

UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



TESIS

**“EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE AIRE EN LA ZONA DE USO
TURÍSTICO Y RECREATIVO –SECTOR HUAMPAL DEL PARQUE
NACIONAL YANACHAGA CHEMILEN USANDO
Xanthoria parietina, COMO BIOINDICADORES”**

PARA OPTAR:

TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERA AMBIENTAL

PRESENTADO POR:

Bach. Mariela Alejandra Cutipa Vargas

TACNA – PERÚ

2019

UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**“EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE AIRE EN LA ZONA DE USO
TURÍSTICO Y RECREATIVO –SECTOR HUAMPAL DEL PARQUE
NACIONAL YANACHAGA CHEMILEN USANDO LÍQUENES,
COMO BIOINDICADORES”**

Tesis sustentada y aprobada el 18 de setiembre del 2019; estando el jurado calificador integrado por:

PRESIDENTE:



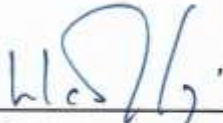
DR. RICHARD SABINO LAZO RAMOS

SECRETARIA:




M Sc. MARISOL MENDOZA AQUINO

VOCAL :



MTRO. CÉSAR HUANACUNI LUPACA

ASESOR :



M Sc. JOSÉ OSWALDO CAZORLA GALDOS

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Yo **MARIELA ALEJANDRA CUTIPA VARGAS**, en calidad de: estudiante de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada de Tacna, identificado (a) con DNI 70905257

Declaro bajo juramento que:

1. Soy autor (a) de la tesis titulada: Evaluación de la calidad de aire en la zona de uso turístico y recreativo –sector Huampal del Parque Nacional Yanachaga Chemilen usando *Xanthoria parietina*, como bioindicadores.
2. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas.
3. La tesis presentada no atenta contra derechos de terceros.
4. La tesis no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
5. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falsificados, ni duplicados, ni copiados.

Por lo expuesto, mediante la presente asumo frente a LA UNIVERSIDAD cualquier responsabilidad que pudiera derivarse por la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la tesis, así como por los derechos sobre la obra y/o invención presentada. En consecuencia, me hago responsable frente a LA UNIVERSIDAD y a terceros, de cualquier daño que pudiera ocasionar, por el incumplimiento de lo declarado o que pudiera encontrar como causa del trabajo presentado, asumiendo todas las cargas pecuniarias que pudieran derivarse de ello en favor de terceros con motivo de acciones, reclamaciones o conflictos derivados del incumplimiento de lo declarado o las que encontrasen causa en el contenido de la tesis, libro y/o invento.

De identificarse fraude, piratería, plagio, falsificación o que el trabajo de investigación haya sido publicado anteriormente; asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a la normatividad vigente de la Universidad Privada de Tacna.

Tacna, 18 de setiembre del 2019



Mariela Alejandra Cutipa Vargas

70905257

DEDICATORIA

A papá por sus desvelos, su esfuerzo y su amor infinito, Gracias padre por no cortarme las alas y apoyarme a ser feliz y contribuir con el mundo.

Gracias por darme el arma más poderosa para cambiar el mundo: La educación

AGRADECIMIENTO

A mi familia por su apoyo incondicional

Al Parque Nacional Yanachaga Chemillén y en especial a Elvis Camavilca Rueda y Tomas Ciriaco Antazú (alias el tigre) grandes guardaparques y amigos, gracias por apoyar mis proyectos, cuidar de mí y mantenerme con vida.

A M. Sc. José Oswaldo Cazorla Galdós por brindarme su apoyo y valioso tiempo

A mis maestros que contribuyeron a mi formación académica y personal.

ÍNDICE GENERAL

| | |
|--|-----------|
| DEDICATORIA..... | iv |
| AGRADECIMIENTO..... | v |
| ÍNDICE GENERAL..... | vi |
| CAPÍTULO I..... | 14 |
| PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... | 14 |
| 1.1. Descripción del problema..... | 14 |
| 1.2. Formulación del problema..... | 16 |
| 1.3. Justificación e importancia..... | 16 |
| 1.4. Objetivos..... | 17 |
| 1.4.1. Objetivo general..... | 17 |
| 1.4.2. Objetivos específicos..... | 17 |
| 1.5. Hipótesis..... | 18 |
| 1.5.1. Hipótesis general..... | 18 |
| 1.5.2. Hipótesis específicas..... | 18 |
| CAPÍTULO II..... | 19 |
| MARCO TEÓRICO..... | 19 |
| 2.1. Antecedentes del estudio..... | 19 |
| 2.2. Bases teóricas..... | 21 |
| 2.2.1. Líquenes..... | 21 |
| 2.2.2. Calidad de aire..... | 24 |
| 2.2.3. Bioindicación y biomonitorización..... | 25 |
| 2.2.4. Metodologías para cuantificar la calidad atmosférica con líquenes..... | 27 |
| 2.3. Definición de términos..... | 28 |
| 2.3.1. Líquen..... | 28 |
| 2.3.2. Líquen cortícola..... | 29 |
| 2.3.3. Parque Nacional..... | 29 |
| 2.3.4. Zona núcleo de reserva de biosfera..... | 29 |

| | | |
|---|---|----|
| 2.3.5. | Forofito | 29 |
| 2.3.6. | Simbiosis | 30 |
| 2.3.7. | Polutante | 30 |
| 2.3.8. | Bioindicador | 30 |
| 2.3.9. | Biomonitoreo | 30 |
| 2.3.10. | Bioacumulación | 30 |
| 2.3.11. | Contaminación Ambiental | 31 |
| CAPÍTULO III | | 33 |
| MARCO METODOLÓGICO | | 33 |
| 3.1. | Tipo y diseño de la investigación..... | 33 |
| 3.2. | Población y/o muestra de estudio..... | 33 |
| 3.3. | Operacionalización de variables..... | 34 |
| 3.4. | Técnicas e instrumentos para la recolección de datos..... | 35 |
| 3.5. | Procesamiento y análisis de datos..... | 37 |
| 3.6. | Interpretación de datos..... | 38 |
| CAPÍTULO IV | | 40 |
| RESULTADOS | | 40 |
| 4.1. | Selección de zona de muestreo..... | 40 |
| 4.2. | Valor diversidad liquénica..... | 42 |
| | Sector 1 | 42 |
| | Sector 2 | 44 |
| | Sector 3 | 46 |
| | Sector 4 | 48 |
| 4.3. | Clases de diversidad liquénica..... | 53 |
| CAPÍTULO V | | 57 |
| DISCUSIÓN | | 57 |
| CONCLUSIONES | | 59 |
| RECOMENDACIONES | | 60 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | | 61 |
| ANEXOS | | 65 |

| | |
|---|----|
| Anexo 1. Matriz de consistencia..... | 65 |
| Anexo 2. Información sobre localidad de árboles muestreados | 66 |
| Anexo 3. Mapa de zonificación del Parque Nacional Yanachaga Chemillén..... | 68 |
| Anexo 4. Mapa de distribución liquénica en la zona de estudio -Sector Huampal..... | 69 |
| Anexo 5. Fotografías de las especies encontradas..... | 70 |
| Anexo 6. Fotografías de la fase de campo | 73 |
| Anexo 7. European guideline for mapping lichen diversity as an indicator of environmental stress..... | 75 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Operacionalización de variables | 34 |
| Tabla 2. Densidad de grilla para diferentes escalas geograficas y tipos de estudio (en km) | 36 |
| Tabla 3. Número de arboles según el tamaño de la unidad muestral | 36 |
| Tabla 4. Distribución de árboles por sector | 40 |
| Tabla 5. Muestreo del sector 1 | 42 |
| Tabla 6. Muestreo del sector 2 | 44 |
| Tabla 7. Muestreo del sector 3 | 46 |
| Tabla 8. Muestreo del sector 4 | 48 |
| Tabla 9. Frecuencia de especies en la zona de muestreo. | 50 |
| Tabla 10. Clasificación de los valores de diversidad liquénica. | 54 |
| Tabla 11. Calidad de aire por sectores de la zona de muestreo..... | 54 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1: Flujograma de metodología..... | 33 |
| Figura 2 : Mapa de la zona de muestreo | 41 |
| Figura 3: Frecuencia de especies en el sector 1 | 43 |
| Figura 4 : Frecuencia de especies en el sector 2 | 45 |
| Figura 5 :Frecuencia de especies del sector 3..... | 47 |
| Figura 6 :Frecuencia de especies del sector 4..... | 49 |
| Figura 7:Frecuencia de especies en la zona de muestreo | 50 |
| Figura 8: Porcentaje de tipo de líquenes en la zona de muestreo | 51 |
| Figura 9: Frecuencia de especies según la orientación en la zona de muestreo..... | 52 |
| Figura 10 : Valor de diversidad liquénica en la zona de muestreo..... | 53 |
| Figura 11 : <i>Coenogonium implexum</i> | 70 |
| Figura 12 : <i>Leptogium cyanescens</i> | 70 |
| Figura 13 : <i>Parmotrema perlatum</i> | 71 |
| Figura 14 : <i>Hypotrachyna sinuosa</i> | 71 |
| Figura 15: <i>Leptogium cortícola</i> | 72 |
| Figura 16 : <i>Cryptothecia striata</i> | 72 |
| Figura 17 :Medición de la circunferencia de los árboles | 73 |
| Figura 18 :Georreferenciación de árboles..... | 73 |
| Figura 19 :Identificación de especies | 74 |
| Figura 20 : Muestreo de diversidad liquénica..... | 74 |

RESUMEN

De acuerdo al estudio realizado en la zona de uso turístico y recreativo—sector Huampal del Parque Nacional Yanachaga Chemillén, ubicado en el departamento de Pasco, provincia de Oxapampa, se evaluó la calidad de aire usando líquenes como bioindicadores, la metodología usada fue la “European guideline for mapping lichen diversity as an indicator of environmental stress”.

La zona de muestreo fue dividida en cuatro sectores de 0,25 km x 0,25 km para lo cual se muestrearon 12 árboles, de los cuales se seleccionó 3 árboles por sector. Donde se identificó seis especies de líquenes : *Coenogonium implexum*, *Parmotrema perlatum*, *Hypotrachyna sinuosa*, *Cryptothecia striata*, *Leptogium corticola*, *L. cyanescens*.

En la zona de muestreo predominó la especie *Coenogonium implexum* y la de menor presencia fue *Parmotrema perlatum*. Obteniendo mayor presencia de especies foliosas seguidas de las filamentosas y finalmente crustosos. De acuerdo a la orientación en los árboles, se observó mayor frecuencia en la orientación al oeste (W).

Se determinó cinco clases de diversidad líquénica, donde la clase moderado agrupo la mayor cantidad de sectores. La diversidad líquénica es proporcional a la calidad de aire, en este sentido concluimos que la calidad de aire en la zona de muestreo en el sector 1 es regular, en el sector 2 es buena, en el sector 3 es muy buena y en el sector 4 es de calidad de aire regular.

PALABRAS CLAVES: bioindicador, líquenes, Yanachaga Chemillén, calidad de aire

ABSTRACT

According to the study carried out in the area of tourist and recreational use-sector Huampal of the Yanachaga Chemillén National Park, located in the department of Pasco, province of Oxapampa, the air quality was evaluated using lichens as bioindicators, the methodology used was the "European guide for mapping lichen diversity as an indicator of environmental stress".

The sampling area was divided into four sectors of 0.25 km x 0.25 km for which 12 trees were sampled, of which 3 trees were selected per sector. Where six species of lichens were identified: *Coenogonium implexum*, *Parmotrema perlatum*, *Hypotrachyna sinuosa*, *Cryptothecia striata*, *Leptogium corticola*, *L. cyanescens*.

The *Coenogonium implexum* species predominated in the sampling area and the one with the lowest presence was *Parmotrema perlatum*. Obtaining greater presence of foliose species followed by the filamentous and finally crustose. According to the orientation in the trees, the highest frequency is found in the west orientation (W).

Five classes of lichen diversity were determined, where the moderate class grouped the largest number of sectors. The lichen diversity is proportional to the air quality, in this sense it concludes that the air quality in the sampling area in sector 1 is regular, in sector 2 it is good, in sector 3 it is very good and in the sector 4 is of regular air quality.

KEY WORDS: bioindicator, lichens, Yanachaga Chemillén, air quality

INTRODUCCIÓN

Toda nuestra calidad de vida depende de lo que la biodiversidad nos proporciona. El aire limpio, nuestros recursos hídricos, los recursos naturales, médicos, alimentarios, provienen directamente de la biodiversidad (Lineas verde mijas, 2018).

La calidad del aire se ve amenazado por la contaminación en el mundo, afectando la diversidad biológica y el bienestar humano, en áreas naturales protegidas la diversidad biológica representa un gran papel para el desarrollo de ecosistemas y supervivencia de las especies (Botero, 2015).

El Perú cuenta una gran cantidad y variedad de ecosistemas, aproximadamente un 80% del mundo las cuales han sido reconocidas y protegidas por el estado como áreas de conservación y que contribuyen en beneficio del desarrollo sostenible (PromPerú, 2019).

El Parque Nacional Yanachaga Chemillén, es un área natural protegida por el estado, la cual alberga especies nativas y conserva bosques, está ubicada en la selva central de nuestro país en el departamento de cerro de Pasco la cual provee de servicios ecosistémicos a la provincia de Oxapampa (SERNANP, 2015-2019).

Dentro de los recursos que el parque protege, se encuentra los líquenes quienes tienen la facultad de ser sensibles a los contaminantes en el aire, absorbiéndolos y almacenándolos al igual que los nutrientes ya sea en forma disuelta o gaseosa. En consecuencia pueden ser bioindicadores de la calidad del aire permitiéndonos evaluar el estado y a la vez la conservación de los bosques (Marino, 2016).

Para poder evaluar el estado de conservación o recuperación de un fragmento de bosque, utilizando líquenes como bioindicadores, se requiere del conocimiento previo de la diversidad presente en la zona, el comportamiento de estos organismos en esos lugares y la historia de las zonas muestreadas frente a la perturbación (Rose, 1976)

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción del problema

El Parque Nacional Yanachaga Chemillén (PNYCh) se encuentra ubicado en el departamento de Pasco, provincia de Oxapampa y abarca los distritos de Oxapampa, Villa Rica, Huancabamba, Pozuzo y Palcazú.

Pertenece a la zona núcleo de la reserva de biosfera Oxapampa-Asháninka-Yanesha la cual mantiene su cobertura vegetal y sus ecosistemas de selva baja, selva alta y de pajonal conservando especies de flora y fauna en situación de amenaza. Además, protege microcuencas hidrográficas las cuales proveen de agua a la población asentada en los distritos de Oxapampa, Huancabamba, Pozuzo, Palcazú y Villa Rica. (SERNANP, 2019)

Según el plan maestro del PNYCh la zonificación del Parque Nacional Yanachaga Chemillén se divide en cinco zonas: zona de protección estricta, zona silvestre, zona de uso especial, zona de recuperación y zona de uso turístico y recreativo. Se utilizó la zona de uso de uso turístico y recreativo por la accesibilidad e influencia de la carretera en la zona, el cual se divide en cuatro sectores: sector san Daniel, sector san Alberto, sector paujil y sector Huampal. (SERNANP, 2015-2019)

Se escogió la zona de uso turístico y recreativo- sector Huampal como área de estudio por ser un sector del parque que es atravesado por una carretera y por la facilidad de acceso para el estudio.

El sector Huampal se encuentra en la zona de uso turístico y recreativo del PNYCh, el cual comprende ambos márgenes de la carretera Huancabamba-Pozuzo, que sigue al cañón en el tramo comprendido entre el río Tunqui y la quebrada Honda-Huampal, cubriendo una distancia de 13 Km. La superficie de esta área es de 517,12 Ha. (SERNANP, 2015-2019)

Huampal alberga valores paisajísticos, áreas para avistamiento de fauna (collpa, leck de gallitos), miradores, zona de camping, quebradas, ríos torrentosos, caminos de herradura de los colonos, áreas de concentración de orquídeas, árboles de cedro, musgos y líquenes. Asimismo, se puede apreciar diversas especies de mamíferos, destacando entre ellas el mono choro, machetero, entre otros.

La intensificación de actividades antrópicas como agricultura, ganadería, extracción forestal, quema, apertura de trochas carrozables, entre otras en el ámbito del Parque Nacional Yanachaga Chemillén ha ocasionado fragmentación y pérdida de hábitat. (SERNANP, 2019)

En este caso se presenta la necesidad de saber la calidad de aire ya que esta podría afectar la diversidad biológica.

Por su sensibilidad a contaminantes en el ambiente los líquenes son excelentes indicadores ambientales. Entre los bioindicadores de contaminación mejor documentados, se encuentran los líquenes cortícolas, que son aquellos que se encuentran adheridos a la corteza de los árboles, estos son de gran utilidad para la detección y predicción de pérdidas de la biodiversidad. (David L. Hawksworth, 2005)

Hasta el momento se han generado gran cantidad de metodologías para calcular la calidad del aire a través de líquenes como bioindicadores y variaciones de metodologías a partir de cada investigador y cada país como el índice de pureza atmosférica (IPA), entre otros. Para estandarizar estos métodos, la Unión Europea editó una pauta denominada “European Guideline for mapping lichen diversity as an indicator of environmental stress” que explica claramente los lineamientos para hallar el índice de diversidad liquénica (LDV) (Riquelme, 2008).

En este sentido se puede reconocer el estado de conservación del sector Huampal y a largo plazo biomonitorearlo de acuerdo a su calidad de aire y la distribución liquénica presente o ausente en él.

1.2. Formulación del problema

¿Cuál es la calidad de aire de acuerdo a la diversidad líquénica en la zona de uso turístico y recreativo–sector Huampal del Parque Nacional Yanachaga Chemillén?

1.3. Justificación e importancia

El Parque Nacional Yanachaga Chemillén es un área de protegida por el estado. En el 2010 fue nombrada por la UNESCO como zona núcleo de la reserva de biosfera Oxapampa-Asháninka-Yánesha, en la actualidad existen 669 reservas de biosfera en el mundo, encargadas de conservar los ecosistemas para un desarrollo sostenible en el mundo, sus bosques cumplen un importante rol de provisión de servicios ecosistémicos. (UNESCO, 2019)

Los líquenes constituyen un componente esencial de la biodiversidad de este entorno protegido, por lo que se tiene un alto interés por conocer la conservación de estos ecosistemas, Por otro lado, los líquenes constituyen un excelente bioindicador del cambio climático por lo que aportan valiosa información en la lucha contra el calentamiento global.

Este estudio contribuiría con información útil para la conservación de los bosques y los recursos, ya que una vez identificados los forofitos, estos podrían ser monitoreados por los guardaparques y actores locales del PNYCh, de esta manera podríamos determinar la relación de la contaminación con algunos cambios en el hábitat, la condición o la viabilidad del liquen, y entregar información útil para la protección de los recursos del sector Huampal.

Relacionar la diversidad de organismos para detectar la calidad de aire tiene ventajas como el bajo costo de implementación y aplicación, los resultados rápidos y la posibilidad de proporcionar información acumulativa, integrada y discriminada gracias a su capacidad de respuesta frente a las alteraciones del medio, la cual nunca puede ser detectada a través de mediciones físico-químicas. (Rivera, 2008)

Esta metodología no solo sirve para indicar la presencia de contaminantes y permitir establecer niveles y comparaciones entre zonas, sino que también permite comparaciones temporales. Esto último es especialmente útil para evaluar los resultados de la aplicación de medidas de control y campañas de descontaminación, además de permitir establecer líneas base previa a la instalación de una fuente contaminante y evaluar el impacto de estas en su entorno. (J. Asta, 2003)

Mediante la presente investigación abarcaríamos dos problemas, el impacto en la diversidad biológica y la calidad de aire en la zona, para la conservación de la biodiversidad de la zona de uso turístico y recreativo—sector Huampal del Parque Nacional Yanachaga Chemillén.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Evaluar la calidad de aire usando líquenes, como bioindicadores en la zona de uso turístico y recreativo –sector Huampal del Parque Nacional Yanachaga Chemillén.

1.4.2. Objetivos específicos

- Analizar la diversidad líquénica en la zona de uso turístico y recreativo –sector Huampal del Parque Nacional Yanachaga Chemillén.
- Calcular el valor de diversidad líquénica y clases de diversidad líquénica en la zona de uso turístico y recreativo –sector Huampal del Parque Nacional Yanachaga Chemillén.

1.5. Hipótesis

1.5.1. Hipótesis general

La calidad de aire es buena en la mayoría de las zonas por la presencia de líquenes en la zona de uso turístico y recreativo –sector Huampal del Parque Nacional Yanachaga Chemillén.

1.5.2. Hipótesis específicas

- La diversidad liquénica en el sector 3 de la zona de uso turístico y recreativo–sector Huampal del Parque Nacional Yanachaga Chemillén son altas por la presencia de más fauna silvestre representativa del parque.
- La diversidad liquénica en los sectores 1 y 2 de la zona de uso turístico y recreativo–sector Huampal del Parque Nacional Yanachaga Chemillén son bajas por la influencia de la carretera.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del estudio

La primera aparición de los líquenes fue en el siglo XIX, posteriormente se descubrió su relación con el dióxido de azufre dando a conocer que este compuesto alteraba su crecimiento, distribución y salud, época donde surgieron más estudios donde relacionaban los líquenes con biomonitores, a la fecha existen 2000 trabajos publicados sobre el tema, entre ellos libros y una serie de literatura líquénica publicada en “the lichenologist” (1974-2000) (Rivera, 2008).

Actualmente los líquenes pueden detectar y monitorear una amplia gama de compuestos como (amoníaco, fluoruros, polvo alcalino, metales, hidrocarburos clorados), incluyendo también la lluvia ácida y la eutrofización. (Hawksworth, 2005)

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

En el 2003 la Unión Europea editó una pauta denominada “European Guideline for mapping lichen diversity as an indicator of environmental stress” donde J. Asta, W. Erhardt, M. Ferretti, F. Fornasier, U. Kirsch Baum, P. L. Nimis, O.W. Purvis, S. Pirintsos, C. Scheidegger, C. Van Haluwyn y V. Wirth proponen un método para analizar la diversidad y frecuencia líquénica sobre la corteza de árboles para el monitoreo de contaminación atmosférica. (Riquelme, 2008)

En el estudio de (Gonzales, 2016) se encontró que en el valle de Cochabamba la disminución de comunidades líquénicas se ve relacionado con el aumento de la contaminación en las zonas bajas donde el mes más frío y la altura influyen en la inversión térmica.

La calidad del aire varía de acuerdo a las características de las zonas (presencia de árboles, fuentes de contaminación, dirección del viento) siendo determinantes en la calidad del aire. La bioindicación con líquenes se basa en una regla básica: a mayor contaminación, las especies sensibles disminuirán y a menor contaminación las especies sensibles aumentarán (Figuroa y Montoya, 2015)

Existe una relación positiva entre los parques más alejados con mejor calidad ambiental y aumento en la riqueza de especies, mientras que se observa el patrón contrario para los parques situados en la urbe, donde se registró menor riqueza de especies. (Ochoa, Cueva, Prieto, Aragon y Benitez, 2015).

En el monitoreo realizado en Sierra Nevada por (R. Fernandez, 2013), evidencia de que los líquenes se ven muy afectados por el medio ambiente, la perturbación del origen humano y significativamente por los efectos del calentamiento global.

La distribución y cobertura de los líquenes y la calidad de aire parecen responder a tres factores: contaminación atmosférica por el tráfico vehicular y otras fuentes de emisión, dispersión de los contaminantes tales como tráfico vehicular y la extensión de las áreas con vegetación. (Canseco, R. Anze y M. Franken, 2006)

Según J. Garcia (2004) Al calcular el IPA de todos los árboles utilizados se crea una plancha que identifica los sitios de mayor contaminación la cual es conocida como "Mapa de estrés atmosférico".

En el estudio realizado por (Rivera, 2008) en el pueblo de Guayama, Puerto Rico, donde según la orientación el norte fue la zona con mayor diversidad de líquenes ya que en la zona sur, este y oeste solo se reportaron ausencia de líquenes y líquenes crustosos, concluyendo que la calidad del aire en este pueblo es regular.

En el año 2008, se evaluó el uso de líquenes como bioindicadores de contaminación atmosférica en la quebrada de plata (Santiago, Chile) aplicando la “European Guideline for mapping lichen diversity as an indicator of environmental stress” indicando que el método es aplicable y que las comunidades liquénica han sido posiblemente afectadas por la contaminación atmosférica. (Riquelme, 2008)

En el trabajo realizado en el campus de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, aparte de ser el flujo vehicular un fuente de contaminación para los líquenes también se puede ver que existe una granja la cual también genera gases contaminantes y también va influenciar en la abundancia de los líquenes. (Ynga, 2015)

Todos estos estudios demuestran el potencial del uso de los líquenes como bioindicadores de la calidad del aire.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Líquenes

a) Características generales

Los líquenes (*Xanthoria parietina*) provienen de la evolución de muchos ancestros con relación en un mismo patrón pero que parten de relaciones diferentes, a lo que se llama un grupo polifilético, esta clasificación aun no es aceptada por todos los expertos. (Ortega, 2003)

Ozenda y Clauzade (1970) clasifican a tres clases de hongos (Ascolichenes, Basidiolichenes e Hypholichenes) que se forman a partir de la simbiosis derivando del primer grupo dos sub clases(Pyrenolichenes y Discolichenes) según posean apotecios , predominando los Ascolichenes con un 96 %. (Rico, 2014)

Actualmente la posición taxonómica de los líquenes es materia de investigación, pero la mayoría lo clasifica en los lecanoromycetes, el cual agrupa los hongos ascomycotas. Otra tendencia agrupa a todos los líquenes en la división ascomycotas, por la relación de simbiosis con los hongos, más no considera sus características citológicas, genéticas o filogénicas. (Ortega, 2003)

Los líquenes no son organismos individuales sino asociaciones mutualistas que crean una simbiosis entre hongos y algas (o cianobacterias), que pueden funcionar en la naturaleza como una unidad. La relación mutualista existente hace que el hongo bordee al alga determinando el tipo de desarrollo el cual puede ser folioso, fruticuloso o crustoso. (David L. Hawksworth, 2005)

Según Broad (1989) los líquenes se nutren a través de la fotosíntesis del alga y absorben el agua, los nutrientes y gases del ambiente a través de los tejidos de los hongos que a su vez cumplen la función de protección. (Aragón, 2010)

Los mismos autores señalan que el hongo se reproduce sexualmente (generalmente por ascocarpos) y el alga lo hace asexualmente (ya sea por simple fragmentación, soredios o isidios).

Los líquenes por sus características se adhieren a diferentes sustratos como rocas, cortezas de árboles y hojas. (Redon, 1985)

b) Tipos de líquenes

De acuerdo a (Rivera, 2008) los diferentes tipos de líquenes se clasifican en cuatro grupos principales de acuerdo a sus características físicas, su comportamiento fisiológico y su sensibilidad a los contaminantes. Estos son:

- **Crustosos:** Estos tienen forma de costra y se adhieren fuertemente al sustrato. Se encuentran en lugares bastante contaminados.

- **Foliosos:** Estos tienen forma de hoja. Se encuentran en lugares poco contaminados.
- **Fruticulosos:** Estos tienen forma de fruto o talo. Se encuentran en lugares muy poco contaminados.
- **Filamentosos:** Estos tienen forma de filamentos semejantes a una cabellera. Se encuentran en lugares sin contaminación.

c) Líquenes epífitos y sistemas forestales

En los bosques los líquenes indican la madurez de los ecosistemas además de contribuir con la fijación del carbono, los líquenes aportan información con respecto a los principales factores ambientales. (Los líquenes y el medio, 2003)

Las cortezas de las plantas leñosas son el sustrato principal de los líquenes epífitos, aunque también es importante el estrato muscinal, el sustrato, la textura (cortezas finas, suaves, duras lisas o agrietadas) y la combinación de elementos, fundamentalmente la reacción iónica o PH, determinan la selección entre las especies disponibles.

La calidad y diversidad de especies liquénicas se ven influenciadas por los agrietamientos de la corteza de los árboles, ya que al estar más expuestos la retención de agua o polvo atmosférico es mayor.

Normalmente en los árboles jóvenes predominan los crustáceos, en los de edad intermedia los foliáceos y fruticulosos y en los muy viejos, generalmente con muchos musgos, los foliáceos con cianobacterias escumulosos, esta regla se ve alterada cuando la corteza es muy ácida, lo cual solo permitirá el desarrollo de algunas especies; en el entorno de las emisiones donde la aportación de amoníaco, nitrato y fosfatos son elevadas y no son completamente lavadas por el agua de lluvia, el sustrato es nitrofito y los géneros que predominan son entonces *Caloplaca*, *Rinodina*, *Xantohoria* o *Physcia*.

Existen diferencias entre los arboles del interior y los aislados de un bosque , donde los factores como temperatura, cantidad de luz o agua ; siendo extrema la condición de los arboles aislados y en conclusión la mayor cobertura se basa en la exposición que reciben los vientos que traen las precipitaciones. (Los líquenes y el medio, 2003)

2.2.2. Calidad de aire

Los estudios para determinar la calidad del aire ambiental surgieron con la necesidad de proteger la salud tanto del ambiente como de los humanos.

Actualmente la calidad de aire puede ser evaluada por filtro de aire o colectores deposición entre otros métodos los cuales requirieren altos costos en implementación, operación y mantenimiento. Sin embargo, también existen métodos alternativos como el uso de bioindicadores como líquenes el cual está siendo usado en varios países. (Cislaghi y Nimis, 1997).

Méndez y Fourier (1980) nos indican que cuando la contaminación atmosférica es alta las poblaciones de líquenes tienden a disminuir o desaparecer por completo, mientras que, si son bajas, los líquenes se desarrollaran con diversidad media a alta sobre los troncos de los árboles, suelos o rocas. (Los líquenes como indicadores de la contaminación atmosférica en el área metropolitana de San José, Costa Rica. Revista de Biología Tropical, 1980)

Según Conti y Cecchetti(2000) la razón es su capacidad de absorción de agua y acumulación de nutrientes de la atmósfera hace que no tolere la contaminación dando respuesta a una alarma de prevención, en cuanto a cambios morfológicos, aspectos químicos y físicos, alterando la actividad enzimática y actividades como fotosíntesis y respiración. Incluso su crecimiento, reproducción y muerte por su imposibilidad de excretar el exceso de contaminantes absorbidos en el aire, siendo la bioacumulación

el proceso de la descarga de la biota en el entorno que lo rodea. (Diego A. Ochoa-Jiménez, 2015)

2.2.3. Bioindicación y biomonitorización

Se considera un organismo bioindicador aquellos que expresan una relación entre sus funciones vitales y aspectos ambientales, por medio del cual se puede reportar la presencia de alguno de estos factores.

La biomonitorización es la aplicación de organismos vivos para estudiar, evaluar y controlar una situación. El cual nos permite detectar el estado de conservación de los bosques y su evolución. (Hawksworth, 1992)

a) Ventajas del uso de bioindicadores

Las ventajas de los bioindicadores son: tienen un bajo costo, presencia histórica mundialmente, observación de efectos fisiológicos, identificación de fuentes contaminantes y no necesitan mantenimiento ni electricidad (Baltanás, 2000).

b) Desventajas del uso de bioindicadores

La evaluación de la calidad ambiental con bioindicadores es un procedimiento que no nos permite cuantificar algunas variables, donde se hace necesarios estudios adicionales que rectifiquen la relación entre variables bióticas y abióticas; ya que el procedimiento es indirecto requiere se demuestre la relación causa-efecto entre variables.

Los bioindicadores no generan datos cuantitativos, por lo que no se le puede comparar con métodos físico químicos.

Otra desventaja de este método es que es difícil aplicar la misma metodología en dos lugares o momentos diferentes debido a la diferencia

de factores que influyen en él. No se puede relación resultados de una zona o época distinta. (Baltanás, 2000)

c) Líquenes como bioindicadores de la contaminación

Los líquenes son buenos bioindicadores de la contaminación atmosférica debido a su sensibilidad, producto de que no posee cutícula, lo cual permite que absorba los nutrientes y contaminantes del aire.

Al pasar muchos años los líquenes pueden acumular contaminantes, considerando que no tienen aparato excretor ni mecanismos de defensa están más expuestos a los cambios en el ambiente lo cual lo hace útil para los biomonitoreos (Uso de líquenes como bioindicadores de contaminación atmosférica en la ciudad de San Luis, Argentina, 2008)

Los líquenes son comúnmente usados para detectar perturbaciones en el ambiente producidos por estrés ambiental (contaminación, calidad del aire, cambio climático, fuego, etc.). Asimismo, se utilizan para generar una línea de base para estudiar los sistemas forestales. (Nathalia Andrea Ramírez-Morán, 2016)

La diversidad de líquenes es dependiente de muchos factores externos, tales como irradiación solar, velocidad del viento, temperatura y precipitación, siendo esta última la de mayor importancia ya que es el factor más variable en una región. En base a estos factores la metodología para usar líquenes como bioindicador de la calidad de aire advierte que no se deben calcular para regiones grandes (como ciudades) sino que se deben calcular para regiones pequeñas (barrios, localidades) con condiciones atmosféricas lo más similares posibles y en caso que se quisiera realizar en una ciudad se deberán usar la sumatoria de varios mapas con respectivos índices según cada condición climática. (Los líquenes y el medio, 2003)

Para poder usar líquenes como bioindicadores se debe tener en cuenta la similitud de la química y el aspecto físico de los forofitos.

Se ha encontrado que, según los diferentes tipos de talos, existe una relación directa con la susceptibilidad del líquen a la contaminación atmosférica. (Ortega, 2003)

2.2.4. Metodologías para cuantificar la calidad atmosférica con líquenes

Hasta el momento se han generado gran cantidad de metodologías para calcular la cantidad atmosférica a través de líquenes como bioindicadores y variaciones de metodologías a partir de cada investigador y cada país. Pero las principales metodologías de las cuales surge la sustentación de todas las metodologías son las siguientes (Riquelme, 2008):

- Índice de pureza atmosférica (IPA)

El índice de pureza atmosférica es uno de los primeros métodos utilizados para calcular cantidad atmosférica a través de líquenes como bioindicadores. Relaciona diversidad frecuencia y cobertura de líquenes.

Los padres del IPA fueron Le Blanc y de Sloover en el año de 1970 y es basada en los estudios de Braun –Blanquet en el año 1964.

Para evaluar el IPA se considera 0 como ausencia total de líquenes y donde el IPA tiene valores positivos, los valores solo se pueden comparar con sitios de igual diversidad líquénica.

Los valores IPA son inversamente proporcionales al nivel de contaminación y directamente proporcionales a la calidad de aire, es decir a mayor IPA menor contaminación y mejor calidad de aire.

- Índice de diversidad líquénica (LDV)

En el año 2001 unieron fuerzas varios especialistas europeos en líquenes como bioindicadores de calidad atmosférica para crear un método estándar. Luego dieron a conocer los resultados de esta investigación lanzando la “European Guideline for mapping lichen diversity as an indicator of environmental stress” que explica de forma clara todos los

lineamientos a seguir para calcular el (LDV) lichen diversity valué, que relaciona al igual que el IPA diversidad, frecuencia y cobertura de líquenes de una forma fácil y rápida, añadiendo los puntos cardinales en el valor.

El LDV es solo comparable con valores de LDV y al igual que el IPA solo es aplicable a zonas de similar diversidad, frecuencia y cobertura de líquenes de una forma fácil y rápida añadiendo los puntos cardinales en el valor.

Los valores numéricos del índice son positivos donde el LDV es proporcional a la calidad de aire e inversamente proporcional a la contaminación. (J. Asta, 2003)

La guía lanzada con el LDV es de gran utilidad y facilita el trabajo para crear una estación de monitoreo de aire a través de líquenes, ayuda en la selección de los forofitos (árboles, rocas u otros sustratos) y en el tamaño adecuado de la zona de muestro.

Para el LDV se utiliza un sistema de cuatro planillas de 50 cm. De alto por 10 cm. De ancho con cinco cuadrículas de 10 cm. x 10 cm. Cada una que se colocan en orientación norte, sur, este y oeste, sobre el forofito elegido a una altura de 100 cm del suelo.

2.3. Definición de términos

2.3.1. Líquen

La definición propuesta por el comité terminológico de la asociación internacional de liquenología (IAL) en 1981 considera que un liquen es una asociación de un hongo y un alga en relación simbiótica. (Barrio, 2011)

2.3.2. Líquen cortícola

Se le conoce al líquen que habita sobre la corteza de los árboles, donde el PH es un factor fundamental para la flora epífita. (Cachique, 2009)

2.3.3. Parque Nacional

Son áreas que constituyen muestras representativas de la diversidad natural del país y de sus grandes unidades ecológicas.

En esta área se protege la continuidad ecológica de los ecosistemas con carácter intangible donde la fauna, la flora, las características paisajistas y culturales son conservadas. (SERNANP, 2019)

2.3.4. Zona núcleo de reserva de biosfera

Las reservas de biosfera fueron nombrada alrededor del mundo por la UNESCO, con el fin de conservar los ecosistemas para un desarrollo sostenible mundial, según la UNESCO , las reservas se dividen en tres zonas , una de estas es la zona núcleo , protegida por su diversidad biológica y servicios ecosistémicos.La zona es conservada para el desarrollo en base al turismo ,investigación ,educación y rehabilitación ambiental. (UNESCO, 2019)

2.3.5. Forofito

Planta portadora de líquenes cortícolas. (Granados, 2003)

2.3.6. Simbiosis

Convivencia entre dos o más simbioses donde ambos reciben beneficios mutuos. (IIEH, 2014)

2.3.7. Polutante

Es una sustancia que causa contaminación y/o por definición puede causar algún efecto peligroso. (Capó, 2003)

2.3.8. Bioindicador

Organismos o comunidades que pueden expresar la relación entre un contaminante y el medio, acumulando polutantes y alterando su fisiología (Pignata 2003).

2.3.9. Biomonitorio

Son organismos, parte de una comunidad, la cual permiten “cuantificar” la calidad atmosférica mediante la comparación de rangos o en relación a un nivel considerado de “background”. Su comportamiento muestra una relación lineal en términos dosis- respuesta ya sea con la concentración de un polutante en el aire, con la combinación de ellos y/o con el tiempo de exposición (Pignata, 2003)

2.3.10. Bioacumulación

Significa un aumento en la concentración de un producto químico en un organismo biológico en un cierto plazo, comparada a la concentración del producto químico en el ambiente. Se analizan (metabolizado) o se

excretan los compuestos acumulan en los organismos cualquier momento se toman y se almacenan más rápidamente que ellos. (Guerrero et al., 2006)

2.3.11. Contaminación Ambiental

Se denomina contaminación ambiental a la presencia en el ambiente de cualquier agente (físico, químico o biológico) o bien de una combinación de varios agentes en lugares, formas y concentraciones tales que sean o puedan ser nocivos para la salud, la seguridad o para el bienestar de la población, o bien, que puedan ser perjudiciales para la vida vegetal o animal, o impidan el uso normal de las propiedades y lugares de recreación y goce de los mismos. (Mercosur y Medio Ambiente , 1996)

2.4. Marco legal

2.4.1. A nivel nacional

- **Constitución Política del Perú (31 de octubre de 1993)**

Establece que es el Estado quien determina la política nacional del ambiente y promueve el uso sostenible de los recursos naturales. Se establece también que es el Estado quien está obligado a promover la conservación de la diversidad biológica y de las áreas naturales protegidas.

- **Ley de Áreas Naturales Protegidas. Ley N° 26834 (30 de junio de 1997) y su Reglamento. D. S. N° 038-2001-AG (26 de junio del 2001)**

Define a las áreas naturales protegidas como los espacios continentales y/o marinos del territorio nacional, expresamente reconocidos y declarados como tales, incluyendo sus categorías y zonificaciones, para conservar la diversidad biológica y demás valores asociados de interés cultural, paisajístico, científico, así como por su contribución al desarrollo sostenible del país.

- **Ley General del Ambiente. Ley N°28611 (13 de octubre de 2005)**
Reconoce el derecho de la sociedad civil a participar en la identificación y resguardo de las áreas naturales protegidas y la obligación de colaborar en la consecución de sus fines.
- **Estrategia Nacional para las Áreas Naturales Protegidas por el Estado –Plan Director. D. S. N° 016-2009-AG. (3 de setiembre de 2009)**
Aprueba el nuevo Plan Director de las Áreas Naturales Protegidas, que es un instrumento de planificación y orientación del desarrollo del Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado, que define los lineamientos de política y el planeamiento estratégico de las áreas naturales protegidas.
- **Estrategia Nacional Sobre la Diversidad Biológica al 2021 y su Plan de Acción 2014-2018 .D.S. N° 009-2014-MINAM**
Estrategia que reafirma como una de las formas de conservación In situ son las Áreas Naturales Protegidas.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo y diseño de la investigación

Esta tesis presenta un estudio de tipo correlacional en la cual se medirán los resultados de la manipulación de datos obtenidos a través de una relación existente entre diversidad líquénica y calidad de aire.

3.2. Población y/o muestra de estudio

La evaluación se realizará mediante la metodología propuesta por Asta et al (2003) “European Guideline for mapping lichen diversity as an indicator of environmental stress” en la zona de uso turístico y recreativo-sector Huampal del Parque Nacional Yanachaga Chemillén, procediendo de acuerdo al siguiente gráfico:



Figura 1: Procedimiento de la aplicación de “European Guideline for mapping lichen diversity as an indicator of environmental stress”

Fuente: Elaboración propia

El sector Huampal cuenta con un área mayor de 5 Km², lo que según metodología le corresponde un área de muestreo de 0,25 Km x 0,25 Km, la cual será dividida en 4 sectores, donde cada sector le corresponderá 3 árboles como se detalla en la aplicación de la metodología (Selección de área de muestreo)

3.3. Operacionalización de variables

Tabla 1.

Operacionalización de variables

| VARIABLE | DEFINICIÓN CONCEPTUAL | DIMENSIÓN | INDICADORES |
|--|--|--|--------------------|
| Líquenes (Variable dependiente) | Asociaciones mutualistas entre hongos y algas | Clasificación del Valor de diversidad líquénica(LDV) | Muy alto |
| | | | Alto |
| | | | Moderado |
| | | | Bajo |
| | | | Muy bajo |
| Calidad de aire (Variable independiente) | Valor que refleja los contaminantes presentes en el aire | Clasificación de la calidad de aire | Muy buena |
| | | | Buena |
| | | | Regular |
| | | | Mala |
| | | | Muy mala |

Fuente: Elaboración propia

La clasificación de la calidad de aire se toma en referencia a la guía (Interpretación de datos)

3.4. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos

La metodología usada fue la “European guideline for mapping lichen diversity as an indicator of environmental stress” que está basado en la Directriz de Cartografía de Liquen VDI de Alemania (VDI, 1995) y en la Guía de ANPA (Nimis, 1999), con varias modificaciones importantes de J. Asta (Francia), W. Erhardt (Alemania), M. Ferretti (Italia), F. Fornasier (Italia), U. Kirschbaum (Alemania), P. L. Nimis (Italia), O.W. Purvis (Reino Unido), S.Pirintzos(Grecia),C.Scheidegger(Suiza), C. Van Haluwyn (Francia) y V. Wirth (Alemania); el cual hallamos el (LDV) lichen diversity value o valor de diversidad líquénica el cual nos permitió evaluar la calidad de aire en la zona de uso turístico y recreativo—sector Huampal del Parque Nacional Yanachaga Chemillén.

3.4.1. Selección de área de muestreo

(J. Asta, 2003), Señalan que primero se define como se seleccionaran y ubicaran las unidades muestrales (estrategia de muestreo), para lo cual se toma en consideración las características de la fuente de emisión o la perturbación de acuerdo a la tabla 2.

Tabla 2.

Densidad de grilla para diferentes escalas geográficas y tipos de estudio (en km)

| Estudio/superficie | <5km ² | >5-100 km ² | >100- 1000 km ² | >1000 km ² |
|---|-------------------------|---------------------------|-------------------------------|-----------------------|
| Con fuentes distinguibiles | 0,25x0,25 | 0,5x0,5 a 6x6 | 1x1 a 12x12 | inusual |
| Comparación temporal(antes- después) | 0,25x0,25 | 0,5x0,5 a 6x6 | 1x1 a 12x12 | inusual |
| Sin fuentes distinguibiles | 0,25x0,25 a 0,5 x0,5 | 0,5x0,5 a 6x6 | 3x3 a 12x12 | >9x9 |

Fuente: Asta *et al.* (2003)

La determinación del número de árboles será acorde al tamaño de la unidad muestral, como se observa en la tabla 2.

Tabla 3.

Número de árboles según el tamaño de la unidad muestral

| Tamaño de la unidad muestral | 0,25 x0,25 km | 0,5x0,5 km | 1x1 km |
|---------------------------------|---------------|------------|--------|
| Número de árboles | 3-4 | 4-6 | 6-12 |

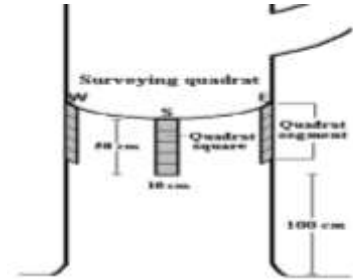
Fuente: Asta *et al.* (2003)

Solo deben ser seleccionados los árboles cuyos troncos reciban radiación directa por al menos una parte del día (no bajo un dosel cerrado), con troncos de a lo menos 40 cm de perímetro e idealmente sobre 70 cm de perímetro, con tamaños similares para un mismo análisis. Finalmente, no se deben elegir árboles visiblemente dañados cuyas cortezas han sido arrancadas o donde sus líquenes han sido afectados por actividades de pastoreo, así

como también árboles inclinados que excedan los 10° desde la vertical, o árboles de plantaciones frutales afectados por fungicidas.

3.4.2. Procedimiento de muestreo

Para el muestreo de la diversidad y frecuencia líquénica se utilizarán cuatro cuadrículas independientes, cada una compuesta por cinco cuadrados de 10 cm x 10 cm. Estas se apoyarán verticalmente al tronco, de tal forma que el límite inferior quede al menos a 1 m por



sobre el suelo. En un formulario se registrarán las especies de líquenes presentes en cada cuadrícula, así como la frecuencia de ocurrencia de cada especie en los cinco cuadrados de ella. Es así, como la lista de especies con sus frecuencias en una cuadrícula constituyen un inventario de vegetación líquénica.

3.5. Procesamiento y análisis de datos

La metodología propuesta por la Comunidad Europea incluye los siguientes estimadores:

- **Valor de diversidad líquénica (LDV):** es un estimador estadístico de las condiciones ambientales en el área muestral, y se basa en la suma de las frecuencias medias de las especies para cada orientación de cada árbol incluido en la estación.
- **Clases de diversidad líquénica (LDC):** Determina la agrupación de los valores de LDV, dentro de clases lo suficientemente amplias para reflejar diferencias estadísticas y ambientales significativas entre estaciones, permitiendo distinguir la existencia de zonas de distinta calidad ambiental, ocupando para ello el error estándar de las frecuencias de las especies en cada orientación de cada árbol de la estación.

Los errores estándar de los LDV se calculan de acuerdo con la **fórmula 1**:

Error estándar de la unidad j = desviación estándar de la unidad j / raíz (nj-1)

Dónde:

sj: desviación estándar de las sumas de frecuencias en la unidad j

nj: número de árboles muestreados en la unidad j

Las clases de LDV se puede agrupar con métodos como el *Sturges*, por medio de las siguientes formulas:

El número de clase de LDV en concordancia con la **fórmula 2** es:

Numero de clase = $1+3.3\log N$

Donde:

N es el número de sectores o LDV obtenidos

Posteriormente se calcula la amplitud de clase por medio de la **fórmula 3**

Amplitud de clase= (variante máx. – variante min.) /número de clase

3.6. Interpretación de datos

En esta guía, la diversidad se define como "MUY ALTO - ALTO - MODERADO - BAJO - MUY BAJO" siguiendo la escala propuesta para Alemania (VDI 1995). Tales escalas deben asignar evaluaciones verbales y códigos de color para caracterizar diferentes niveles de diversidad de líquenes.

Cuando la calidad de aire y el medio es óptimo, la diversidad liquénica será alta, pero si el medio sufre de alteraciones ambientales y la calidad de aire

es muy bajo, los líquenes no podrán desarrollarse, y su diversidad será muy bajo.

Las interpretaciones pueden basarse en las diferencias entre los valores de LDV máximos y mínimos dentro del área de estudio. En este caso, sin embargo, se pueden detectar patrones de alteración ambiental, pero su magnitud no puede ser evaluado apropiadamente.

La información asociada con cada especie se puede utilizar para interpretar los resultados en términos de diferentes tipos de alteración ambiental.

Los valores de diversidad de líquenes deben interpretarse de acuerdo con escalas regionales de anteriores estudios aplicadas con la misma metodología. Para asegurar la compatibilidad. (J. Asta, 2003)

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. Selección de zona de muestreo

La zona de muestreo fue seleccionada de acuerdo a la metodología en un área 5km^2 Con fuentes distinguibles, obtenido un área de $0,25 \times 0,25 \text{ km}^2$

La zona de muestreo fue dividida en 4 sectores, seleccionando solo los árboles que cumplieron las condiciones necesarias para ser muestreados según los requerimientos de la metodología. En cada sector fueron seleccionados tres árboles más cercanos a la fuente de emisión, Obteniendo en total 12 árboles a muestrear como se especifica en la Tabla 3

Tabla 4.

Distribución de árboles por sector

| SECTORES | ÁRBOLES |
|-----------------|----------------|
| Sector 1 | A1, A2,A3 |
| Sector 2 | A10,A11,A12 |
| Sector 3 | A4,A5,A6 |
| Sector 4 | A7,A8,A9 |

Fuente: Elaboración propia

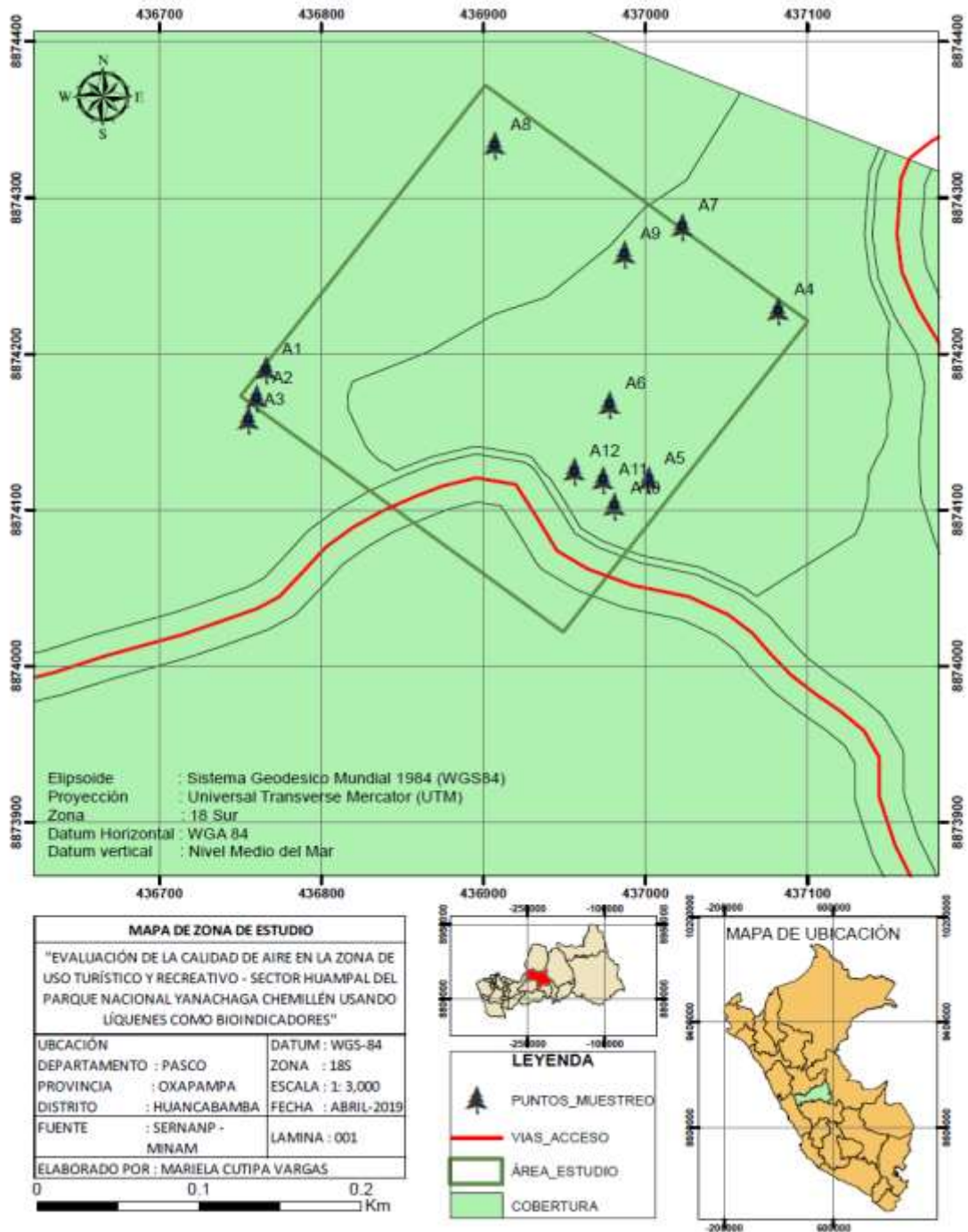


Figura 2 : Mapa de la zona de muestreo

Fuente: Elaboración propia

4.2. Valor diversidad líquénica

La identificación de especies se procedió de acuerdo al *Manual para la identificación de macro líquenes en el Parque Nacional Yanachaga Chemillén* (Barrio, 2011), con apoyo de la *Guía para identificar macro líquenes epifitos en el centro de España* (Rubio, 2010) y la guía de campo *Santa María :Líquenes , hepaticas y musgos* (Laura Campos, 2008). Donde se identificó seis especies de líquenes : *Coenogonium implexum*, *Parmotrema perlatum*, *Hypotrachyna sinuosa*, *Cryptothecia striata*, *Leptogium corticola*, *L. cyanescens*.

Sector 1

Tabla 5.

Muestreo del Sector 1

| ESPECIES | ÁRBOL 1 | | | | ÁRBOL 2 | | | | ÁRBOL 3 | | | | | | | |
|--|-------------|---|---|---|-------------|---|---|---|-------------|---|---|---|-------------|--|--|--|
| | N | E | S | W | N | E | S | W | N | E | S | W | | | | |
| <i>Coenogonium implexum</i> | 4 | 0 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | |
| <i>Leptogium cyanescens</i> | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | | | | |
| <i>Parmotrema perlatum</i> | 4 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | | | | |
| <i>Hypotrachyna sinuosa</i> | 0 | 0 | 0 | 1 | 3 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | |
| <i>Leptogium corticola</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | |
| <i>Cryptothecia striata</i> <i>g.thor</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | | | | |
| Suma de frecuencias(SF) | 8 | 8 | 5 | 1 | 3 | 0 | 3 | 2 | 0 | 0 | 5 | 4 | | | | |
| Suma de frecuencia total (MSF) | N | | | | E | | | | S | | | | W | | | |
| | 3,666666667 | | | | 2,666666667 | | | | 4,333333333 | | | | 2,333333333 | | | |
| LDV | 13 | | | | | | | | | | | | | | | |

Fuente : elaboracion propia

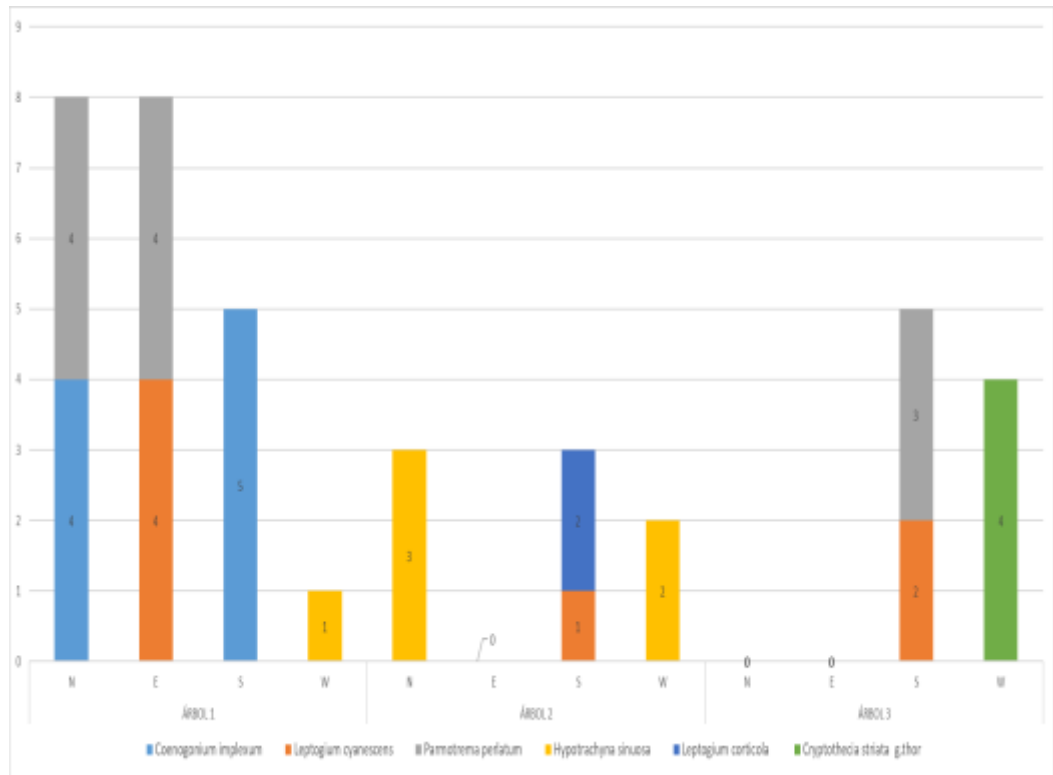


Figura 3: Frecuencia de especies en el sector 1

Fuente : Elaboracion propia

En **sector 1** la mayor frecuencia de especies se reporto en orientacion al sur(S) ,siendo la especie con mayor presencia *Parmotrema perlatum* y la de menor frecuencia *Leptogium corticola* ; obteniendo como LDV(valor de diversidad liquénica) 13.

Sector 2

Tabla 6.

Muestreo del sector 2

| ESPECIES | ÁRBOL 1 | | | | ÁRBOL 2 | | | | ÁRBOL 3 | | | | | | | |
|---------------------------------------|-------------|---|---|---|-------------|---|---|----|-------------|---|---|---|-------------|--|--|--|
| | N | E | S | W | N | E | S | W | N | E | S | W | | | | |
| <i>Coenogonium implexum</i> | 3 | 4 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 11 | 0 | 0 | 0 | 1 | | | | |
| <i>Leptogium cyanescens</i> | 2 | 4 | 7 | 1 | 1 | 8 | 0 | 4 | 1 | 3 | 0 | 5 | | | | |
| <i>Parmotrema perlatum</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | |
| <i>Hypotrachyna sinuosa</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | |
| <i>Leptogium corticola</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | |
| <i>Cryptothecia striata g.thor</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | |
| Suma de frecuencias(SF) | 5 | 8 | 7 | 1 | 1 | 9 | 0 | 15 | 1 | 3 | 0 | 6 | | | | |
| Suma de frecuencia total (MSF) | N | | | | E | | | | S | | | | W | | | |
| | 2,333333333 | | | | 6,666666667 | | | | 2,333333333 | | | | 7,333333333 | | | |
| LDV | 18,66666667 | | | | | | | | | | | | | | | |

Fuente : Elaboracion propia

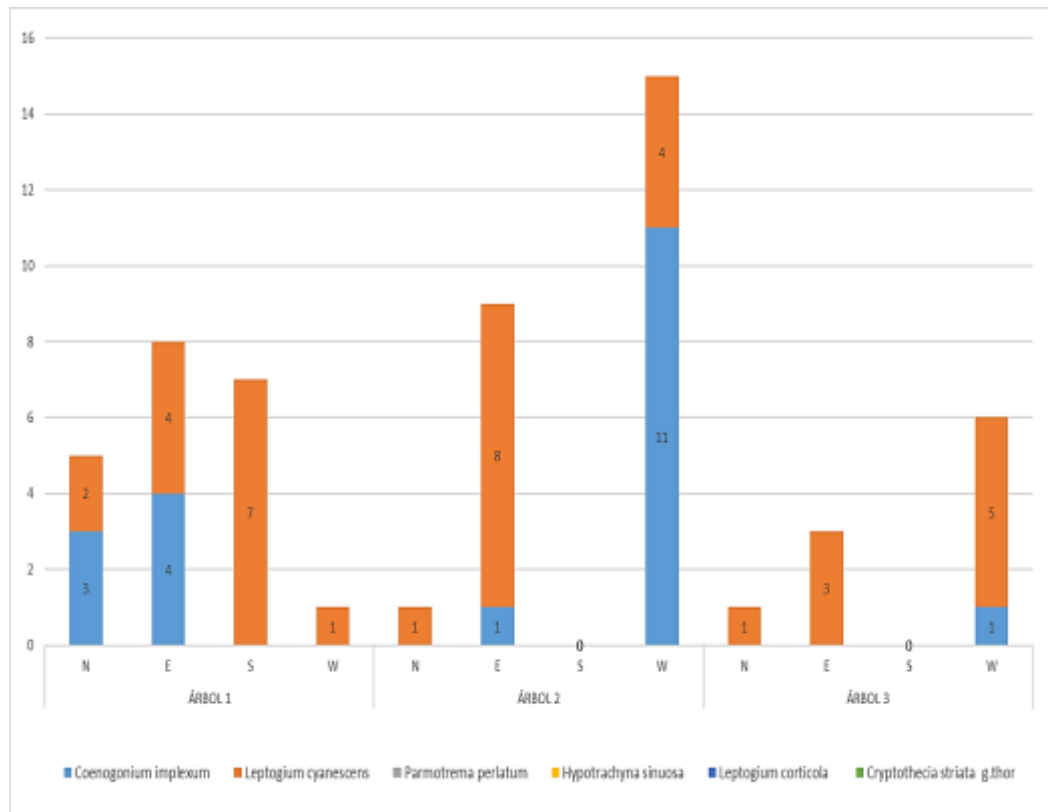


Figura 4 : Frecuencia de especies en el sector 2

Fuente: elaboración propia

En **sector 2** la mayor frecuencia de especies se reporto en orientacion al Oeste(W) ,siendo la especie con mayor presencia *Leptogium cyanescens* ,reportandose ausencia de las especies *Parmotrema perlatum* , *Hypotrachyna sinuosa*,*Leptogium corticola* y *Cryptothecia striata g.thor.*; obteniendo como LDV(valor de diversidad liquénica) 18,7

Sector 3

Tabla 7.

Muestreo del sector 3

| ESPECIES | ARBOL 1 | | | | ARBOL 2 | | | | ARBOL 3 | | | | | | | |
|---------------------------------------|-------------|---|---|---|-------------|---|---|---|----------|---|---|----|----------|--|--|--|
| | N | E | S | W | N | E | S | W | N | E | S | W | | | | |
| <i>Coenogonium implexum</i> | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 17 | | | | |
| <i>Leptogium cyanescens</i> | 0 | 0 | 2 | 1 | 0 | 3 | 0 | 3 | 0 | 3 | 1 | 1 | | | | |
| <i>Parmotrema perlatum</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | |
| <i>Hypotrachyna sinuosa</i> | 0 | 3 | 0 | 6 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | |
| <i>Leptogium corticola</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 5 | 1 | 0 | 2 | 0 | 0 | | | | |
| <i>Cryptothecia striata g.thor</i> | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 3 | | | | |
| Suma de frecuencias(SF) | 4 | 4 | 3 | 8 | 3 | 8 | 5 | 4 | 3 | 5 | 1 | 21 | | | | |
| Suma de frecuencia total (MSF) | N | | | | E | | | | S | | | | W | | | |
| | 3,333333333 | | | | 5,666666667 | | | | 3 | | | | 11 | | | |
| LDV | 23 | | | | | | | | | | | | | | | |

Fuente : Elaboracion propia

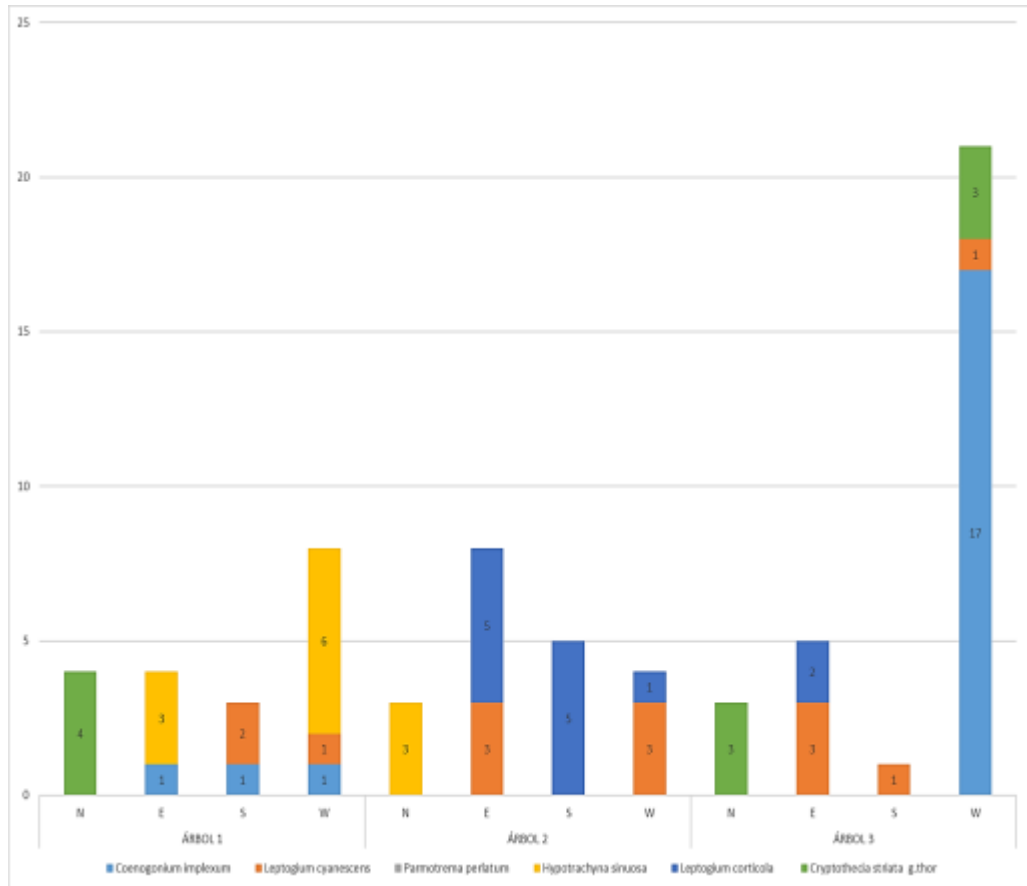


Figura 5 :Frecuencia de especies del sector 3

Fuente: Elaboracion propia

En **sector 3** la mayor frecuencia de especies se reporto en orientacion al Oeste(W) ,siendo la especie con mayor presencia *Coenogonium implexum* ,reportandose ausencia de las especies *Parmotrema perlatum* , obteniendo como LDV(valor de diversidad liquénica) 23.

Sector 4

Tabla 8.

Muestreo del sector 4

| ESPECIES | ÁRBOL 1 | | | | ÁRBOL 2 | | | | ÁRBOL 3 | | | | | | | |
|---------------------------------------|-------------|---|---|---|-------------|---|---|---|-------------|----|---|---|-------------|--|--|--|
| | N | E | S | W | N | E | S | W | N | E | S | W | | | | |
| <i>Coenogonium implexum</i> | 1 | 0 | 2 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 2 | 0 | | | | |
| <i>Leptogium cyanescens</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | |
| <i>Parmotrema perlatum</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | |
| <i>Hypotrachyna sinuosa</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | | | | |
| <i>Leptogium corticola</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | |
| <i>Cryptothecia striata g.thor</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 12 | 0 | 2 | | | | |
| Suma de frecuencias(SF) | 1 | 0 | 2 | 6 | 1 | 1 | 0 | 0 | 4 | 12 | 3 | 2 | | | | |
| Suma de frecuencia total (MSF) | N | | | | E | | | | S | | | | W | | | |
| | 2 | | | | 4,333333333 | | | | 1,666666667 | | | | 2,666666667 | | | |
| LDV | 10,66666667 | | | | | | | | | | | | | | | |

Fuente: Elaboración propia

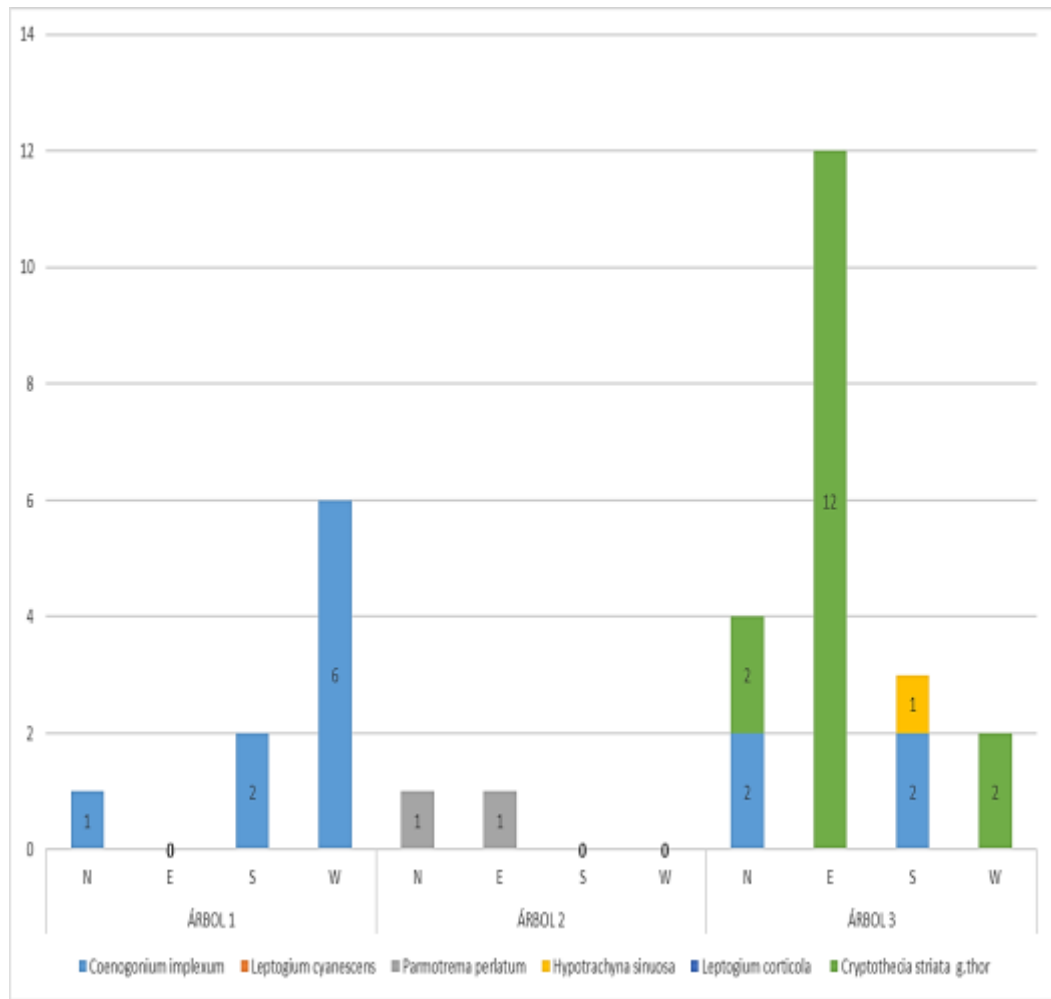


Figura 6 :Frecuencia de especies del sector 4

Fuente: Elaboración propia

En el **sector 4** la mayor frecuencia de especies se reporto en orientación al Este (E) ,siendo la especie con mayor presencia *Cryptothecia striata g.thor*,reportandose ausencia de las especies *Parmotrema perlatum* y *Leptogium corticola*, obteniendo como LDV(valor de diversidad liquénica) 10,66.

Tabla 9.

Frecuencia de especies en la zona de muestreo

| ESPECIES | FRECUENCIA | | | |
|------------------------------------|------------|----------|----------|----------|
| | SECTOR 1 | SECTOR 2 | SECTOR 3 | SECTOR 4 |
| <i>Coenogonium implexum</i> | 9 | 20 | 20 | 13 |
| <i>Leptogium cyanescens</i> | 7 | 36 | 14 | 2 |
| <i>Parmotrema perlatum</i> | 11 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Hypotrachyna sinuosa</i> | 6 | 0 | 12 | 1 |
| <i>Leptogium corticola</i> | 2 | 0 | 13 | 0 |
| <i>Cryptothecia striata g.thor</i> | 4 | 0 | 10 | 18 |

Fuente: Elaboración propia

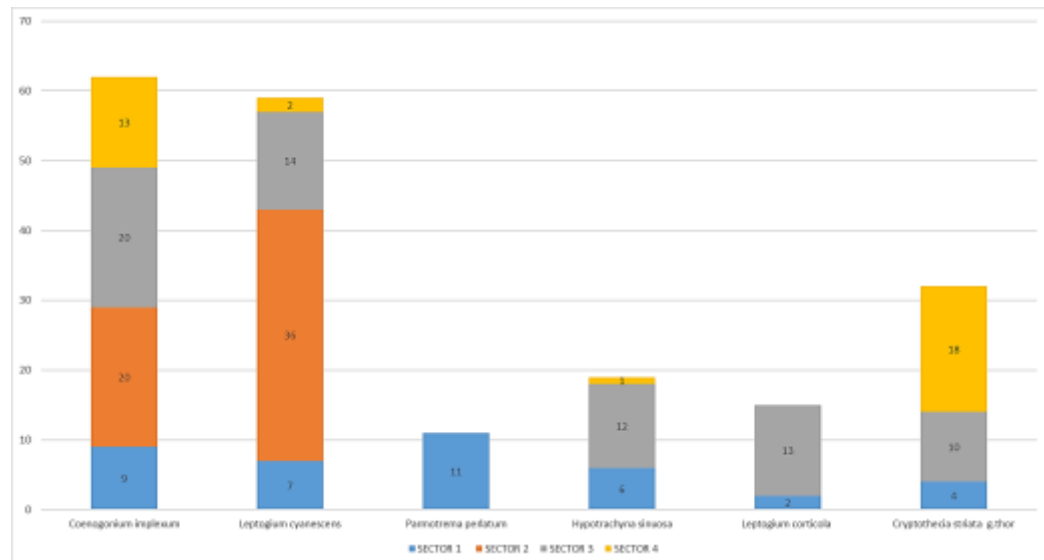


Figura 7: Frecuencia de especies en la zona de muestreo

Fuente: Elaboración propia

En la zona de muestreo predominó la especie *Coenogonium implexum* y la de menor presencia fue *Parmotrema perlatum*.

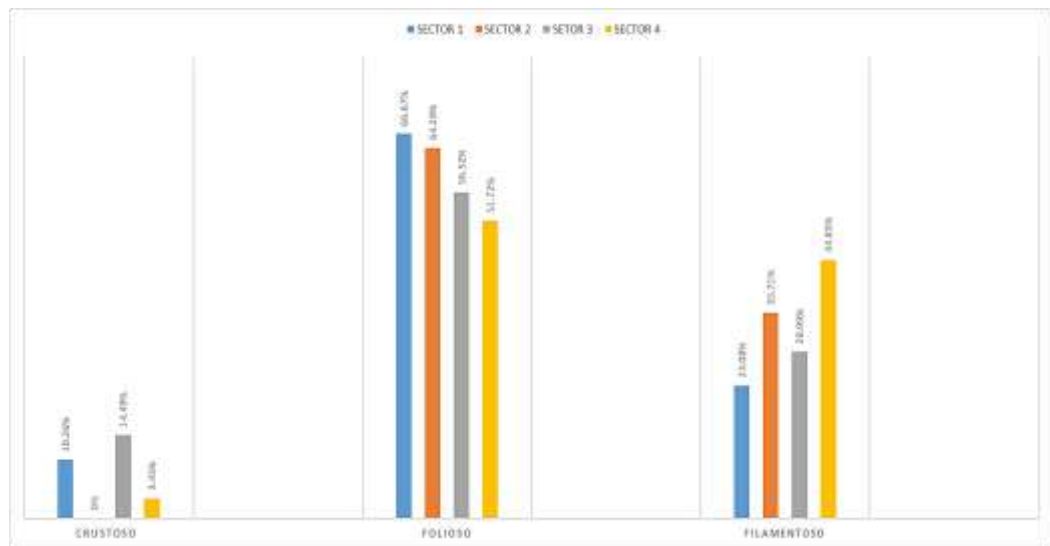
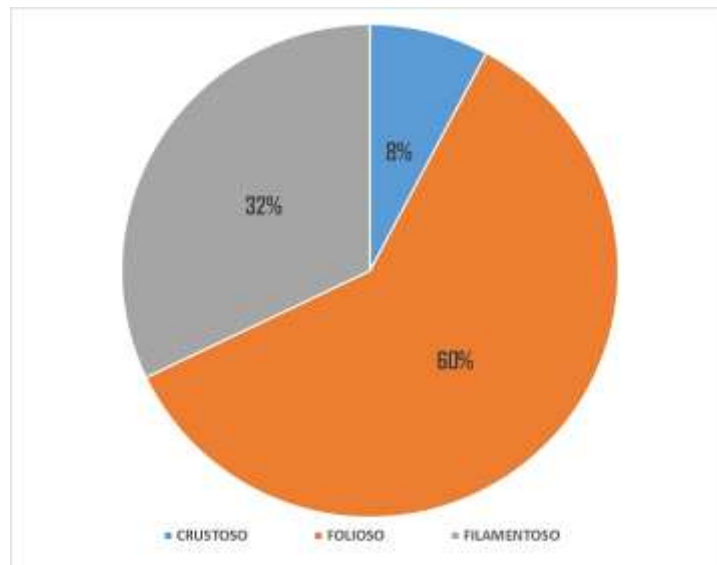


Figura 8: Porcentaje de tipo de líquenes en la zona de muestreo

Fuente: Elaboración propia

Se obtuvo mayor presencia de especies foliosas seguidas de las filamentosas y finalmente crustosas lo cual va en concordancia con la tolerancia a la contaminación atmosférica.

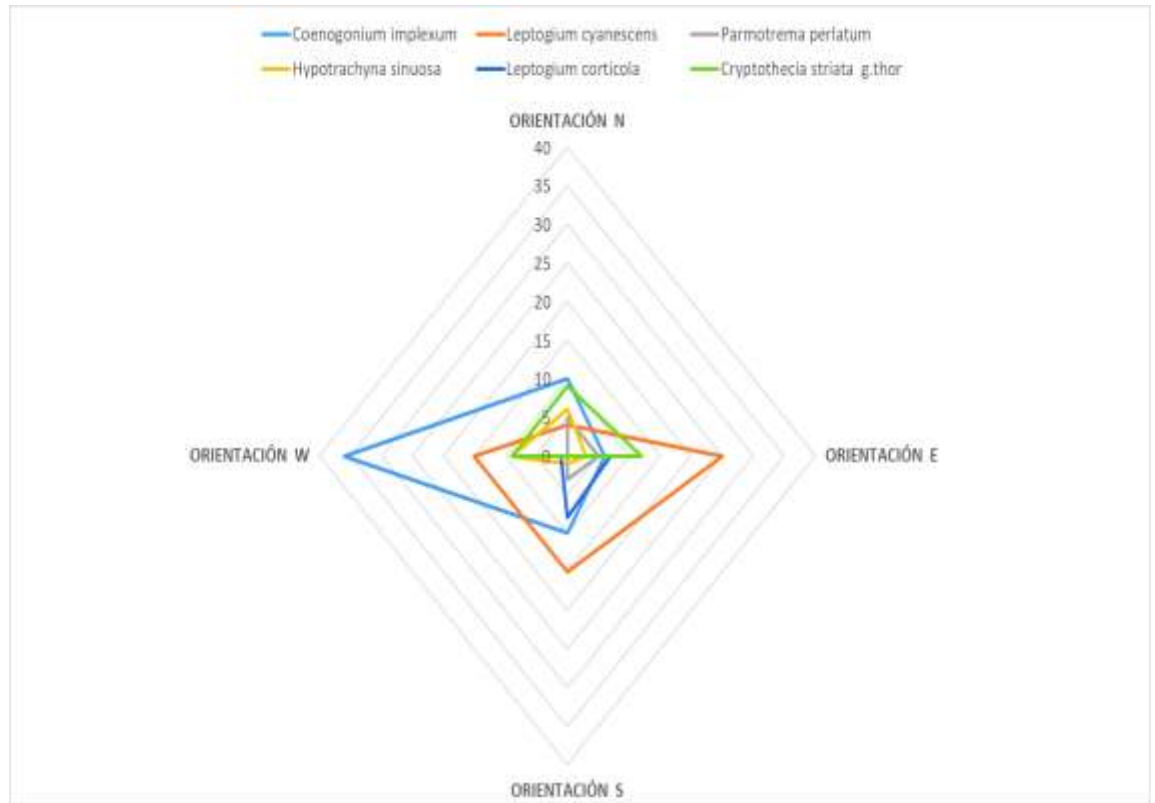


Figura 9: Frecuencia de especies según la orientación en la zona de muestreo

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la orientación en los árboles, se observó mayor frecuencia en la orientación al oeste (W), donde predominó *Coenogonium implexum* demostrando mayor abundancia, siendo esta una de las especies más sensibles a la alteración ambiental.

4.3. Clases de diversidad liquénica

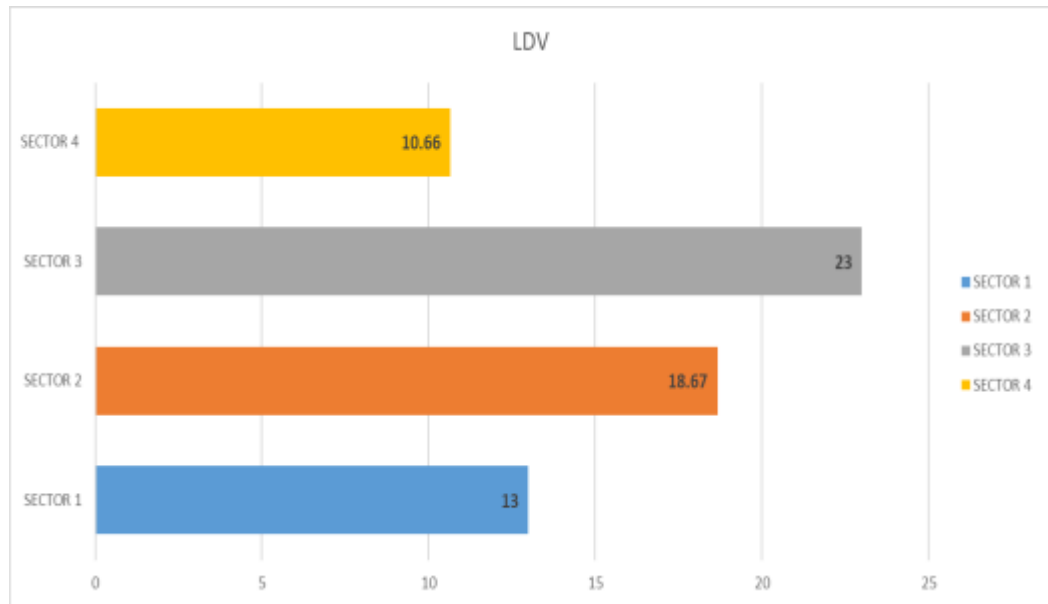


Figura 10 : Valor de diversidad liquénica en la zona de muestreo

Las clases de diversidad liquénica se obtienen según la fórmula de Sturges

$$\text{El número de clase de LDV} = 1 + 3.3 \log N$$

Donde N es el número de datos obtenidos de LDV: 4,

Lo que da un valor de 3,0

Posteriormente se calcula la amplitud de clase

Amplitud de clase = (variante máx. – variante min.) / número de clase

$$\text{Amplitud de clase} = \frac{23 - 10.66}{3} = 4.1$$

Tabla 10.

Clasificación de los valores de diversidad líquénica

| CLASE | RANGO DE VALORES DE LDV | SECTORES |
|-----------------|-------------------------|--------------------|
| Muy bajo | 0-4 | - |
| Bajo | 5-9 | - |
| Moderado | 10-14 | Sector 1 ,sector 4 |
| Alto | 15-19 | Sector 2 |
| Muy alto | 20-23 | Sector 3 |

Fuente: elaboración propia

Se puede observar en la tabla 10 que los sectores ocupan una clasificación de moderado a muy alto en sus totalidades, asimismo se destaca que la clasificación más alta la obtuvo el sector 3, cuya ubicación se encuentra metros por encima de la carretera.

4.4. Calidad de aire

Tabla 11

Calidad de aire por sectores de la zona de muestreo

| | SECTOR 1 | SECTOR 2 | SECTOR 3 | SECTOR 4 |
|------------------------|----------|----------|-----------|----------|
| LDV | 13 | 18,67 | 23 | 10,66 |
| CALIDAD DE AIRE | Regular | Buena | Muy buena | Regular |

Fuente: elaboración propia

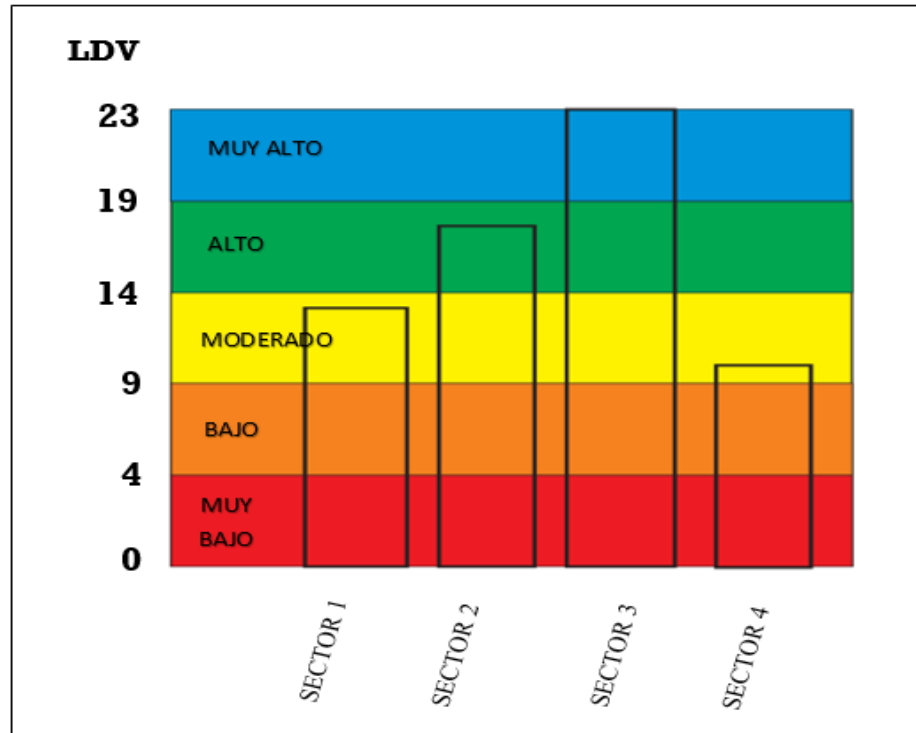


Figure 11 : Calidad de aire por sectores del área de muestreo

Fuente: Elaboración propia

Según (J. Asta, 2003) la diversidad líquénica es proporcional a la calidad de aire, en este sentido:

En el Sector 1, el cual se ubica en los bordes por debajo de la carretera el valor de diversidad líquénica (LDV) es 13 lo cual nos indica que la calidad de aire es **regular**.

El Sector 2 es de difícil acceso por ubicarse por encima de la carretera zona donde no hay intervención humana su valor de diversidad líquénica (LDV) es 18.67 lo cual nos indica que la calidad de aire es **buena**.

En el sector 3 es uno de los principales atractivos de la zona por la presencia de los gallitos de las rocas, mirador del cañón de Huancabamba y el sendero interpretativo su valor de diversidad líquénica (LDV) es 23 y su calidad de aire es **muy buena**.

Sector 4 se ubica en el circuito turístico conocido como camino de los colonos y con proximidades al baño de la zona para acampar; su valor de diversidad líquénica (LDV) es 10.66 donde la calidad de aire es **regular**.

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN

5. DISCUSIÓN

5.1. Análisis de la diversidad liquénica en la zona de muestreo

Para identificar las especies liquénicas se realizó un trabajo de campo en base al “Manual para la identificación de macrolíquenes especies en el Parque Nacional Yanachaga Chemillén”(Barrio,2011), obteniendo seis especies en la zona de muestreo, donde predominan los líquenes de tipo foliosos seguidos de los filamentosos, según Rivera (2008), la presencia de líquenes foliosos nos indica que la calidad de aire en la zona es buena, y los líquenes filamentosos que la calidad es excelente; lo cual concuerda con Murphy (1999) el cual nos dice que en lugares altamente contaminados abundan los líquenes tipo crustoso o no hay presencia de líquenes y en lugares donde la contaminación ambiental es bien baja abundan los líquenes filamentosos y una mayor diversidad.

5.2. Valor de diversidad liquénica (LDV) por sectores y las clases de diversidad liquénica en la zona de muestreo

El mayor valor de diversidad liquénica(LDV) se encuentra en el sector 2 y 3, lo cual evidencia la preferencia de la flora y fauna en el sector 3, y la no intervención humana en el sector 2; por el contrario, en el sector 4 obtuvo uno de los más bajos LDV el cual se ubica en lo más profundo del cañón de Huancabamba perteneciente al circuito turístico “camino de los colonos “ en relación con Méndez &Fourier (1980) Cuando los niveles de contaminación atmosférica son bajos, los líquenes se desarrollan con abundancia media y alta sobre troncos de árboles, suelo y/o rocas , mientras que sí la misma es alta sus densidades poblacionales tienden a disminuir o desaparecen por completo.

5.3. Influencia en la calidad de aire de la zona de muestreo

El resultado obtenido nos demuestra que la calidad de aire en el zona turística y recreativa –sector Huampal es buena, lo cual significa que los contaminantes producidos por el tráfico vehicular de la carretera Oxapampa –Pozuzo son arrastrados y dispersados, influenciados por las modificaciones de las corrientes de viento y por los accidentes geográficos del lugar.

5.4. Análisis comparativo de los resultados obtenidos a nivel Internacional

En comparación con el estudio realizado en Quebrada de Plata (Santiago de Chile), en este estudio se reportó más especies de líquenes, lo que hace referencia a la tolerancia de las especies a contaminantes atmosféricos y factores climáticos mencionadas por Riquelme (2008).

5.5. Análisis comparativo de los resultados obtenidos a nivel Nacional

Con los resultados obtenidos se ha contrarrestado con estudios realizados en la selva peruana donde se usa los líquenes como bioindicadores de la calidad de aire, tanto en Chachapoyas(Amazonas) (Merino, 2017) como en Tingo María (Huánuco) ninguna de las especies ha coincidido. (Ynga, 2015)

5.6. Análisis comparativo de los resultados obtenidos a nivel Regional

Debido a que no existe estudios previos realizados en Junín con esta metodología, escalas regionales o comparables, el resultado nos permite establecer niveles y comparaciones entre zonas, sino que también permite comparaciones temporales.

CONCLUSIONES

1. En la evaluación de la calidad de aire en la zona de uso turístico y recreativo – sector Huampal del Parque Nacional Yanachaga Chemillén usando líquenes como bioindicadores se obtuvo una calidad de aire regular a muy alta, donde predomina la calidad regular.
2. El análisis de la diversidad liquénica se ha reportado seis especies liquénicas de las cuales hemos encontrado la especie *Coenogonium implexum*, líquen de tipo filamentosos la cual es altamente sensible a la contaminación ambiental e indica la excelente calidad de aire presente en el área de muestreo. Esta especie fue hallada en mayor frecuencia en el área de muestreo.
3. Por medio del valor de diversidad liquénica(LDV) y la clase de diversidad liquénica, hemos podido identificar el sector 4 que presenta mayor perturbación. El sector 4 presentó menor calidad de aire, que en relación a su ubicación se encontraba alejado de la carretera, pero en las profundidades del cañón lo cual nos hace deducir que los contaminantes emitidos desde la carretera son influidos por la turbulencia generada por el movimiento de los autos y finalmente por la turbulencia propia del aire lo cual produce que desciendan al interior del cañón.

RECOMENDACIONES

Por medio de la evaluación de la calidad de aire usando los líquenes como bioindicadores, hemos podido reconocer el estado de conservación y entregar información útil para la protección de los recursos del sector Huampal, lo cual permitiría emplear estos resultados como línea base para realizar biomonitoreos y próximos proyectos.

La metodología europea es útil para la implementación de un sistema de monitoreo, pero de difícil aplicación en la selva central debido a que se requiere que los árboles sean mayores de 40cm de diámetro y en el Parque Nacional Yanachaga Chemillén la mayoría de los árboles miden menos de 40 cm y debido a la pendiente tienen una ligera inclinación, característica que presenta la mayoría de la selva central por lo cual se recomienda adaptar la metodología y en vez de seleccionar árboles de diámetro superior a 40 cm , escoger árboles del mismo diámetro pero mayor a 30 cm para estandarizar el muestreo .

Será de utilidad que en el futuro se realicen en el mismo lugar otros estudios que aporten datos de los contaminantes presentes en el lugar (medición de contaminantes en los tejidos líquénicos o en otros bioindicadores forestales) con laboratorios acreditados.

Para complementar la evaluación de la calidad de aire, se recomienda hacer estudios de monitoreo de tráfico vehicular en los sectores para comparar con los sectores de la zona de muestreo.

Se debe incorporar valores de diversidad líquénica(LDV) en los estudios de impacto ambiental dentro de la línea base previa a la instalación de una fuente contaminante, para evaluar el impacto de estas en su entorno.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. A. Canseco, R. A. (2006). Comunidades de líquenes: indicadores de la calidad del aire en la ciudad de La Paz, Bolivia . *ACTA NOVA*.
2. Álcala. (2008). *Especies arbóreas evaluadas como bioacumuladores de azufre en la ciudad de Chihuahua, México*.
3. Aragón, D. R. (2010). Líquenes epífitos en el matorral costero de la Reserva Ecológica Siboney-Juticí. *Botanica Complutensis* , 21-25.
4. Baltanás. (2000). *Empleo de bioindicadores en estudios de evaluación de la calidad* .
5. Barrio, N. O. (2011). *Manual para la identificación de macrolíquenes en el Parque Nacional Yanachaga Chemillen*. Pasco.
6. Botero, E. U. (2015). *El cambio climático y sus efectos en la biodiversidad en América Latina*. Santiago : Naciones Unidas.
7. Cachique, E. E. (2009). *Diversidad de plantas epífitas vasculares en especies arbóreas del jardín botánico de la universidad nacional agraria de la selva*. Tingo Maria , Perú.
8. Calvo. (2000). Líquenes como bioindicadores de la calidad ambiental en el parque natural de Font Roja. *Ecología* , 103-115.
9. Capó, M. (2003). La ecotoxicología, una ciencia de hoy. En *Medicina Balear*.
10. David L. Hawksworth, T. I. (2005). Líquenes como bioindicadores inmediatos de contaminación y cambios medio-ambientales en los trópicos. *Revista iberoamericana de micología* , 71-82.
11. Diego A. Ochoa-Jiménez, M. P. (2015). Cambios en la composición de líquenes epífitos relacionados con la calidad de aire en la ciudad de Loja. *Scielo* , 333-343.
12. Figueroa. (2015). *evaluación de la calidad de aire en ocho zonas de la ciudad de Bogotá, utilizando líquenes como bioindicadores* . Colombia.
13. Garcia. (2004). *Mapa de estrés atmosférico de Cedritos(Bogotá) a partir de diversidad líquénica* . Bogotá.
14. Gonzales, L. N. (2016). Aplicabilidad de líquenes bioindicadores como herramienta de monitoreo de la calidad del aire en la ciudad de Cochabamba. *Scielo*.
15. Granados, L. H. (2003). Ecología de las plantas epífitas. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 101-111.

16. Hawksworth. (1992). Litmus tests for ecosystem health: the potential of bioindicators in the monitoring of biodiversity.
17. IIEH. (26 de noviembre de 2014). *Instituto de investigacion sobre evolucion humana*. Obtenido de <http://www.iieh.com/noticias-y-opiniones/noticias/noticias/cinco-tipos-de-simbiosis>
18. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). (2014). *Bioindicadores: guardianes de nuestro futuro ambiental*. México.
19. J. Asta, W. E. (2003). *EUROPEAN GUIDELINE FOR MAPPING LICHEN DIVERSITY AS AN INDICATOR OF ENVIRONMENTAL STRESS*.
20. Laura Campos, J. U. (2008). *Santa María :Liquenes , hepaticas y musgos* .
21. *Lineas verde mijas*. (2018). Obtenido de <http://www.lineaverdemijas.com/lv/consejos-ambientales/biodiversidad/por-que-es-importante-la-biodiversidad.asp>
22. Llantance. (2017). *Determinacion de la calidad de aire mediante el uso de liquenes en la microcuenca del lago de Pomacochas, distrito florida , provincia Bongará, departamento de Amazonas, 2016-2017*. Chachapoyas.
23. Llip. (2014). *El cañon urbano su incidencia en la contaminacion del aire*. Salta .
24. Llop. (2014). Aproximación a la diversidad líquénica del Parque Natural del Cadí-Moixeró. Líquenes de los bosques de coníferas. *Botanica Complutensis* , 29-34.
25. Local impacts of a rural coal-burning generating station on Lichen abundance in a New England forest. In: Environmental Pollution. (1999). En A. P. Murphy KJ, *Environmental Pollution* (págs. 349-354).
26. Los líquenes y el medio. (2003). En E. B. Perez, *Líquenes de la Reserva Natural Integral de Muniellos, Asturias* (págs. 93-96). Asturias: KRK ediciones.
27. Marino. (2016). *Determinación de la diversidad de líquenes saxícolas de tres sitios arqueológicos de Cajamarca*. Cajamarca.
28. Méndez(1980), *Los líquenes como indicadores de la contaminación atmosférica en el área metropolitana de San José, Costa Rica*. *Revista de Biología Tropical* (págs. 31 – 39).
29. Méndez. (2011). *El uso de líquenes como biomonitores para evaluar el estado de la contaminación atmosférica mundial* .
30. (1996). *Mercosur y Medio Ambiente* . Ediciones ciudad Argentina.

31. Merino, B. J. (2017). *EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE EMPLEANDO LÍQUENES COMO INDICADORES EN LA CIUDAD DE CHACHAPOYAS, AMAZONAS, 2017*. Chachapoyas.
32. Nathalia Andrea Ramírez-Morán, M. L.-G. (2016). *USO DE BIOTIPOS DE LÍQUENES COMO BIOINDICADORES DE PERTURBACIÓN EN FRAGMENTOS BOSQUE ALTOANDINO (RESERVA BIOLÓGICA DE "ENCENILLO", COLOMBIA)*. Encenillo.
33. Ochoa, C. &. (2015). Cambios en la composición de líquenes epifitos relacionados con la calidad de aire en la ciudad de Loja(Ecuador). *ScieELO*.
34. OMS. (2005). *Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre*.
35. Ortega, E. B. (2003). *Biología de los líquenes*.
36. Pignata, M. (2003). *Empleo de biomonitores en estudios de contaminación atmosférica*. La Paz: Swiss Contact, IBTEN, Instituto de Ecología.
37. PromPerú. (2019). *Perú Travel* . Obtenido de <https://www.peru.travel/es-lat/sobre-peru/peru-paises-mas-ecosistemas-terrestres-y-marinos.aspx>
38. Quispe. (2014). *Líquenes como bioindicadores de la calidad del aire en la ciudad de Tingo Maria , Perú*. Tingo María.
39. R. Fernandez, M. C. (2013). *Seguimiento de la diversidad de líquenes y cambio climático en Sierra Nevada (España)* . Granada.
40. Ramirez. (2016). *Uso de biotipos de líquenes como bioindicadores de perturbacion en fragmentos de bosque altoandino(Reserva Biológica"Encenillo", Colombia)*. Bogotá.
41. Rico, E. B. (2014). *SOBRE LA BIOLOGÍA DE LOS LÍQUENES*. Madrid.
42. Riquelme. (2008). *Evaluacion del uso de líquenes como indicadores biologicos de contaminacion atmosférica en la quebrada de Plata,Región metropolitana*. Santiago de Chile .
43. Rivera, E. I. (2008). *Estudio de líquenes como indicadores de los niveles de contaminacion en el pueblo de Guayama,Puerto Rico*. Gurabo.
44. Rose. (1976). Lichenological indicators of age and ecological continuity in Woodlands. . En *Lichenology: Progress and Problems*. Academic Press (págs. 279-307). Londres.
45. Rubio, G. A. (2010). *Guía para identificar macro líquenes epifitos en el centro de España*

46. Rubio, G. A. (2010). *Guía para identificar macrolíquenes epifitos en el centro de España* .
47. Santoni. (2006). *Evaluación de la calidad de aire mediante uso de bioindicadores en la provincia de San Luis ,Argentina*. San Luis .
48. SERNANP. (2015-2019). *Plan Maestro del parque Nacional Yanachaga Chemillén*. Oxapampa.
49. SERNANP. (2019). *SERNANP PERÚ*. Obtenido de <http://www.sernanp.gob.pe/conservacion-de-ecosistemas>
50. Tapia. (2011). *Evaluación de la calidad del aire en la península Fildes, isla rey Jorge, Antártica biomonitorio de líquenes como herramienta de gestion*. Santiago de Chile .
51. UNESCO. (2019). *Fundacion Abertis*. Obtenido de <http://www.unescomedcenter.org/es/reservas-de-la-biosfera>
52. (2008). *Uso de líquenes como bioindicadores de contaminación atmosférica en la ciudad de San Luis, Argentina*. San Luis : Rubén Lijteroff, Luis Lima y Betzabé Prieri.
53. Ynga, L. D. (2015). *Calidad de aire en el campus de universidad agraria de la selva mediante líquenes como bioindicadores*. Tingo Maria.

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia

| Interrogante del Problema | Objetivos | Hipótesis | Variables | Indicadores | Métodos | Prueba Estadística o Estrategia |
|--|--|---|--|--|---|---|
| Cuál es la calidad de aire de acuerdo a la diversidad líquénica en la zona de uso turístico y recreativo–sector Huampal del Parque Nacional Yanachaga Chemillén | Objetivo general | Hipótesis general | Líquenes | Clasificación del Valor de diversidad líquénica(LDV): | “European Guideline for mapping lichen diversity as an indicator of environmental stress” | Valor de diversidad líquénica (LDV) Regla de Sturges |
| | <p>Evaluar la calidad de aire usando líquenes, como bioindicadores en la zona de uso turístico y recreativo –sector Huampal del Parque Nacional Yanachaga Chemillén.</p> <p>Objetivos específicos</p> <ul style="list-style-type: none"> - Analizar la diversidad líquénica en la zona de uso turístico y recreativo –sector Huampal del Parque Nacional Yanachaga Chemillén. - Calcular el valor de diversidad líquénica y clases de diversidad líquénica en la zona de uso turístico y recreativo –sector Huampal del Parque Nacional Yanachaga Chemillén. | <p>La calidad de aire es buena en la mayoría de las zonas por la presencia de líquenes en la zona de uso turístico y recreativo –sector Huampal del Parque Nacional Yanachaga Chemillén.</p> <p>Hipótesis específicas</p> <ul style="list-style-type: none"> - La diversidad líquénica en el sector 3 de la zona de uso turístico y recreativo–sector Huampal del Parque Nacional Yanachaga Chemillén son altas por la presencia de más fauna silvestre representativa del parque. - La diversidad líquénica en los sectores 1 y 2 de la zona de uso turístico y recreativo–sector Huampal del Parque Nacional Yanachaga Chemillén son bajas por la influencia de la carretera. | <p>Muy alto</p> <p>Alto</p> <p>Moderado</p> <p>Bajo</p> <p>Muy bajo</p> <p>Calidad de aire</p> | <p>Muy buena</p> <p>Buena</p> <p>Regular</p> <p>Mala</p> <p>Muy mala</p> | | |

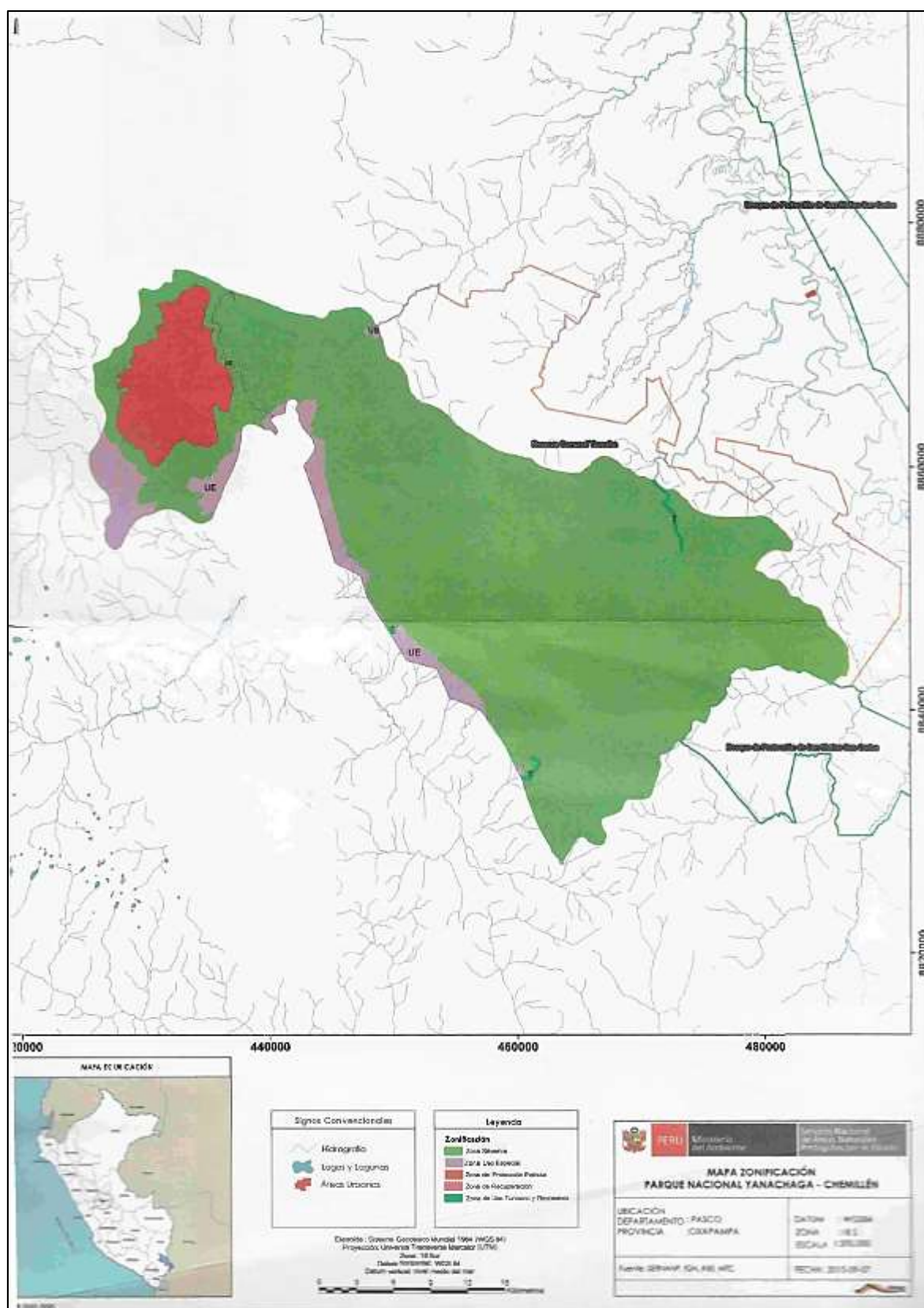
Anexo 2. Información sobre localidad de árboles muestreados

| N° de unidad de asignación | SECTOR 1 | | | SECTOR 3 | | | SECTOR 4 | | | SECTOR 2 | | | |
|-----------------------------------|----------------------|----------------------|---------------------------|----------------------|-----------------|----------------------|----------------------------|---------------------------|-----------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|----|
| | N° de árbol | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| N° de mapa topográfico | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Ubicación | Carretera para abajo | Carretera para abajo | Carretera para abajo | camping | mirador | Sendero Robín F. | colonos | colonos | baño | P.carret arriba | P.carret arriba | P.carret arriba | |
| Dirección del este | 436766 | 436760 | 436755 | 437082 | 437002 | 436978 | 437023 | 436907 | 436987 | 436981 | 436974 | 436956 | |
| Dirección del norte | 8874190 | 8874172 | 8874158 | 8874228 | 8874120 | 8874168 | 8874282 | 8874334 | 8874264 | 8874103 | 8874120 | 8874125 | |
| Aspecto principal de la comunidad | folioso | folioso | folioso | filamentoso | filamentoso | filamentoso | filamentoso | folioso | Crustoso | folioso | filamentoso | folioso | |
| Especie de árbol | <i>Aniba sp</i> | <i>Aniba sp</i> | <i>Juglans neotropica</i> | <i>Rollinia spp.</i> | <i>Aniba sp</i> | <i>Rollinia spp.</i> | <i>Terminalia amazonia</i> | <i>Juglans neotropica</i> | <i>Aniba sp</i> | <i>Terminalia amazonia</i> | <i>Terminalia amazonia</i> | <i>Juglans neotropica</i> | |
| Altitud (msnm) | 1055 | 1050 | 1050 | 1150 | 1200 | 1150 | 1100 | 1100 | 1100 | 1170 | 1170 | 1170 | |
| Circunferencia del tronco(cm) | 40 | 40 | 40 | 40 | 41 | 40 | 42 | 51 | 40 | 40 | 41 | 40 | |

| | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Edad del líquen | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Vitalidad del líquen | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Descripción del árbol | 2,1 | 2,1 | 2,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 2,1 | 2,1 | 2,1 | 2,1 | 2,1 | 2,2 |
| Grietas en la corteza | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Tipo de terreno | 5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 6 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| Uso del suelo | 14,7 | 14,7 | 14,7 | 14,7 | 14,7 | 14,7 | 14,7 | 14,7 | 14,7 | 14,7 | 14,7 | 14,7 |
| Influencia por el tráfico | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Distancia de la carretera | 450 m | 430 m | 350 m | 60m | 25m | 40m | 200m | 250m | 260m | 60m | 45m | 30m |
| Otras fuentes de emisión | no | No | No | no | no | no | no | no | no | no | no | no |

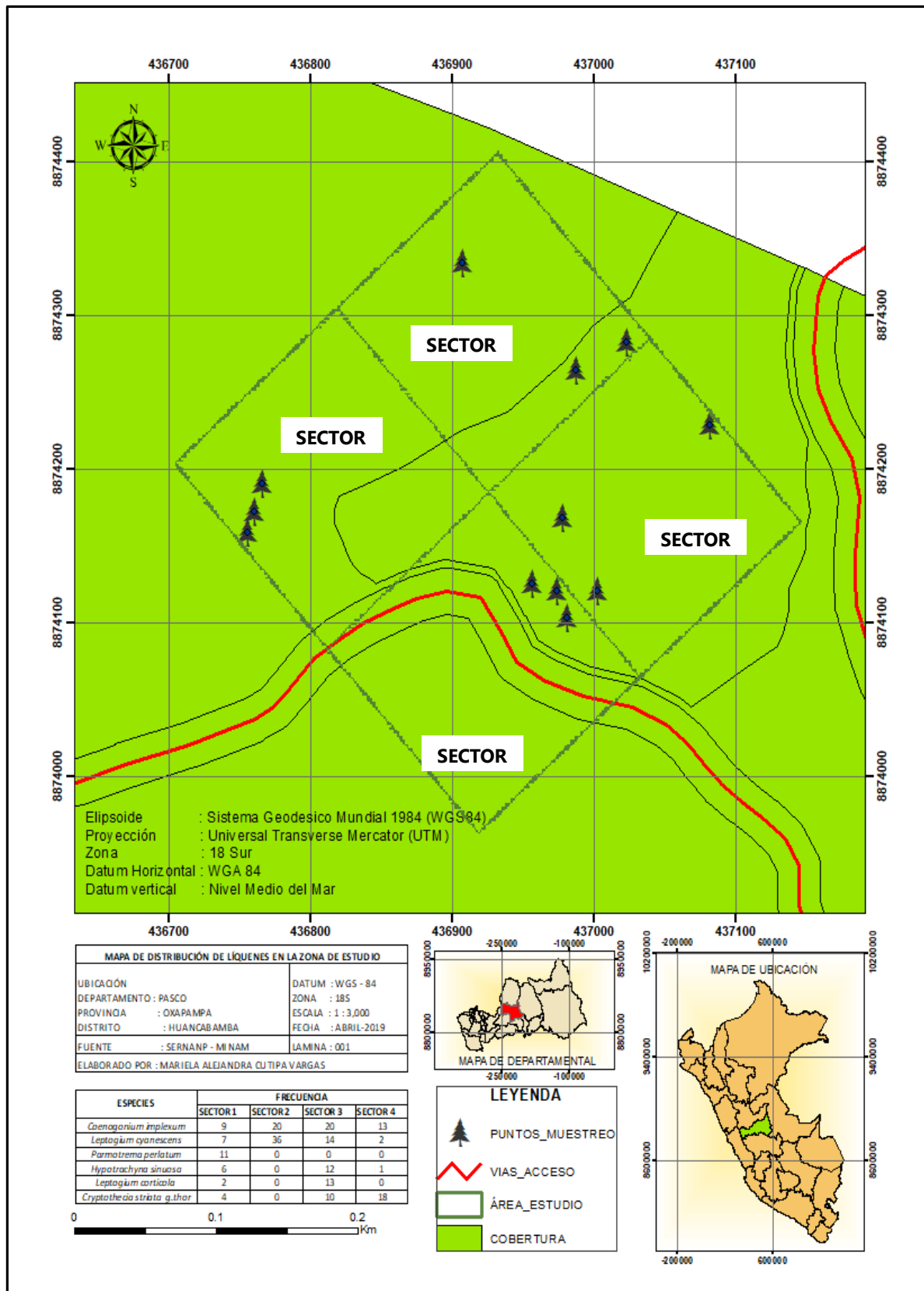
Fuente: Elaboración propia

Anexo 3. Mapa de zonificación del Parque Nacional Yanachaga Chemillén



Fuente: Parque Nacional Yanachaga Chemillén-SERNANP

Anexo 4. Mapa de distribución liquénica en la zona de estudio -Sector Huampal



Fuente: Elaboración propia

Anexo 5. Fotografías de las especies encontradas



Figura 11 :Coenogonium implexum



Figura 12 :Leptogium cyanescens



Figura 13 :Pamotrema perlatum



Figura 14 :Hypotrachyna sinuosa



Figura 15:Leptogium corticola



Figura 16 :Cryptothecia striata.

Anexo 6. Fotografías de la fase de campo



Figura 17: Medición de la circunferencia de los árboles



Figura 18: Georreferenciación de árboles



Figura 19 :Identificación de especies



Figura 20 : Muestreo de diversidad liquénica

Anexo 7. European guideline for mapping lichen diversity as an indicator of environmental stress

03-1-16

**EUROPEAN GUIDELINE
FOR MAPPING LICHEN DIVERSITY
AS AN INDICATOR OF ENVIRONMENTAL STRESS**

Based on the German VDI Lichen Mapping Guideline (VDI, 1995) and the Italian Guideline of ANPA (Nimis, 1999), with several important modifications (see Asta et al. 2002 for an abridged version).

It was prepared by:

*J. Asta (France), W. Erhardt (Germany), M. Ferretti (Italy), F. Fornasier (Italy),
U. Kirschbaum (Germany), P. L. Nimis (Italy), O.W. Purvis (UK), S. Pirintsos (Greece), C. Scheidegger
(Switzerland), C. Van Haluwyn (France) and V. Wirth (Germany)*



Introduction

Lichens are extremely sensitive to environmental stress, especially concerning atmospheric pollution, eutrophication, and climate change (e.g. see Galun, 1988; Richardson, 1992; Nash, 1996, Nimis et al., 2002). The main reasons are: a) a delicate symbiotic association exists between the lichen partners and the fungus can rarely exist on its own; b) unlike higher plants, lichens have no cuticle (protective layer) and pollutants can readily penetrate to the fungal and algal cells; c) the uptake of substances occurs mainly from the atmosphere; d) lichens have an increased metabolic rate, especially when moist; e) lichens continue to metabolize at low temperatures and are susceptible to damage during the winter months; f) lichens grow slowly and injuries cannot be quickly restored.

Lichen diversity is an excellent indicator of pollution by phytotoxic gaseous substances (e.g. see Hawksworth & Rose, 1970; Ferry et al., 1973; Nash & Wirth, 1988; Richardson, 1992, Cislaghi & Nimis, 1997; Purvis, 2000, Nimis et al., 2002). Lichens respond relatively fast to a deterioration in air quality and can re-colonize urban and industrial environments as a consequence of improved conditions within a few years, as recorded in many parts of Europe (e.g. Rose & Hawksworth, 1981; Kandler & Poelt, 1984; Seaward & Letrouit-Galinou, 1991, Seaward, 1997, Kricke & Loppi, 2002). Lichens are also sensitive to other types of environmental alteration, a well-known example being eutrophication (see e.g. van Dobben & De Bakker, 1996; van Herk, 1999; van Dobben et al., 2001, van Haluwyn & van Herk, 2002). Lichens have also been used to estimate the ecological continuity of forests as they are also very sensitive to changes in woodland management (Rose, 1976; McCune, 2000, Rose & Coppins, 2002), and to establish networks to monitor climate change (e.g. see Insarov & Schroeter, 2002; van Herk et al., 2002).

This guideline proposes a standardized method to assess lichen diversity on tree bark. Results are shown in a map indicating zones with different lichen diversity. The guideline is largely based on the German VDI Lichen Mapping Guideline (VDI, 1995) and the Italian Guideline (Nimis, 1999), with several important modifications. These were agreed upon during a meeting of the authors in Rome (November 2000), sponsored by the Italian National Agency for the Environment (ANPA). The main modifications concern several elements of subjectivity in the sampling process which were present both in the VDI and in the Italian guidelines. An abridged version of this guideline was published by Asta et al. (2002).

The method proposed here determines the actual state of lichen diversity before or after long-term exposure to air pollution and/or to other types of environmental stress. The interpretation of geographic patterns and temporal trends of lichen diversity in terms of pollution, eutrophication, climatic change, etc., may be assisted by using ecological indicator values (e.g. Wirth, 1992; Diederich & Scheidegger, 1996; Kirschbaum & Hanewald, 1998; Nimis & Martellos, 2001, 2002), and a numerical analysis of a matrix of species and relevés (Gombert, 1999; van Haluwyn & Lerond, 1988).

1. Principles of the Procedure

This guideline is based on the fact that epiphytic lichen diversity is impaired by air pollution and environmental stress. The frequency of occurrence of lichen species on a defined portion of tree bark is used as an estimate of diversity, and as a parameter to estimate the degree of environmental stress. The following procedure provides a rapid, low cost method to define zones of different environmental quality. It provides information on the long-term effects of air pollutants, eutrophication, anthropization and climatic change on sensitive organisms. It can be

applied in the vicinity of an emission source to prove the existence of air pollution and to identify its impact, or, on a larger scale, to detect hot-spots of environmental stress. Repeated monitoring at the same sites enables assessment of the effects of environmental change. Data quality largely depends on the uniformity of growth conditions: the more uniform, the more reliable are the results. A high degree of standardization in sampling procedures is therefore necessary.

The procedure is universally applicable. Interpretation of the results, however, has to be adapted to the regional characteristics of the lichen flora and to the prevalent types of environmental stress. An example is monitoring acidic gaseous emissions caused by fossil fuel combustion. Different methods may be used to solve particular problems, or in particular areas. Examples include monitoring eutrophication in the Netherlands (van Herk, 1999, 2002), lichens on twigs to detect environmental change (Wolseley & Pryor, 1999; Wolseley 2002), and the French phytosociological approach (van Haluwyn & Lerond, 1986 and 1993, van Haluwyn & van Herk, 2002).

Investigations performed according to this guideline require personnel or institutions having the necessary expertise. Quality assurance standards should be followed, and National Authorities must ensure that operators are properly trained and inter-calibrated.

2.0. Sampling design

2.1. Objective

Sampling design provides rules to objectively select monitoring sites (hereafter termed “sampling units”) within a survey area and comprises sampling strategy and sampling tactics. Briefly, sampling strategy defines how sampling units are selected and located, whereas sampling tactics regulates how many trees are selected for sampling within each sampling unit and how they are selected. Both depend on the aim of the study, and should be defined in relation to its geographical scale. Both sampling design and data quality were extensively discussed by Ferretti & Erhardt (2002) in relation to lichen biomonitoring studies.

2.2. Sampling strategy

Investigating the effects of environmental stress for a particular region depends on an even distribution of sampling units, which are best located within a grid (Van Meirvenne, 1991). Each sampling unit is regarded as being representative for a certain portion of the survey area, and must receive equal attention in terms of monitoring effort to avoid bias.

When monitoring the effects of a point/linear emission pollution source, the sampling units should be located in a pattern corresponding to the expected distribution of pollutants, (taking into account distance from source, prevailing wind direction and other source characteristics; see AK BW, 1999). (Fig. 1).

Netherlands (van Herk, 1999, 2002), lichens on twigs to detect environmental change (Wolseley & Pryor, 1999; Wolseley 2002), and the French phytosociological approach (van Haluwyn & Lerond, 1986 and 1993, van Haluwyn & van Herk, 2002).

Investigations performed according to this guideline require personnel or institutions having the necessary expertise. Quality assurance standards should be followed, and National Authorities must ensure that operators are properly trained and inter-calibrated.

3.0. Sampling design

3.1. Objective

Sampling design provides rules to objectively select monitoring sites (hereafter termed “sampling units”) within a survey area and comprises sampling strategy and sampling tactics. Briefly, sampling strategy defines how sampling units are selected and located, whereas sampling tactics regulates how many trees are selected for sampling within each sampling unit and how they are selected. Both depend on the aim of the study, and should be defined in relation to its geographical scale. Both sampling design and data quality were extensively discussed by Ferretti & Erhardt (2002) in relation to lichen biomonitoring studies.

3.2. Sampling strategy

Investigating the effects of environmental stress for a particular region depends on an even distribution of sampling units, which are best located within a grid (Van Meirvenne, 1991). Each sampling unit is regarded as being representative for a certain portion of the survey area, and must receive equal attention in terms of monitoring effort to avoid bias.

When monitoring the effects of a point/linear emission pollution source, the sampling units should be located in a pattern corresponding to the expected distribution of pollutants, (taking into account distance from source, prevailing wind direction and other source characteristics; see AK BW, 1999). (Fig. 1).

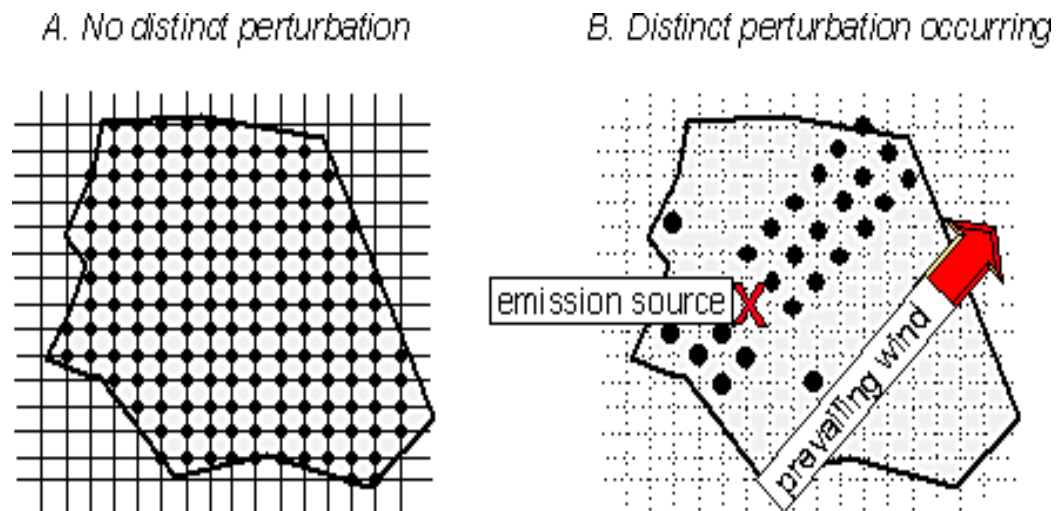


Fig. 1 – Example of sampling units placement in the general investigation of a region (A), and in the vicinity of a point source (B): In case A the sampling units are located at the intersections of the gridlines. In case B they are located around the emission source, where the highest pollution gradients are expected, and at two points where no influence of the point source is to be expected (to obtain information on background levels).

3.3. Sampling density

Sampling density corresponds to the number of sampling units in a given area and depends on grid size. Appropriate sampling density can be defined according to the following formula (Van Meirvenne, 1991):

$$n = \left(t_{\alpha} \frac{CV}{E} \right)^2$$

where:

n = number of sampling units;

t = Student t at defined probability level $1-\alpha$ (for large sample sizes – normal distribution - and $\alpha = 0.05$, $t=1.96$);

CV = coefficient of variation, given by $CV = \frac{s}{X} \cdot 100$, where s is the standard deviation and X the sample mean;

X

E = desired level of relative error (% of mean).

Equation (1) is independent of the size of geographical area. However, it needs an *a priori* knowledge about the expected variability of lichen data, which is in part dependent on environmental conditions. An appropriate sampling density should ideally be established by carrying out a preliminary survey. When this is not possible, information from other studies carried out under similar environmental conditions may be used. In this case, it is better to adopt a conservative approach (i.e. a larger coefficient of variation in equation (1) and – at the same time – to consider whether it can be sustained by the available financial support.

When information about data variability is not available, and when it is impossible to carry out a preliminary survey, Tab. 1 suggests sampling densities appropriate at different geographical scales and type of study.

Table 1 – Practical grid densities for different geographical scales and type of study (Data are in km).

| | <5 km ² | >5 - 100 km ² | >100 - 1000 km ² | >1000 km ² |
|---|--------------------------|--------------------------|-----------------------------|-----------------------|
| Distinct perturbation occurring (gradient studies) | 0.25 x 0.25 | 0.5 x 0.5 to 6 x 6 | 1 x 1 to 12 x 12 | Unusual |
| Before-After | 0.25 x 0.25 | 0.5 x 0.5 to 6 x 6 | 1 x 1 to 12 x 12 | Unusual |
| No distinct perturbation occurring | 0.25 x 0.25 to 0.5 x 0.5 | 0.5 x 0.5 to 6 x 6 | 3 x 3 to 12 x 12 | >9 x 9 |

3.4. Sampling tactic

Sampling tactic concerns the size of the sampling units, the number of trees to be sampled, and their selection within the sampling units.

2.1.1 Sampling unit size

The size of sampling units depends on the grid size and hence on the geographical scale of the study. With sampling units of 0.25 x 0.25 km, 0.25 km is the maximum grid density. For the same reason, a 1 x 1 unit can be sampled every 1, 2, 3, ... n km according to the survey needs. Sampling units larger than 1 x 1 are not recommended, as they can cause a number of practical problems.

2.1.2 Number of trees per sampling unit

The number of trees per sampling unit depends on its size, on the within-unit data variability, and on the availability of suitable trees (see section 3.1). For practical reasons, the number of trees can vary between 3 and 12 (Tab. 2): The numbers suggested in Tab. 2 take into account both the problem of finding sufficient suitable trees in small areas, and the need for an objective selection procedure (see 2.4.4).

Table 2 – Recommended number of trees for sampling units of different sizes.

| Size of sampling unit | 0.25 x 0.25 km | 0.5 x 0.5 km | 1 x 1 km |
|-----------------------|----------------|--------------|----------|
| Number of trees | 3 - 4 | 4 - 6 | 6 - 12 |

If the minimal number of trees is not available, the sampling unit has to be shifted according to the rule described in section 2.4.3.

The following cases can occur taking units of 1 x 1 km as a model, the most suitable sampling unit for studies at large geographical scales (Ferretti & Erhardt 2002):

- 1) The number of suitable trees per sampling unit is less than 6 - In this case, the sampling unit cannot be used, and another unit must be selected, if possible, according to the procedure described in section 2.4.3.
- 2) The number of suitable trees is between 6 and 12 - Ideally, all trees should be sampled. When this is not possible, the selection procedure of section 2.4.4 applies.
- 3) The number of suitable trees is more than 12 (or more than the actual sampling possibilities) - In this case, sample trees must be selected according to the selection procedure outlined in section 2.4.4.

The same procedure can be readily adapted to smaller sampling units.

2.1.3 Shifting the sampling unit in case of insufficient trees

Where there are too few trees, another sampling unit should be selected according to a standard procedure, e.g. moving to the nearest unit to the North and then moving clockwise to the next according to the scheme in Fig. 2 (Ferretti & Erhardt, 2002). A new sampling unit is installed as soon as the sampling requirements (at least n suitable trees) are met. If none of the surrounding potential sampling units will fulfil the requirements, the sampling unit must not be selected for monitoring purposes.

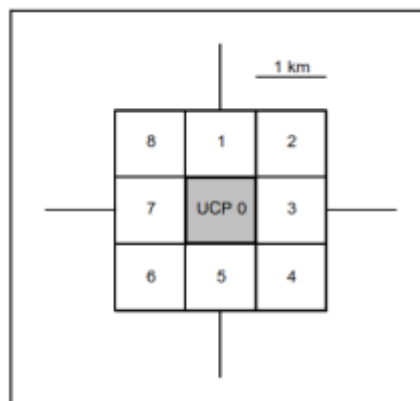


Fig. 2 - Scheme for selecting a new sampling unit when suitable conditions are not found at the originally identified sampling unit (UCP 0). Numbering of sampling units corresponds to shifting priority (after Asta et al., 2002).

2.1.4 Tree Selection procedure

Where more trees occur in a sampling unit than the number chosen for sampling, it is important to select trees according to a statistically valid method. Various objective procedures can be used including:

- a) Selecting suitable trees closest to the centre of the sampling units, regardless of their position in the unit (Fig. 3a),
- b) Dividing the mapping units into four quadrants, and selecting 3 trees per quadrant, either considering the distance from the centre of the unit (Fig. 3b) or,
- c) Using sub-plots (Fig. 3c).

Selecting trees in each of the quadrants is recommended as a practical method to distribute the trees throughout the sampling unit.

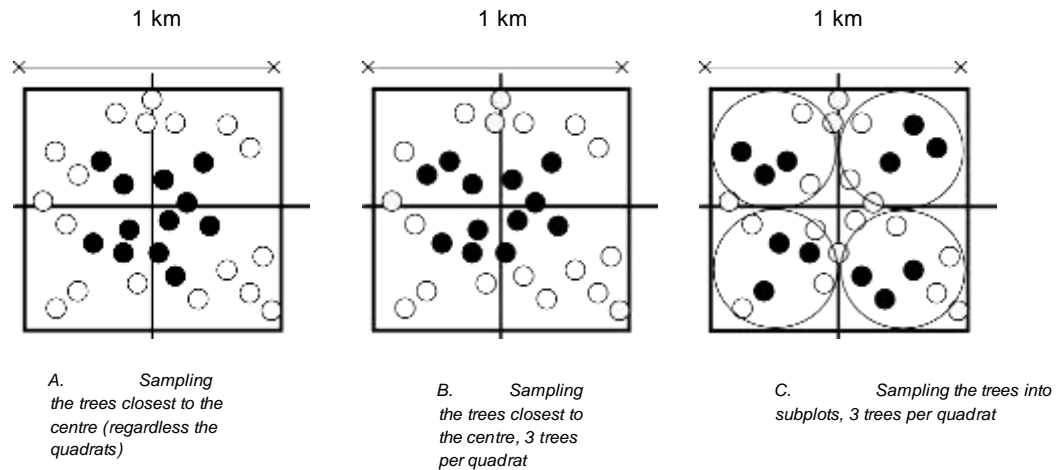


Fig. 3 – Effects of different sampling tactics on the spatial distribution of sample trees selected from a population within a sampling unit. A: the trees closest to the centre are sampled, regardless of their location in the sectors; B: 3 trees per sector are selected, those closest to the centre of the unit; C: 3 trees per sector are selected, those closest to the centre of a subplot installed within each sector (Ferretti & Erhardt, 2002).

To select sample trees for each of the quadrants the following procedure can be adopted:

- 1) Define the centre and divide the sampling unit into four sectors (Fig. 4).
- 2) Number the sectors clockwise from 1 to 4, starting from the upper right sector.
- 3) First (operation 1), for each sector search for the 3 suitable trees which are closest to the centre of the sampling unit (Fig. 4) . Two cases may arise:
 - (i) At least 3 suitable trees occur per sector. This is the ideal situation, and 12 trees can be sampled.
 - (ii) Some sectors have less than 3 suitable trees and others more than 3. In this case (operation 2) come back to the first sector with more than 3 trees (sector 2 in Fig. 4). Trees not yet selected during operation 1 are now selected until a total of 12. If this is not possible, move to the next sector and so on, until the number of 12 is reached. For operation 2, the tree closest to the centre of the unit should also be considered.

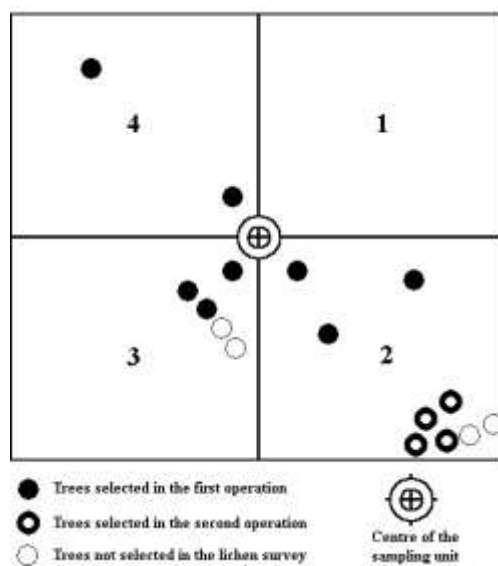


Fig. 4 – Example of selection of trees in a sampling unit (after Asta et al., 2002)

1.0. Sampling procedure

4.1. Selecting tree species

Tree species must be selected after a reconnaissance of the study area, in order to verify the frequency/distribution of suitable trees.

Free-standing trees should be selected, i.e. those whose trunks receive direct solar radiation for at least part of the day (ca. 15 m distance between trunks). Trees from forest stands should be used only for particular purposes (e.g. monitoring environmental change in forests). However, the use of both free-standing trees and of those in closed-canopied stands must be avoided in a single survey.

It is advisable to select only trees of a single species within a survey because epiphytic lichen growth strongly depends on bark properties (e.g. see Türk & Wirth, 1975; Kricke, 2002), as well as on the age and shape of trees. If this is not feasible, tree species can be chosen with similar bark properties (e.g. pH, water storage capacity, nutrient contents). National Authorities should prepare lists of trees with similar physico-chemical bark properties based on the national tree floras. The list should not include trees with unknown ecological bark properties. Examples are provided in the German (VDI 1995) and Italian (Nimis 1999) guidelines. Data from very different tree species cannot be used interchangeably.

Trees with a readily peeling bark, such as *Platanus*, should not be used for sampling.

Table 3 – Tree species with similar physico-chemical properties which can be used interchangeably.

| GRUPO I | GRUPO II |
|---------|----------|
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |

The circumferences of the trunks must not be less than 40 cm, and it is preferable to select trees with a circumference of at least 70 cm. Within the same survey, trees of similar size should be used.

Injured trees are not suitable. Trees visibly affected by actions such as liming, removal of the bark by humans or of the lichens by grazing animals are also not suitable. Mapping of trees in fruit-plantations affected by fungicides is not permitted.

The inclination of trees must not exceed 10° from the vertical.

4.2. Surveying Lichen Diversity

A monitoring quadrat consisting of four independent quadrat segments of five 10 x 10 cm squares each, as shown in Fig. 5, is attached vertically to the trunk so that the lower edge of each segment is 1 m above the highest point of the ground. In particularly arid areas, and especially in city centres, the lichen cover is often restricted at the base of the trees (higher humidity and nutrient enrichment; see Pirintsos et al., 1993). In such cases the survey may be carried out at heights under 100 cm. However these data cannot be processed together with those obtained from other surveys using quadrats at the recommended height, but may be used separately, in the most convenient form, in order to define further zonations within the survey area (be aware of the problem of eutrophication by dogs in this case!).

The four segments of the sampling quadrat must be placed to correspond with the 4

aspects (NSEW) of the tree trunk.

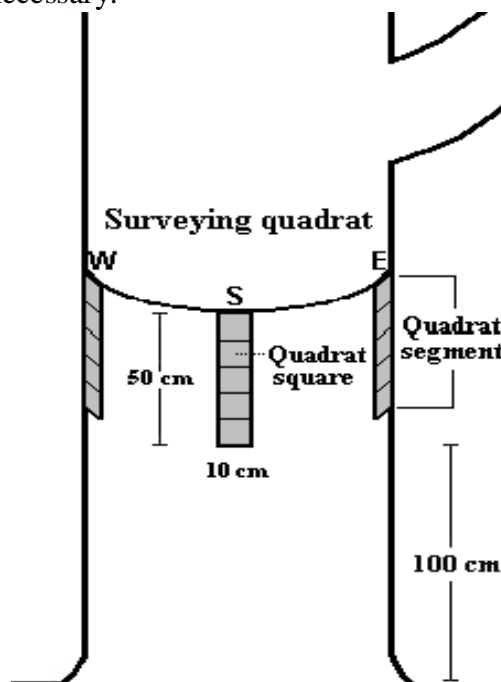
It is possible to relocate monitoring quadrat segments by a maximum shift of 20° in a clockwise direction to avoid parts of the trunk which are not suitable for sampling (e.g. wounds, knots, etc).

At least three segments should be placed on a given trunk; if this proves to be impossible, another tree must be selected.

The following situations must be avoided when locating the quadrat segments, even if a high lichen cover is present:

- damaged or decorticated parts
- knots,
- seepage tracks
- parts where the bryophyte cover is higher than 25% (however, muscicolous lichens must be considered when calculating lichen diversity values).

It is advisable to mark the location of the areas examined on the trunk accurately and durably if a repetition of the inventory is planned, for which prior approval of the landowner may be necessary.



The four segments of the monitoring quadrat are attached to the tree with a rubber band

Fig. 5 - Recording quadrat composed of four quadrat segments each with 5 squares.

All lichen species present within each quadrat segment are recorded using a form (see Appendix) and the frequency of occurrence of each species in the 5 squares of each quadrat segment noted. The list of species with their frequency values in one segment constitutes a relevé of lichen vegetation.

All species are suitable for the calculation of Lichen Diversity Values (LDV). However, a few small crustose lichens are particularly difficult to identify and/or are easily overlooked. Where the identification of certain thalli is troublesome both in the field and/or in the laboratory, it is advisable to include them in the calculation of diversity as "*Sp. nr. x*", having established that they are not damaged or poorly developed forms of species already occurring in the monitoring quadrat.

No specimens of red-listed species should be removed.

No lichens should be removed from within the monitoring quadrat if a future survey is planned. Lichens are identified according to the methods described in the published literature (see references: determination keys)

5.0. Data Analysis

5.1. Calculation of Lichen Diversity Values (LDV)

The Lichen Diversity Value (LDV) of a sampling unit is a statistical estimator of the environmental conditions in that unit.

The first step in calculating the LDV of a sampling unit (j) is to sum the frequencies of all lichen species found on each tree (i) within the unit. Since substantial differences in lichen growth may be expected on different sides of the trunks, the frequencies have to be summed separately for each aspect. Thus, for each tree there are four Sums of Frequencies (tree i: SF_{iN} , SF_{iE} , SF_{iS} , SF_{iW}).

Next, for each aspect the arithmetic mean of the Sums of Frequencies (MSF) for sampling unit j are calculated

$$MSF_{Nj} = (SF_{1Nj} + SF_{2Nj} + SF_{3Nj} + SF_{4Nj} + \dots + SF_{nNj})/n$$

....

MSF: Mean of the sums of frequencies of all the sampled trees of unit j
 SF: Sum of frequencies of all lichen species found at one aspect of tree i
 N, E, S, W: north, east, south, west

n: number of trees sampled in unit j

The Lichen Diversity Value of a sampling unit j (LDV_j) is the sum of the MSFs of each aspect

$$LDV_j = (MSF_{Nj} + MSF_{Ej} + MSF_{Sj} + MSF_{Wj})$$

Sums of Frequencies Tree n 2 25 26 25

Means of Sums of Frequencies (MSF) 3,7 24,8 22,7 26,3

LDV of unit j 77,3

*) data omitted to simulate the case when one aspect was unsuitable for sampling .

5.2.Determination of Lichen Diversity Classes (LDC)

LDV values should be grouped into classes, sufficiently wide to reflect statistically and environmentally significant differences among sampling units to interpret and present results. On the other hand the classes should not be too wide, to avoid loss of information on geographic patterns. This is best achieved if the class width is linked to the range of error of results. Thus, the quality of the results (e. g. availability and quality of sampling trees, number of trees per unit, ecological homogeneity of the area, work precision) determines how many different classes, and as a consequence, how many zones of different environmental conditions can be distinguished in a given mapping project.

The accuracy of Lichen Diversity Values is best described by their standard errors. If these are large, the classes will be broad and no fine differentiation between various degrees of lichen diversity is possible; if standard errors are small, a finer distinction of lichen diversity values is possible.

A reasonable classification is achieved, if LDVs of non-adjointing classes differ in a statistically significant way (e.g. if the LDVs of class 1 differ significantly from those of class 3). As the best estimator, the median of the standard errors of the sampling units is chosen as the basis for classification.

Two groups of data may be considered to be significantly different, if the distance between their means is equal to 3 standard errors, which means that the width of a class should be equal to 3 standard errors.

In order to calculate the standard error of the LDVs, the standard deviation of the sums of frequencies must be determined. For this, the systematic differences among lichen frequencies at each aspect have to be taken into account. This is either done by separately determining the standard deviations for each aspect in each sampling unit and then averaging them, or by following the example given below.

Table 5 - Calculation of standard deviation of the sums of frequencies:

| | N | E | S | W | | N | E | S | W |
|------------------------------|----------|-----------|-----------|-----------|------------------------------|------|------|------|------|
| Sums of Frequencies Tree 1 | 3 | 26 | 19 | 26 | absolute deviations from MSF | -0,7 | 1,3 | -3,7 | -0,3 |
| Sums of Frequencies Tree 2 | 6 | 21 | - | 28 | absolute deviations from MSF | 2,3 | -3,8 | - | 1,8 |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| Sums of Frequencies Tree n-1 | - | 27 | 23 | 26 | absolute deviations from MSF | - | 2,3 | 0,3 | -0,3 |
| Sums of Frequencies Tree n | <u>2</u> | <u>25</u> | <u>26</u> | <u>25</u> | absolute deviations from MSF | -1,7 | 0,3 | 3,3 | -1,3 |
| Means Sums of Frequencies | | | | | | | | | |

(MSF) 3,7 24,8 22,7 26,3

Standard Deviation 2,127

The standard errors of the LDVs is then calculated according to the formula:

$$\text{standard error of unit } j = \text{standard deviation of unit } j / \sqrt{(n_j - 1)}$$

where

s_j : standard deviation of sums of frequencies in unit j n_j : number of trees sampled in unit j

The width of the LDV classes is then:

$$\text{width of the LDV classes} = 3 * \text{standard error}$$

5.3. Mapping

Maps can be constructed in two different ways:

- 1) The *sampling grid* is plotted onto the map: The LDV values of the sampling units are assigned to Lichen Diversity classes (see above) and sampling units coloured according to the respective class.
- 2) Automatic mapping programs can be used which calculate interpolations from adjoining points. It is important to consider whether the survey area topography and sampling density are appropriate to allow use of such algorithms.

6.0. Data Interpretation

6.1. Scales to interpret lichen diversity

Lichen growth may vary between regions because of floristic, ecological and climatic differences. Lichen diversity values should therefore be interpreted according to specific regional scales developed from the results of several mapping projects both to ensure comparability and to critically evaluate projects. Such scales should assign verbal evaluations and colour codes to characterise different levels of lichen diversity, according to their deviation from the "normal/natural" conditions prevailing in the region.

In this guideline, diversity is defined as "very high - high - moderate - low - very low" following the scale proposed for Germany (VDI 1995). Similar scales were proposed by Nimis (1999) for submediterranean Italy, and by Loppi et al. (2002) for Tyrrhenian Italy. These scales, however, were developed on the basis of different sampling grids, and in the following they will be used as mere examples. Interpretation scales based on the method presented here are being developed in different parts of Europe.

Geographic patterns of LDV can be interpreted in terms of general environmental alteration (deviation from background conditions) on the basis of the interpretation scales. If no such scale is available, interpretations can be based on the differences between maximum and minimum LDV values within the survey area. In this case, however, patterns of environmental alteration can be detected, but their magnitude cannot be properly assessed.

LDV classes are assigned to the interpretation scale so that they match the best suitable verbal expressions and colour codes (Figs. 6 and 7). If LDV classes fall into two categories, the verbal expressions of both categories are combined, e.g. "moderate to high diversity", and hatched colour codes (e.g. green hatching on yellow background) are used. If several LDV classes fall into one category they are separated by black hatching. The density of the hatching decreases toward the range of higher diversity.

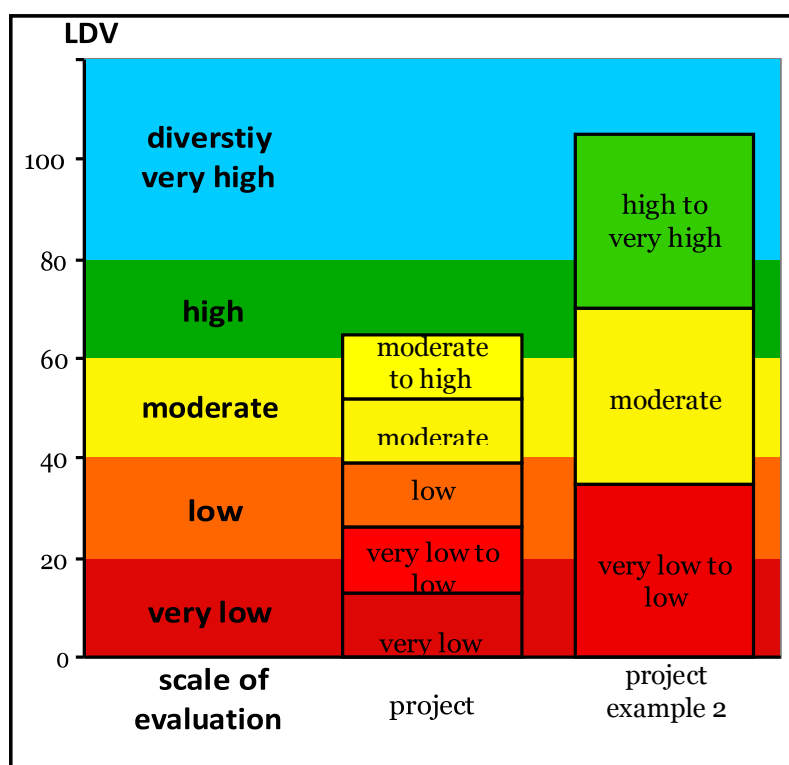


Fig 6: Examples for the scale

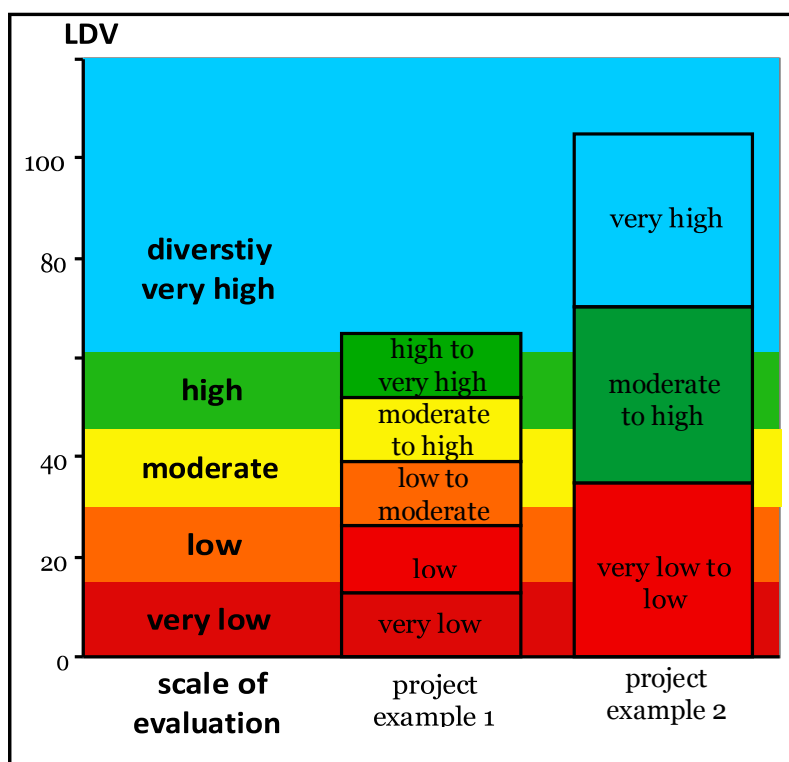


Fig 7: Examples for the scale

A mathematical procedure for assigning the LDV classes to the interpretation scales was deliberately avoided not to give the impression that an accurate distinction is feasible.

6.2. Analysis of relevés

A much finer level of data interpretation is possible by carrying out multivariate analyses of the relevé data on each sampled tree since each relevé consists of a list of species occurring in a monitoring quadrat segment, each with an associated frequency value. Relevés should be organized into a matrix of species and their associated frequencies. Multivariate classification of this matrix groups species with a similar ecological behaviour, and groups of relevés with a similar floristic composition (communities). Identification of communities can be made with reference to the available phytosociological literature (see e.g. Barkman, 1958; James et al., 1977; Lerond, 1981). Used in conjunction with physico-chemical and other environmental data, ordination programs allow the main environmental gradients responsible for the observed floristic variation in the survey area to be determined. The distribution of lichen communities around the trunks may provide useful information on the spatial and/or temporal variation of environmental conditions and help identify the main sources of environmental stress, as in the case of the alkaline dust effect arising from quarrying activities (e.g. Gilbert 1976) where characteristic assemblages may develop on different aspects of the trunk according to the prevailing wind direction.

Information associated with each species can be used to interpret the results in terms of different types of environmental alteration. Examples include:

- a) the grouping of species into ecological groups (e.g. nitrophytic/non nitrophytic to identify alteration due to eutrophication),
- b) the use of sensitivity values to quantify temporal and spatial changes in air pollution (e.g. see Hawksworth & Rose, 1970; Trass, 1973; van Dobben & Ter Braak, 1999),
- c) the use of ecological indicator values (e.g. for pH, to reveal acidification etc.; Wirth, 1992; Nimis & Martellos 2001, 2002).

It should be stressed that indicator and sensitivity values should not be uncritically adopted in floristically and climatically very different areas from those for which they were originally developed. Finally, the average frequencies of selected indicator species in each sampling unit can be used to draw distribution maps of those species, as suggested for the LDV.

6.3. Comparison with other studies

The LDV of the sampling units (average of the LDVs of all trees sampled in a unit) may be used to compare results of surveys from various areas, or to study the temporal variation of environmental stress in the same area,

If the survey areas are very different, a comparison is only feasible provided certain requirements are met:

- the survey areas are located in the region where the same interpretation scale was proposed (i.e. they are climatically and floristically similar),
- or, the results of mapping are correlated with physico-chemical air quality measurements and calibrated,
- the examined trees belong to species that can be compared with each other.

For all areas, the following pertains:

In areas with very low LDV values, pollution may be the main source of environmental alteration in which case measures to improve air quality are urgently needed. A minimum level of air quality should be a target. The success of air pollution control measures becomes apparent when higher LDVs are obtained in a repeated survey. No measures to improve air quality are required in areas having very high LDV values, where healthy specimens of fruticose lichens

(e.g. *Usnea*, *Bryoria* and *Ramalina*) are consistently present. A marked decline of LDV values, compared with earlier studies, signals increased environmental alteration (e.g. deterioration in air quality).

7.0. Data pool

Each study should present the following basic data in a table:

- operator(s)
- geographical name of the survey area,
- size of the sampling units,
- tree species surveyed,
- total number of trees surveyed,
- mean number of trees surveyed per sampling unit,
- an exact description of the location of the examined trees,
- frequencies of occurrence of individual lichen species on the examined trees (matrix of species and relevés for each tree, and LDV of the tree),
- standard deviation of the LDVs in the sampling units,
- confidence limits of the LDVs,
- width of LDV classes,
- every sampled tree georeferenced.

References

- AA.VV. (2001). "I.B.L. Indice di Biodiversità Lichenica". ANPA, Serie Manuali e Linee Guida 2/2001, Rome.
- AK BW (1999). Arbeitskreis Bioindikation/Wirkungsermittlung der Landesämter und – anstalten für Umweltschutz: Empfehlungen zum emittentenbezogenen Einsatz von pflanzlichen Bioindikatoren. – UWSF-Z. Umweltch. Ökotox. 11 (1999), 4, 207-211.
- Asta, J., Erhardt, W., Ferretti, M., Fornasier, F., Kirschbaum, U., Nimis, P.L., Purvis, O.W., Pirintzos, S., Scheidegger, C., van Haluwyn, C. & Wirth, V. (2002). Mapping lichen diversity as an indicator of environmental quality. - In: Nimis, P.L. et al. (eds.): Monitoring with Lichens – Monitoring Lichens. NATO Science Series, IV, vol. 7. Kluwer, Dordrecht, pp. 273 -279.
- Barkman, J. J. (1958). Phytosociology and ecology of cryptogamic epiphytes – van Gorcum, Assen. Cislighi, C. & Nimis, P.L. (1997). Lichens, air pollution and lung cancer. – Nature, 387, 463-464.
- Dietrich, M. & C. Scheidegger (1996). Diversität und Zeigerwerte von epiphytischen Flechten der häufigsten Baumarten: Ein methodischer Ansatz zur Beurteilung von Umweltveränderungen im Wald und im Freiland. – Bot. Helv. 106, 85-102.
- Ferretti, M. & Erhardt, W. (2002). Key issues in designing biomonitoring programmes. – In: Nimis, P.L. et al. (eds.): Monitoring with Lichens – Monitoring Lichens. NATO Science Series, IV, vol. 7. Kluwer, Dordrecht, pp. 111-139.
- Ferry, B.W., Baddeley M.S. & Hawksworth, D.L. (1973). Air pollution and lichens – The Althone Press, London.
- Galun, M. (ed.) (1988). CRC Handbook of Lichenology. 3 vol. – CRC Press. Boca Raton, Florida. Gilbert, O.L. (1976). An alkaline dust effect on epiphytic lichens. – Lichenologist 8, 173-178.
- Gombert, S. (1999). Utilisation de la bioindikation lichénique dans l'estimation de la qualité de l'air de l'agglomération grenobloise: étude à différents niveaux d'organisation biologique. – Thesis Univ. Grenoble, Grenoble.
- Hawksworth, D. & Rose, F. (1970). Qualitative scale for estimating sulphur dioxide air pollution in England and Wales using epiphytic lichens. – Nature 227, 145-148.

Herzig, R. & Urech, M. (1991). Flechten als Bioindikatoren. Integriertes biologisches Meßsystem der Luftverschmutzung für das Schweizer Mittelland. – Bibliotheca Lichenol. 43. Berlin, Stuttgart: Cramer.

Insarov, G.E. & Schroeter, B. (2002). Lichen monitoring and climate change. – In: Nimis, P.L. et al. (eds.): Monitoring with Lichens – Monitoring Lichens. NATO Science Series, IV, vol. 7. Kluwer, Dordrecht, pp. 183-201.

- Insarov, G.E., Semenov, S.M. & Insarova, I.D. (1999). A system to monitor climate change with epilithic lichens. – *Environmental Monitoring and Assessment*, 55, 279-298.
- Kricke, R. (2002). Measuring bark pH. – In: Nimis, P.L. et al. (eds.): *Monitoring with Lichens – Monitoring Lichens*. NATO Science Series, IV, vol. 7. Kluwer, Dordrecht, pp. 333-336.
- Kricke, R. & Loppi, S. (2002). Bioindication: the I.A.P. approach. – In: Nimis, P.L. et al. (eds.): *Monitoring with lichens – Monitoring Lichens*. NATO Science Series, IV, vol. 7. Kluwer, Dordrecht, pp. 21-37.
- James, P., Hawksworth D.L. & Rose, F. (1977). Lichen communities in the British Isles: A preliminary conspectus. – In: Seaward, M.R.D. (ed.): *Lichen Ecology*. Academic Press, pp. 295-413.
- Kandler, O. & Poelt, J. (1984). Wiederbesiedlung der Innenstadt von München durch Flechten. – *Naturwiss. Rundschau*, 37, 90-95.
- Kirschbaum, U. & Hanewald, K. (1998). Immissionsbezogene Flechtenkartierung in hessischen Dauerbeobachtungsflächen. – *Angew. Bot.*, 72, 212-227.
- Le Blanc, F., & De Sloover, J. (1970). Relation between industrialization and the distribution and growth of epiphytic lichens and mosses in Montreal. – *Can. J. Bot.*, 48(7), 1485-1496.
- Lerond, M. (1981). Les lichens épiphytes en Normandie Orientale, distribution, sociologie et application à la cartographie de la pollution atmosphérique – *Actes du Museum de Rouen 1981*, 1-295.
- Loppi S., Giordani, P., Brunialti, G., Isocrono, D. & Piervittori, R. (2002). Identifying deviations from naturalness of lichen diversity for bioindication purposes. – In: Nimis, P.L. et al. (eds.): *Monitoring with Lichens – Monitoring Lichens*. NATO Science Series, IV, vol. 7. Kluwer, Dordrecht, pp. 281-284.
- Lorenz, R. J. (1988). *Grundlagen der Biometrie*. – G. Fischer-Verlag, Stuttgart.
- McCune, B. (2000). Lichen communities as indicators of forest health. – *Bryologist* 103, 353-356.
- Nash, T. (ed.) (1996). *Lichen Biology*. – Cambridge Univ. Press, Cambridge.
- Nash III, T. & Wirth, V. (1988). *Lichens, Bryophytes and Air Quality*. – Cramer, Berlin.
- Nimis, P. L. (1999). Linee guida per la bioindicazione degli effetti dell'inquinamento tramite la biodiversità dei licheni epifiti. – In: Piccini C., Salvati S. (eds.): *Atti Workshop Biomonitoraggio Qualità dell'Aria sul territorio Nazionale*. ANPA, Ser. Atti, 2, 267-277.
- Nimis, P.L. & Martellos, S. (2001). ITALIC, A new information system on Italian Lichens. – *Plant Ecology* 157(2), 165-172.
- Nimis, P.L. & Martellos S. (2002). Testing the predictivity of ecological indicator values. A comparison of real and “virtual” relevés of lichen vegetation. – *Plant Ecology* (in press).
- Nimis, P.L., Scheidegger, Ch. & Wolseley, P.A. (2002). *Monitoring with Lichens – Monitoring Lichens*.
- Pirintsos, S.A., Vokou, D., Diamantopoulos, J. & Galloway, D.J. (1993). An assessment of the sampling procedure for estimating air pollution using epiphytic lichens as indicators. – *Lichenologist* 25, 165-173. NATO Science Series, IV, vol. 7. Kluwer, Dordrecht, 408 pp.
- Purvis, O.W. (2000). *Lichens*. – The Natural History Museum, London.
- Richardson, D.H.S. (1992). *Pollution monitoring with lichens*. – Richmond, Slough, UK.
- Rose, F. (1976). Lichenological indicators of age and environmental continuity in woodlands. – In: D.H. Brown, D.L. Hawksworth & R.H. Bailey (eds.): *Lichenology: Progress and Problems*. Academic Press, London pp. 279-307.
- Rose, F. & Coppins, S. (2002). Site assessment of epiphytic habitats using lichen indices. – In: Nimis, P.L. et al. (eds.): *Monitoring with Lichens – Monitoring Lichens*. NATO Science Series, IV, vol. 7. Kluwer, Dordrecht, pp. 343-348.
- Rose, C.I. & Hawksworth, D.L. (1981). Lichen recolonization in London's cleaner air. – *Nature* 289, 289- 292.
- Seaward, M.R.D. (1997). Urban deserts bloom: a lichen renaissance. – *Bibliotheca*

Lichenologica 67, 297- 309.

Seaward, M.R.D. & Letrouit-Galinou, M.A. (1991). Lichen recolonization of the trees in the Jardin du Luxembourg, Paris. – Lichenologist 23, 181-186.

Trass, H. (1973). Lichen sensitivity to air pollution and index of poleotolerance (I.P.). – Folia Cryptog.

Estonica 3, 19-22.

Trümpener, E. (1926). Über die Bedeutung der Wasserstoffionenkonzentration für die Verbreitung von Flechten. – Beih. Bot. Centralblatt, Bd. XLII (3), 321-354.

Türk, R. & Wirth, V. (1975). The pH dependence of SO₂ damage to lichens. – Oecologia 19, 285-291.

- Van Dobben, H.F. & De Bakker, A.J. (1996). Re-mapping epiphytic lichen biodiversity in the Netherlands: effects of decreasing SO₂ and increasing NH₃. – *Acta Botanica Neerlandica* 45, 55-71.
- Van Dobben, H.F. & Ter Braak, J.F. (1999). Ranking of epiphytic lichen sensitivity to air pollution using survey data: a comparison of indicator scales. – *Lichenologist* 31, 27-39.
- Van Dobben, H. F., Wolterbeek, H.T., Wameling, G.W.W. & Ter Braak, J. F. (2001). Relationship between epiphytic lichens, trace elements and gaseous atmospheric pollutants. – *Environmental Pollution*, 112(2), 163-169.
- Van Haluwyn, C. & Lerond, M. (1988). Lichénosociologie et qualité de l'air: protocole opératoire et limites.
– *Crypto. Bryol. Lichénol.*, 9, 313-336.
- Van Haluwyn, C. & Lerond, M. (1986). Les lichens et la qualité de l'air. Evolution méthodologique et limites. – Rapport n° 2130. Ministère de l'Environnement. SRETIE, 207pp.
- Van Haluwyn, C. & Lerond, M. (1993). Guide des Lichens. – Lechevalier, 344pp.
- Van Haluwyn, C. & van Herk, C.M. (2002). Bioindication: the Community Approach. – In: Nimis, P.L. et al. (eds.): *Monitoring with Lichens – Monitoring Lichens*. NATO Science Series, IV, vol. 7. Kluwer, Dordrecht, pp. 39-64.
- Van Herk, C.M. (1999). Mapping of ammonia pollution with epiphytic lichens in the Netherlands. – *Lichenologist* 31, 9-20.
- Van Herk, C.M. (2002). Epiphytes on wayside trees as an indicator of eutrophication in the Netherlands. – In: Nimis, P.L. et al. (eds.): *Monitoring with Lichens – Monitoring Lichens*. NATO Science Series, IV, vol. 7. Kluwer, Dordrecht, pp. 285-289.
- Van Herk, C.M., Artproot, A. & van Dobben, H.F. (2002). Long-term monitoring in the Netherlands suggests that lichens respond to global warming. – *Lichenologist* 34(2), 141-154.
- Van Meirvenne, M. (1991). Characterization of soil spatial variation using geostatistics. – PhD Thesis, Univ. of Gent.
- VDI-Richtlinie 3799, Blatt 1 (1995). Ermittlung und Beurteilung phytotoxischer Wirkungen von Immissionen mit Flechten: Flechtenkartierung. – *VDI/DIN-Handbuch Reinhaltung der Luft*, Bd. 1, Beuth-Verlag, Berlin.
- Wirth, V. (1992). Zeigerwerte von Flechten. – In: Ellenberg, H. (Hrsg.), *Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa*. Scripta Geobotanica XVIII, 215-237. Goltze-Verlag, Göttingen.
- Wolseley, P.A. (2002). Using lichens on twigs to assess changes in ambient atmospheric conditions. – In: Nimis, P.L. et al. (eds.): *Monitoring with Lichens – Monitoring Lichens*. NATO Science Series, IV, vol. 3. Kluwer, Dordrecht, pp. 291-294.
- Wolseley, P. & Pryor, K.V. (1999). The potential of epiphytic twig communities on *Quercus petraea* in a welsh woodland site (Tycanol) for evaluating environmental changes. – *Lichenologist* 31, 41-61.

Identification keys

- Clauzade, G. & Roux, C. (1985). *Likenoj de Okcidenta Eŭropo. Illustrita Determinlibro – Bulletin de la Société Bot. du Centre-Ouest*. Royan.
- Diederich, P. (1989). *Les lichens épiphytiques et leurs champignons lichénicoles (Macrolichenes exceptes: lichens crustacés) du Luxembourg*. Ministre des Affaires Culturelles. – *Travaux scientifiques du Musée National d' Histoire Naturelle de Luxembourg XIV*. Luxembourg.
- Dobson, F.S. (2000). *Lichens (an illustrated guide to the British and Irish Species)*. – The Richmond Publishing Co. LTD. Slough, UK.
- Foucard, T. (1990). *Svensk Skorplavs Flora (crustose lichens)*. – BTJ-Druck, Lund.
- Jahns, H.M. (1987). *Farne, Moose, Flechten*. – BLV-Verlag, München.
- Kirschbaum, U. & Wirth, V. (1995). *Flechten erkennen - Luftgüte bestimmen*. – Ulmer-Verlag, Stuttgart.
- Kirschbaum, U. & Wirth, V. (1997). *Les lichens bio-indicateurs – les reconnaître – évaluer la qualité de l'air*. (Translated by C. van Haluwyn, J. P. Gavériaux, D. Cuny & M. Lerond). – Ulmer-Verlag, Stuttgart.
- Krog, H., Østhagen, H. & Tønnsberg, T. (1980). *Lavflora*. – Universitetsforlaget, Oslo.
- Lorente, V.C. & Sánchez, M.J.S. (2001). *Guía de líquenes epífitos*. – Ministerio de Medio Ambiente. Secretaria General de Medio Ambiente. Madrid, ISBN: 84-8014-298

McCune, B. (2000) Lichen communities as indicators of forest health. – *Bryologist* 103, 353-356.

Moberg, R. & Holmasen, I. (1992). *Flechten von Nord- und Mitteleuropa*. – G. Fischer-Verlag, Stuttgart, Jena, New York.

Nimis, P.L. (1987). *I Macrolicheni d'Italia. Chiavi analitiche per la determinazione*. – *Gortania* 8, 101-220. Ozenda, P. & Clauzade, G. (1970). *Les Lichens*. – Masson, Paris.

Poelt, J. (1969). *Bestimmungsschlüssel europäischer Flechten*. – Cramer-Verlag, Lehre, Vaduz.

Poelt, J. & Vezda, A. (1977). *Bestimmungsschlüssel europäischer Flechten*.

Erg

änzungsheft I. – Bibl.

Lichen. 9. Cramer-Verlag, Vaduz.

Poelt, J. & Vezda, A. (1981). *Bestimmungsschlüssel europäischer Flechten*.

Ergänzungsheft II. – Cramer-Verlag, Vaduz.

Purvis, O.W., Coppins, B.J., Hawksworth, D.L., James, P.W. & Moore, D.M.

(1992). *The lichen flora of Great Britain and Ireland*. – Natural History Museum Publications, London.

Schreiner, E. & Hafellner, J. (1992). *Sorediöse, corticole Krustenflechten im*

Ostalpenraum. I. – *Bibliotheca Lichenologica*, 45. Cramer-Verlag, Berlin, Stuttgart.

Tønsberg, T. (1992). *The sorediate and isidiate, corticolous, crustose lichens in*

Norway. – *Sommerfeltia* 14, 1-331.

Van Haluwyn, C. (1988). *Essai de clé de détermination des lichens épiphytes*

crustacés stériles du nord ouest de la France. – *Bull. Ass. Fr. Lichenol.*, 13(1), 5-14.

Van Haluwyn, C. & Lerond, M. (1993). *Guide des*

lichens. – Lechevalier, Paris. Wirth, V. (1995).

Flechtenflora. – UTB-Verlag, Ulmer-Verlag, Stuttgart.

Wirth, V. (1995). *Die Flechten Baden-Württembergs*. –

Ulmer-Verlag, Stuttgart. Wirth, V. & Düll, R. (2000).

Farbatlas Flechten und Moose. – Ulmer-Verlag, Stuttgart.

