que sea alguna de las aproximadamente 2200 especies que también viven en la península Ibérica pero no han tenido cabida en el libro. En estos casos, y siempre que se desee comprobar la exactitud científica de una identificación, recomendamos usar una Flora detallada, como la de Clauzade y Roux (1985, 1996, 2002) o de Purvis et al. (1992), u otras de las expuestas en la Bibliografía (p. 563). En la mayoría de los casos, estas obras exigen conocer los caracteres microscópicos y químicos. El manual de Dobson (2000), con numerosas fotos en color, es muy recomendable. Claro está que en las dos últimas obras, dedicadas a las Islas Británicas, faltan bastantes especies mediterráneas o alpinas de importancia. En castellano, son muy recomendables la guía de Calatayud y Sanz (2000), dedicada a los líquenes epífitos, y la de Barreno y Pérez-Ortega (2003), centrada en la flora atlántica de Asturias, con claves y descripciones detalladas.

Sistemática

Los géneros de los que se habla en esta guía ordenados según su parentesco

El objeto de esta guía es la fácil comparación entre los líquenes más importantes, para poderlos conocer e identificar en el campo. Por ello los hemos dispuesto según su parecido a simple vista, o con una lupa, y según el ambiente en que viven. Hemos llegado así a una agrupación práctica pero **artificial**, en el sentido que no refleja el parentesco real entre las especies y los grupos.

Hace más de 150 años que los biólogos están intentando averiguar la historia evolutiva de las especies. La motivación ha sido esencialmente intelectual, por el deseo de conocer el fascinante proceso de la evolución, que ha conducido a la riquísima diversidad de los seres vivos, tanto los extintos como los actuales. La historia evolutiva o **filogenia** (=origen de las estirpes) no sólo ha de satisfacer nuestra natural curiosidad, sino que nos permite ordenar el aparente caos de las especies, agrupándolas según su parentesco (**sistemática filogenética**).

En el caso concreto de los líquenes, el componente sobre el que basamos la ordenación es el micobionte, ya que es el más diversificado; por ello, los líquenes se llaman más propiamente hongos liquenizados.

El fenómeno de la liquenización es muy antiguo, de forma que los caracteres morfológicos macroscópicos y buena

parte de los microscópicos de las especies actuales resultan poco fiables para reconstruir una historia muy larga, de la que no tenemos, para orientarnos, sino un muy pobre registro fósil. Una mejora de la sistemática clásica (la de Zahlbruckner), se ha producido gradualmente gracias al empleo de caracteres como estructura y desarrollo de las fructificaciones y tipo de aparato apical de los ascos. Pero la aplicación a la liquenología, a partir de principios de la década de 1990, de técnicas moleculares que permiten comparar las secuencias de los ácidos nucleicos de una manera bastante estandarizada, ha hecho posible mejorar de forma substancial la evaluación del parentesco entre las especies. Ha nacido así una **filogenia molecular** que, reforzando a la clásica, está haciendo posible una continua mejora de la sistemática de los líquenes.

Esta última cambia con celeridad, como puede apreciarse consultando la revista electrónica Myconet (<http://www.umu.se/myconet/myconet.html>), dirigida por O. Eriksson (Umeå), que se actualiza continuamente. De ella entresacamos buena parte de los datos que nos permiten ordenar los géneros de esta guía según sus afinidades naturales, basándonos en los conocimientos disponibles. Es un esquema provisional, sujeto a los cambios impuestos por la publicación y análisis de nuevos datos relevantes, pero parece útil ofrecer una idea de cual es la visión de la sistemática de los líquenes en el momento de cerrar la edición.

División Ascomycotes (Ascomycota)

Clase Lecanoromicetes (Lecanoromycetes)

Orden Lichinales (Lichinales)

Familia Lichináceas (Lichinaceae): *Lichina*, *Lichinella*, *Synalissa*, *Thyrea*, *Anema*

Familia Hepiáceas (Hepiaceae): *Hepia*, *Epiphlea*

Familia Peltuláceas (Peltulaceae): *Peltula*

Orden¹

Familia Umbilicariáceas (Umbilicariaceae): *Lasallia*, *Umbilicaria*

Orden Lecanorales (Lecanorales)

Suborden Lecanorineas (Lecanorineae)

Familia Lecanoráceas (Lecanoraceae): *Lecanora*, *Rhizoplaca*, *Lecidella*, *Pleopseudium*, *Candelaria*, *Candelariella*

Familia Stereocauláceas (Stereocaulaceae): *Stereocaulon*, *Lepraria*

Familia Cladoniáceas (Cladoniaceae): *Cladonia*

Familia Crociniáceas (Crocyniaceae): *Leptocaulon*, *Botryolepraria*

Familia Parmeliáceas (Parmeliaceae): *Alectoria*, *Bryoria*, *Cetraria*, *Cetrelia*, *Cornicularia*, *Dactylina*, *Evernia*, *Hypogymnia*, *Imshaugia*, *Letharia*, *Menegazzia*, *Parmelia*, *Parmelopsis*, *Parmotrema*, *Platismatia*, *Protoparmelia*, *Pseudevernia*, *Usnea*, *Vulpicida*

Familia Physciáceas (Physciaceae): *Anaptychia*, *Buellia*, *Coccinocladium*, *Dimelaena*, *Diploicia*, *Diplozomma*, *Hafellia*, *Hyperphyscia*, *Phaeophyscia*, *Physcia*, *Physconia*, *Rinodina*

Familia Caliciáceas (Caliciaceae): *Calicium*

Familia Porpidiáceas (Porpidiaceae): *Clauzadea*, *Immeraria*, *Porpidia*

Familia Psoráceas (Psoraceae): *Glyphopeltis*, *Protoblastenia*, *Psora*

Familia Lecideáceas (Lecideaceae): *Hypocenomyce*, *Lecidea*

Familia Micareáceas (Micareaceae): *Micarea*, *Psilolechia*

Familia Catilariáceas (Catillariaceae): *Tuimia*, *Solenopsora*, *Sperastatia*

Familia Ramalináceas (Ramalinaceae): *Bacidia*, *Squammarina*, *Tephromela*, *Ramalina*

Familia Rhizocarpáceas (Rhizocarpaceae): *Rhizocarpon*

Familia Ophioparmáceas (Ophioparmaceae): *Ophioparma*

Familia² Flietidáceas (Phlyctidaceae): *Phlyctis*

Suborden Telosquistíneas (Teloschistíneas)

Familia Telosquistáceas (Teloschistaceae): *Fulgensia*, *Caloplaca*, *Xanthoria*, *Teloschistes*

Familia Fuscideáceas (Fuscideaceae): *Fuscidea*

Suborden Peltigeríneas (Peltigeríneas)

Familia Colematáceas (Collema-ceae): *Collema*, *Leptogium*

Familia Peltigeráceas (Peltigeraceae): *Peltigera*, *Solorina*

Familia Lobariáceas (Lobariaceae): *Lobaria*, *Pseudocyphellaria*

Familia Nefromatáceas (Nephromataceae): *Nephroma*

Suborden Acarosporíneas (Acarosporíneas)

Familia Acarosporáceas (Acarosporaceae): *Acarospora*, *Glypholechia*, *Sarcogone*

Familia Himeneliáceas (Hymeneliaceae): *Aspicilla*, *Lobothallia*, *Megaspora*

Suborden³

Familia Icmadofiláceas (Icmadophilaceae): *Icmadophila*, *Dibocis*, *Thamnosia*

Orden Agiriales (Agyriales)

Familia Agiriáceas (Agyriaceae): *Rimularia*, *Trapelia*, *Trapeliopsis*, *Xylographa*

Familia² Beomicetáceas (Baomycetaceae): *Baomyces*

Orden Pertusariales (Pertusariales)

Familia Pertusariáceas (Pertusariaceae): *Ochrolechia*, *Pertusaria*

Orden Gialectales (Gyalectales)

Familia Gialectáceas (Gyalectaceae): *Gyalecta*

Orden Ostropales (Ostropales)

Familia Grafidáceas (Graphidaceae): *Graphis*, *Placographis*

Familia Estictidáceas (Stictidaceae): *Petractis*

Familia Telotrematáceas (Thelotrema-
taceae): *Diploschistes*

Orden⁴

Familia Coniocibáceas (Coniocyba-
ceae): *Chaeroheca*

**Clase Quetotiriomicetes
(Chaetothyriomycetes)****Orden Verrucariales (Verrucariales)**

Familia Verrucariáceas (Verrucariaceae): *Verrucaria*, *Placocarpus*, *Catapyrenium*, *Eudocarpus*, *Dermatocarpus*,⁵ *Normandina*

Orden⁴ Pirenulales (Pyrenulales)

Familia Pirenuláceas (Pyrenulaceae): *Pyrenula*

Orden⁴ Tricotelliales (Trichotelliales)

Familia Tricoteliáceas (Trichoteliaceae): *Pyrenula*

**Clase Artoniomicetes
(Arthoniomyces)****Orden Artoniales (Arthoniales)**

Familia Crisotricáceas (Chrysothricaceae): *Chrysothrix*

Familia Artoniáceas (Arthoniaceae): *Arthonia*

Familia Rocceláceas (Roccellaceae): *Bactrospora*, *Dicrana*, *Leucomyrpha*, *Opegrapha*, *Rocella*, *Schismatomma*

**División Basidiomicetes
(Basidiomycota)****Subclase Agaricomycetidas
(Agaricomycetidae)****Orden Agaricales (Agaricales)**

Familia Tricolomatáceas (Tricholomataceae): *Lichenomphalia*

¹Dudoso como orden independiente.

²Posición dudosa en este orden.

³Dudoso como suborden independiente.

⁴Posición incierta en esta clase.

⁵Posición incierta en esta familia.



Bryoria fuscescens
(Gyelnik) Brodo & D. Hawksw.
(0,4 x y 4,5 x)

Características: Líquen con aspecto de barba, con talo fruticulososo péndulo, filiforme y ramificado, pardo, casi siempre con sorallios; generalmente en corteza de árboles, raramente en roca silicea. Talo de color pardo claro hasta pardo oscuro, también gris-parduzco, con aspecto de barba larga o de arbusto corto, compuesto por ramas filamentosas de sección circular, algunas veces también comprimidas, péndulo o pegado a la corteza/truca o inclinado, de 5-15 cm de longitud, aunque en regiones con aire algo contaminado, frecuentemente sólo hasta 3 cm. Ramas filamentosas (hasta de 0,5 mm de diámetro) laxamente bifurcadas. Sorallios frecuentemente presentes, pero generalmente en un número reducido, ausentes en ejemplares jóvenes o mal desarrollados, hasta de 0,7 mm de tamaño, en forma de verruga o alargados. Apotecios muy poco frecuentes.

GRUPO I



Reacciones: Talos K-, C-, KC-, P+ rojo o P-, medula P-, sorallios P+ rojo.

Confusiones: Se reconoce *Bryoria* por su talo filiforme (no laciniado), de color pardo hasta gris. Los talos de las especies de los géneros *Alectoria* y *Usnea* también tienen aspecto filiforme, pero son de color gris-verdoso pálido a amarillo-verdoso pálido. Dentro del género *Bryoria*, solamente pueden darse confusiones en regiones montañosas. La segunda especie más frecuente, *B. capillaris* (p. 34), tiene talos de color gris, con reacciones K+ amarillo y C+ fugazmente rosa. Otras especies de *Bryoria* son poco frecuentes y difíciles de identificar.

Ecología y distribución: En bosques, raramente en árboles aislados en campo abierto, también en postes o en vallas de madera; únicamente frecuente en lugares con abundantes nieblas. Desde las zonas de los bosques boreales de abetos hasta las regiones montañosas del Mediterráneo.



Bryoria capillaris

(Ach.) Brodo & D. Hawksw.

con *Evernia divaricata* (det., amarillenta)
(aprox. 1,5 x)

Características: Liqueen con talo fruticuloso péndulo, filiforme y ramificado, de color gris pálido o pardo claro, con sorallios presentes o ausentes; corticícola. – Talo de color gris claro hasta pardo claro, raramente pardo más oscuro, con aspecto de barba o laxamente filamentosos, fijado al substrato por un punto, con filamentos de sección circular, ramificados, algunas veces algo comprimidos, aplicados al substrato o péndulos, de 3-15 cm de longitud, y hasta 0,5 mm de diámetro, con bifurcaciones laxas. Sorallios escasos y, en ejemplares jóvenes, suelen estar ausentes, hasta 0,7 mm de tamaño y de verrucosos a lineares. Apotecios muy poco frecuentes.

Reacciones: Talo: K+ intensamente amarillo, C+ rojo (desaparece rápidamente y por eso también puede parecer C-), KC+ rojo, P+ intensamente amarillo; me-

dula P+ intensamente amarillo, sorallios P+ rojo-anaranjado.

Confusiones: *Bryoria fuscescens* (p. 33) es más frecuente, habitualmente de color pardo hasta pardo-negruzco y no reacciona con C ni con K. Las demás especies de *Bryoria* son poco frecuentes y difíciles de identificar. *Bryoria* se diferencia de los demás líquenes fruticulosos por su talo filamentoso de color entre gris y pardo. Los talos de las especies de *Alectoria* y *Umwet* tienen un talo también filamentoso péndulo, pero son de un color claramente amarillo o amarillo-verdoso. *Alectoria sarmentosa* es una especie poco frecuente, de bosques húmedos en zonas montañosas. Se parece a *B. capillaris*, pero sus filamentos, que son amarillentos, alcanzan un grosor de 1 (2) mm y no tienen sorallios.

Ecología y distribución: En regiones de montaña con temperaturas bajas, generalmente en bosques, en lugares con humedad ambiental elevada, también en árboles aislados. Desde la zona de los bosques boreales hasta el sur de Europa.



Usnea filipendula Stirton

(aprox. 0,8 x)

sin. *Usnea dasygota* auct.

Características: Líquen de talo gris verdoso a amarillento-verdoso fruticuloso péndulo, con muchas ramas cortas divergentes e isídios o soralios isidiíferos. Talo de color desde gris verdoso hasta amarillo-verdoso, péndulo, claramente más largo que ancho, hasta 15 (30) cm de longitud, aunque en lugares con un clima menos favorable, es claramente más corto; fijado al sustrato por un único punto; se ramifica, justo después de la base negruzca, en 4 hasta 6 ramas principales, que tienen 0,8 (1) mm de anchura, y éstas a su vez poseen muchas ramas laterales divergentes, de hasta 1 cm de longitud, claramente más finas, con papilas hemisféricas, que pue-

den llegar a ser, en raras ocasiones, cortamente cilíndricas y con grupos de isídios o soralios pequeños, que se vuelven isidiíferos. Apotecios muy poco frecuentes, con discos delgados, de color verde amarillento. Como en todas las especies de *Usnea*, el córtex de las ramas y filamentos se rompe al tirar de ambos extremos, dejando al descubierto un cordón central tenaz, de color blanco.

Reacciones: Medula K+ rojo, C-, P+ anaranjado.

Confusiones: Algunas de las especies del género son difíciles de identificar; por ello, el principiante no debe intentarlo con ejemplares jóvenes. Los talos bien desarrollados de esta especie se reconocen por su tipo de crecimiento péndulo, por sus ramas laterales dispuestas como las espinas de los peces, y por la presencia de isídios o de soralios isidiíferos (nunca pruinosos ni fistulosos) y la reacción K+ de la medula. A los demás géneros de líquenes fruticulosos péndulos de color parecido (*Alectoria*, *Ramalina*, *Evernia*), les falta el cordón central tenaz tan característico de las *Usnea*, y las papilas hemisféricas.

Ecología y distribución: Sobre todo en bosques de regiones con precipitaciones elevadas, especialmente en lugares con mucha niebla. En retroceso acusado, debido a la contaminación del aire y por influencia de la explotación forestal. Distribución amplia, desde los bosques aciculifolios boreales hasta las montañas de la Región Mediterránea.

Otros comentarios: El color amarillento-verdoso o amarillento-grisáceo, típico de las usneas, se debe a la presencia de ácido úsnico, que se encuentra en la corteza del talo. Este compuesto tiene efectos antibióticos y se emplea en medicina; entre otras aplicaciones, fue empleado contra la tuberculosis.



Candelaria concolor (Dickson) Stein (14 x)

Características: Liqueen foliáceo diminuto, finamente dividido, de color amarillo, en general sorediado. ~ Talo de color amarillo mate, ± finamente dividido, con lóbulos muy estrechos, de 0,2-2,0 mm de longitud y 0,1-0,3 (0,4) mm de anchura, a menudo reconocibles únicamente bajo la lupa, generalmente aplicados al sustrato, en ocasiones algo ascendentes, a menudo con soralios granulosos de color amarillo, en los márgenes o la superficie (cuando está muy sorediado, casi parece un líquen crustáceo). Cara inferior de color blanquecino, con rizinas simples, de color claro. Muy raramente con apotecios.

Reacciones: Insensible a los reactivos.

Confusiones: Las especies de *Xanthoria* que son también amarillas (sobre todo las especies sorediadas del grupo de *X. candelaria*) se diferencian fácilmente por su reacción K+ púrpura. Algunas formas reducidas crustáceo-sorediadas pueden

confundirse con *Candelariella reflexa*, pero se reconocen por las rizinas (que exigen observación cuidadosa a la lupa binocular). *Valpicida pinastri* (p. 126) tiene lóbulos mucho más robustos y crece sobre corteza ácida, en la montaña.

Ecología y distribución: Sobre todo en la corteza moderadamente rica en nutrientes y bases de árboles aislados (arces, fresnos, tilos, chopos, olmos), especialmente junto a carreteras y en árboles frutales. Poco frecuente, desde Fenoscandia hasta la Región Mediterránea.



Hypocenomyce scalaris

(Ach. ex Lilj.) Choisy

(4 × y 10 ×)

sin. *Leclidea scalaris* (Lilj.) Ach.

Características: Líquen con talo de color gris-oliváceo hasta parduzco, con escamas densas, ascendentes, con el margen sorediado. – Talo de color ocre, pardo, pardo-grisáceo a oliváceo, liso, mate o con brillo débilmente graso, compuesto por multitud de escamas pequeñas (0,5-2 × 0,05-0,15 mm), ± conquisiformes (en forma de concha), dispuestas como tejas (imbricadas), con su borde externo a menudo curvado hacia arriba (marginado) y allí, al igual que en la cara inferior, son sorediadas (soralios labriiformes). Cara inferior de color claro, mate, sin rizinas. Soralios de color gris, blanquecino o con tono amarillento. En muy raras ocasiones contiene apotecios, de color negro, con pruina azul; con margen propio.

Reacciones: K-, C+ rojo, KC+ rojo, P-.



Confusiones: Hay especies parecidas, poco frecuentes, que crecen casi siempre sobre madera quemada (en los Alpes). No reaccionan con C ni con KC. *Hypocenomyce caradocensis* tampoco da reacciones positivas, carece de soredios y sus escamas son menos desarrolladas y no curvadas en forma de concha.

Ecología y distribución: En la corteza ácida de árboles aislados y en bosques, preferentemente sobre coníferas y robles; en zonas con contaminación ácida, también sobre otras especies. Desde los bosques boreales hasta la Región Mediterránea (donde es rara), menos frecuente en regiones de clima oceánico (oeste de Europa).

Otros comentarios: Esta especie acidófila era anteriormente poco frecuente fuera de las altas montañas, pero se ha extendido por las plantaciones de coníferas y como consecuencia de la acidificación de las cortezas, lo que ha favorecido el desarrollo de las especies acidotolerantes como ésta.



Candelaria concolor (Dickson) Stein (14 x)

Características: Líquen foliáceo diminuto, finamente dividido, de color amarillo, en general sorediado. – Tilo de color amarillo mate, ± finamente dividido, con lóbulos muy estrechos, de 0,2-2,0 mm de longitud y 0,1-0,3 (0,4) mm de anchura, a menudo reconocibles únicamente bajo la lupa, generalmente aplicados al sustrato, en ocasiones algo ascendentes, a menudo con soralios granulados de color amarillo, en los márgenes o la superficie (cuando está muy sorediado, casi parece un líquen crustáceo). Cara inferior de color blanquecino, con rizinas simples, de color claro. Muy raramente con apotecios.

Reacciones: Insensible a los reactivos.

Confusiones: Las especies de *Xantharia* que son también amarillas (sobre todo las especies sorediadas del grupo de *X. candelaria*) se diferencian fácilmente por su reacción K+ púrpura. Algunas formas reducidas crustáceo-sorediadas pueden

confundirse con *Candelariella reflexa*, pero se reconocen por las rizinas (que exigen observación cuidadosa a la lupa binocular). *Vulpicida pinastri* (p. 126) tiene lóbulos mucho más robustos y crece sobre corteza ácida, en la montaña.

Ecología y distribución: Sobre todo en la corteza moderadamente rica en nutrientes y bases de árboles aislados (arces, fresnos, tilos, chopos, olmos), especialmente junto a carreteras y en árboles frutales. Poco frecuente, desde Fenoscandia hasta la Región Mediterránea.



Hypocenomyce scalaris

(Ach. ex Lilj.) Choisy

(4 × y 10 ×)

sin. *Leclidea scalaris* (Lilj.) Ach.

Características: Liqueen con talo de color gris-oliváceo hasta pardusco, con escamas densas, ascendentes, con el margen sorediado. – Talo de color ocre, pardo, pardo-grisáceo a oliváceo, liso, mate o con brillo débilmente graso, compuesto por multitud de escamas pequeñas (0,5-2 × 0,05-0,15 mm), ± conquisiformes (en forma de concha), dispuestas como tejas (imbricadas), con su borde externo a menudo curvado hacia arriba (marginado) y allí, al igual que en la cara inferior, son sorediadas (soralios labriformes). Cara inferior de color claro, mate, sin rizinas. Soralios de color gris, blanquecino o con tono amarillento. En muy raras ocasiones contiene apotecios, de color negro, con pruina azul; con margen propio.

Reacciones: K-, C+ rojo, KC+ rojo, P-.

Confusiones: Hay especies parecidas, poco frecuentes, que crecen casi siempre sobre madera quemada (en los Alpes). No reaccionan con C ni con KC. *Hypocenomyce aradocensis* tampoco da reacciones positivas, carece de soredios y sus escamas son menos desarrolladas y no curvadas en forma de concha.

Ecología y distribución: En la corteza ácida de árboles aislados y en bosques, preferentemente sobre coníferas y robles; en zonas con contaminación ácida, también sobre otras especies. Desde los bosques boreales hasta la Región Mediterránea (donde es rara), menos frecuente en regiones de clima oceánico (oeste de Europa).

Otros comentarios: Esta especie acidófila era anteriormente poco frecuente fuera de las altas montañas, pero se ha extendido por las plantaciones de coníferas y como consecuencia de la acidificación de las cortezas, lo que ha favorecido el desarrollo de las especies acidotolerantes como ésta.



Chrysothrix candelaris
(L.) J. R. Laundon
(2 x)

Características: Talo de aspecto leprothyoide muy difuso, de color amarillo vivo, común en fisuras de troncos o sobre rocas silíceas. – Talo crustáceo, no inmerso, delgado y muy poco delimitado, normalmente estéril, de color amarillo o amarillo verdoso, recubierto enteramente por soredios globosos, de hasta 0,1 mm de diámetro, de color amarillo intenso y brillante. Apotecios raramente presentes, con el disco de color anaranjado pálido, a menudo pruinoso.

Reacciones: Talo K- o K+ naranja oscuro, C-, KC- y P- o P+ naranja.

Confusiones: Es muy característica la disposición difusa del talo sobre la corteza, raramente en la base del tronco, pero especialmente lo es el color amarillo luminoso de los soredios, que diferencia esta especie de otras del género *Lepraria*. Algunas *Caloplaca* presentan también un

talo amarillo y sorediado, pero todas reaccionan K+ púrpura; *Caloplaca tambohyta* (p. 308) de talo sublobulado, calcícola, y *C. citrina* (p. 243). *Chrysothrix chlorina* (p. 304) es una especie saxícola, con soredios más grandes (hasta 0,2 mm).

Ecología y distribución: Crece en fisuras sombreadas de troncos de corteza rugosa, y más raramente también sobre rocas silíceas, en localidades húmedas. Muy frecuente en toda Europa.

Otros comentarios: La variabilidad en las reacciones químicas obedece a la existencia de diversas razas químicas de la misma especie (con ácido pinástrico o calcínico).



Lepraria incana (L.) Ach.
(aprox. 3 ×)

Características: Liqueen crustáceo de color blanco-grisáceo hasta blanco-verdoso, completamente pruinoso-sorediado, sin apotecios. – Talo de color blanco-grisáceo, con tono verde o azulado, completamente sorediado, difusamente delimitado, soredios de 50-125 µm de diámetro.

Reacciones: Sin reacciones. UV+ blanco.

Confusiones: Hay varias especies de *Lepraria* muy parecidas, que no se pueden identificar sin estudiar su composición mediante cromatografía en capa fina. Un buen método para la identificación de esta especie en concreto es su fluorescencia blanca bajo luz ultravioleta. *Lepraria rigidula* tiene en general un talo de color blanco, que se compone de gránulos algo más gruesos, a menudo con aspecto erizado (lupa binocular). Los ejemplares estériles de *Lepraria canariensis* (p. 295) son de color verdoso hasta amarillo-verdoso y se diferencian sin lugar a duda por su reacción P+ rojo. *Lepraria exilis* (p. 296) tiene el talo de color verde-amarillento claro, más finamente pruinoso, y se tiñe C+/KC+ anaranjado. *Le-*

proaulon microsporum (p. 305) presenta los soredios, glaucos, sobre finas ramificaciones del talo. Sobre madera reblandecida aparecen revestimientos granulosos, de color verde intenso, que pertenecen a la fase *Borrifina* del basidioliqueen *Lichenomphalia umbellifera* (p. 311).

Ecología y distribución: Es la especie más común de *Lepraria* en regiones con aire contaminado. Prefiere lugares con aire húmedo, sombreados, no expuestos a la lluvia directa, como en las grietas de cortezas de árboles. Coloniza los árboles con corteza de pH bajo. Frecuente desde la zona boreal hasta la submediterránea.

Otros comentarios: Se llama *Lepraria* por su aspecto pulverulento y poco organizado. Antes se creía que se trataba de líquenes primitivos, pero la presencia de sustancias químicas muy complejas muestra que estas especies derivan de líquenes muy evolucionados y que la disgregación del talo para formar costras pulverulentas es una adaptación al aumento de la superficie en lugares donde no llega la lluvia. Los datos moleculares recientes las relacionan con los *Stereocaulon* (p. 67 y 68).



Anexo 3. Ficha de campo

FICHA DE CAMPO

LUGAR:

ESTACIÓN:

FECHA DE RECOLECCIÓN

DESCRIPCIÓN DEL ÁREA

FOROFITO:

DIÁMETRO DEL ÁRBOL:

COORDENADAS:

Fuente: Palomino (2022)

Anexo 4. Panel fotográfico

Figura 13.

Zona 1 Parque Grau



Figura 14.

Zona 2 Av. Circunvalación Este

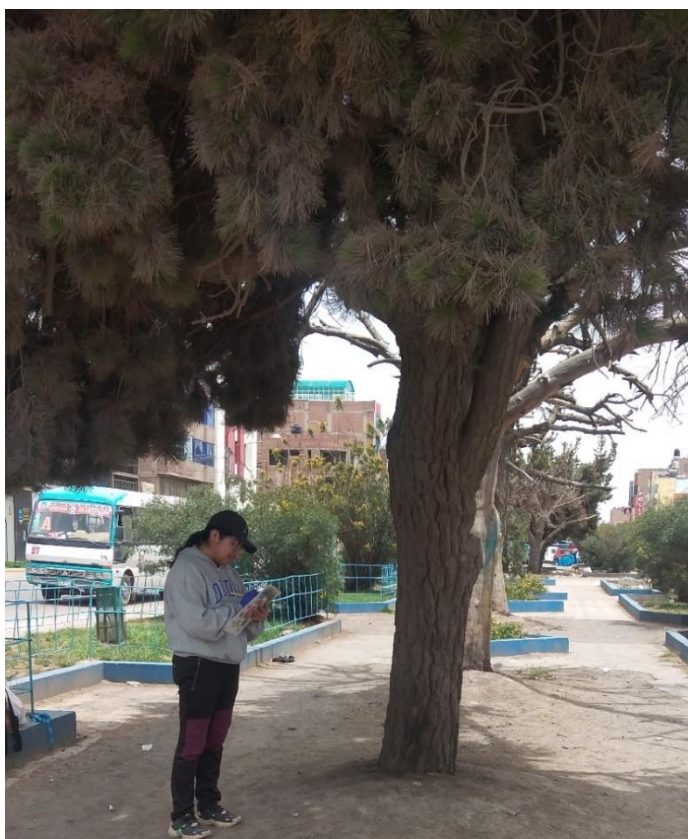


Figura 15.

Zona 3. Hospital Carlos Monge Medrano

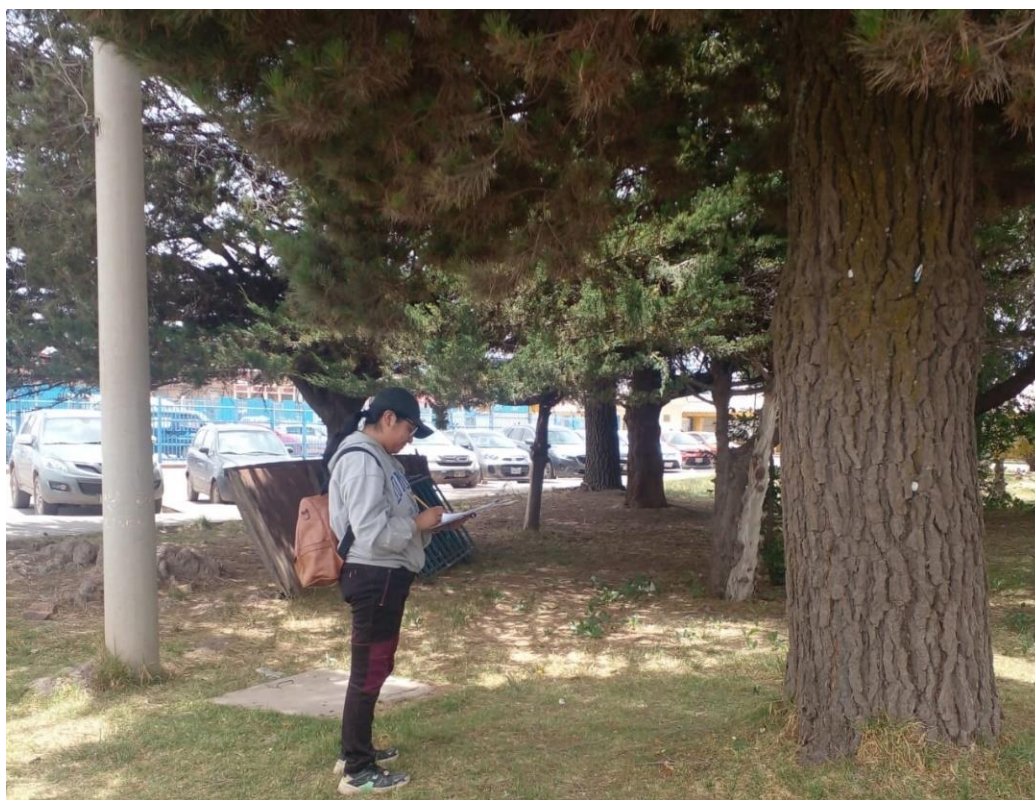


Figura 16.

Zona 1 Parque Grau, especie *Chrysothrix* sp2



Figura 17.

Zona 1 – Forofito 2



Figura 18.

Zona 1 – Forofito 3



Figura 19.

Zona 1 – Forofito 4



Figura 20.

Zona 1 – Forofito 5



Figura 21.

Zona 1 – Forofito 6



Figura 22.

Zona 2 – Forofito 1



Figura 23.

Zona 2 – Forofito 2



Figura 24.

Zona 2 – Forofito 3



Figura 25.

Zona 2 – Forofito 4



Figura 26.

Zona 2 – Forofito 5



Figura 27.

Zona 2 – Forofito 6



Figura 28.

Zona 3 – Forofito 1



Figura 29.

Zona 3 – Forofito 2



Figura 30.

Zona 3 – Forofito 3



Figura 31.

Zona 3 – Forofito 4



Figura 32.

Zona 3 – Forofito 5



Figura 33.

Zona 3 – Forofito 6





Anexo 5. Ficha de recolección en la zona 1

FICHA DE CAMPO

LUGAR:

Parque Grau

ESTACIÓN:

Zona 1

FECHA DE RECOLECCIÓN:

27 / 09 / 2024

DESCRIPCIÓN DEL ÁREA:

Presencia de mayor cantidad de líquenes en la parte superior del árbol (copa)

FOROFITO:

M1, M2, M3, M4, M5, M6

DIÁMETRO DEL ÁRBOL:

297 cm, 286 cm, 280 cm, 287 cm, 200 cm, 150

COORDENADAS:

X: 378378.85

Y: 8286171.85

M1	Chrysothrix	10
M2	Chrysothrix	5
	Lepraria sp.	4
M3	Chrysothrix	6
M4	Chrysothrix	5
	Lepraria sp.1	5
M5	Chrysothrix	4
M6	Chrysothrix	9



Anexo 5. Ficha de recolección en la zona 2

FICHA DE CAMPO

LUGAR: Av. Circunvalación Este

ESTACIÓN: Zona 2

FECHA DE RECOLECCIÓN: 28/09/2024

DESCRIPCIÓN DEL ÁREA:
Se encontro árboles en deterioro

FOROFITO: M1, M2, M3, M4, M5, M6

DIÁMETRO DEL ÁRBOL: 116cm, 155cm, 182cm, 195cm, 153cm, 177cm

COORDENADAS: x: 379438.52

y: 8305844.96

M1	Chrysothrix	5
M2	Chrysothrix	8
M3	Chrysothrix	4
M3	Candelaria concolor	2
M4	chrysothrix	3
M5	Chrysothrix	4
M6	Chrysothrix	3



Anexo 7. Ficha de recolección en la zona 3

FICHA DE CAMPO

LUGAR: Av. Perú Hospital Carlos Monge Medrano

ESTACIÓN: Zona 3

FECHA DE RECOLECCIÓN: 28/09/2024

DESCRIPCIÓN DEL ÁREA:

Se observa gran variedad de Liqueños, como es el Lepraria, así también se encontró musgos en las muestras

FOROFITO: M1, M2, M3, M4, M5, M6

DIÁMETRO DEL ÁRBOL: 153cm, 150cm, 192cm, 202cm, 260cm, 230cm

COORDENADAS: x : 3797 39.75

y : 8288053.58

		M1	Lepraria sp.1	9
		M2	Candelaria Concolor	1
		M3	Candelaria concolor	9
		M4	Lepraria sp.1	6
		M5	Lepraria	3
		M6	Lepraria	3



ANEXO 1 FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN

AUTORIZACIÓN PARA LA INCORPORACIÓN DE LOS TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL UANCV

Formato digital ☒

Fecha de entrega: 07-05-2026

1. Datos del autor (es):

Nombres y Apellidos: NADIA JULISA FIGUEROA QUISPE

Dirección: URB. LA RINCONADA II ETAPA MZ.C LT. 3

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: 73233670

Teléfono: 960979822 email: nadiaju97@gmail.com

Nombres y Apellidos: _____

Dirección: _____

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: _____

Teléfono: _____ email: _____

Facultad y/o Escuela de Posgrado: INGENIERIAS Y CIENCIAS PURAS

Escuela Profesional o Mención: INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL

Título o Grado Académico a optar: INGENIERO SANITARIO Y AMBIENTAL

Asesor: M.Sc. JESÚS ESTEBAN CASTILLO MACHACA

Esta obra se encuentra dentro de las siguientes denominaciones:

Trabajo de Investigación ☐ Tesis ☒ Trabajo de Suficiencia Profesional ☐ Trabajo Académico ☐

Título: EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE AIRE EMPLEANDO LÍQUENES COMO
BIOINDICADORES EN LA CIUDAD DE JULIACA 2024

Palabras claves, (3 a 5 términos): LÍQUENES, BIOINDICADORES, CALIDAD DELAIRE, ÍNDICE DE PUREZA AMBIENTAL

¿Esta obra se desarrolló en la UANCV ^{1,2}?

2

¹ Indicar si su producción intelectual ha empleado recursos tales como, instalaciones, laboratorios, insumos, equipos, bases de datos, asesoría técnica por parte del personal de la UANCV, financiamiento, entré otros relacionados.

² Si su producción intelectual se desarrolló en la UANCV totalmente o parcialmente, deberá autorizar el depósito en el Repositorio de manera obligatoria.



2. Referencia de tesis:

☐ Bachiller ☒ Título ☐ 2da Especialidad ☐ Maestría ☐ Doctorado

3. Licencias:

a) Licencia estándar:

Bajo los siguientes términos, autorizo el depósito de mi tesis en el Repositorio Digital de la UANCV.

Con la autorización de depósito de mi producción intelectual, otorgo a la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" una licencia no exclusiva para reproducir, distribuir, comunicar al público, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público mi producción intelectual (incluido el resumen), en formato físico o digital, en cualquier medio, conocido o por conocerse, a través de los diversos servicios por la Universidad, creados o por crearse, tales como el Repositorio Digital de tesis UANCV, colección de producción intelectual, entre otros, en el Perú y en el extranjero por el tiempo y veces que considere necesarias, y libres de remuneraciones.

En virtud de dicha licencia, la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" podrá reproducir mi producción intelectual en cualquier tipo de soporte y en más de un ejemplar, sin modificar su contenido, solo con propósitos de seguridad, respaldo y preservación.

Declaro que la producción intelectual es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, coautoría con titularidad compartida, y me encuentro facultado a conceder la presente licencia y, asimismo, garantizo que dicha producción intelectual no infringe derechos de autor de terceras personas.

La Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" consignará el nombre del y/o los autor(es) de la producción intelectual, y no le hará ninguna modificación más que la permitida en la licencia.

Autorizo su publicación (marque con una X)

- ☒ Sí, autorizo que se deposite inmediatamente.
- ☐ Sí, autorizo que se deposite a partir de la fecha (d/m/a): _____
- ☐ No autorizo.

b) Licencia CREATIVE COMMONS 4.0 INTERNACIONAL:

Si usted concede una licencia CREATIVE COMMONS sobre su producción intelectual, mantiene la titularidad de los derechos de autor de esta y, a la vez, permite que otras personas puedan reproducirla, comunicarla al público y distribuir ejemplares de esta, bajo las condiciones siguientes:

¿Quiere permitir usos comerciales de su producción intelectual?

Sí: significa que usted permite la reproducción, distribución y comunicación pública de la producción intelectual incluso con fines comerciales.

No: significa que usted permite la reproducción, y comunicación pública de la producción intelectual, pero sin fines comerciales.

- ☐ Sí autorizo
- ☒ No autorizo



Jurisdicción de su Licencia

Todas las licencias CREATIVE COMMONS son de ámbito mundial, sin embargo, usted puede elegir entre la opción "internacional" o una adaptada a su jurisdicción, como para el caso peruano.

La opción "internacional" emplea el lenguaje y la terminología de los tratados internacionales; en cambio, la adaptada a su jurisdicción, recoge las particularidades de la legislación peruana.

En consecuencia, la opción "internacional" goza de una mayor eficacia a nivel mundial, gracias a que tiene jurisdicción neutral. Mientras que la opción adaptada a la jurisdicción del Perú goza de una mayor eficacia ante los tribunales peruanos.



Internacional



Nacional

Línea de investigación: CONTAMINACIÓN Y CALIDAD AMBIENTAL - P22

Firma de Autor



huella digital

07-05-2026

Fecha