

**UNIVERSIDAD NACIONAL  
SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO**

**FACULTAD DE CIENCIAS DEL AMBIENTE**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**EVALUACIÓN DE LA COMUNIDAD LIQUÉNICA EPÍFITA EN  
TRES BOSQUES DOMINADOS POR ÁRBOLES DEL GÉNERO  
POLYLEPIS, EN EL PARQUE NACIONAL HUASCARÁN,  
HUARAZ, ÁNCASH, PERIODO 2019-2020**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL**

Tesista:

**Br. MILUSKA PAMELA ALEJO MOSQUERA**

Asesores:

**Dr. PRUDENCIO CELSO HIDALGO CAMARENA**

**Dra. BEATRIZ FUENTEALBA DURAND**

**Huaraz, Áncash, Perú**

**2021**



**FORMATO DE AUTORIZACIÓN PARA LA PUBLICACIÓN DE TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN, CONDUCENTES A  
OPTAR TÍTULOS PROFESIONALES Y GRADOS ACADÉMICOS EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL**

**1. Datos del autor:**

Apellidos y Nombres: \_\_\_\_\_

Código de alumno: \_\_\_\_\_

Teléfono: \_\_\_\_\_

E-mail: \_\_\_\_\_

D.N.I. n°: \_\_\_\_\_

*(En caso haya más autores, llenar un formulario por autor)*

**2. Tipo de trabajo de investigación:**

Tesis

Trabajo de Suficiencia Profesional

Trabajo Académico

Trabajo de Investigación

Tesinas (presentadas antes de la publicación de la Nueva Ley Universitaria 30220 – 2014)

**3. Para optar el Título Profesional de:**

\_\_\_\_\_

**4. Título del trabajo de investigación:**

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

**5. Facultad de:** \_\_\_\_\_

**6. Escuela o Carrera:** \_\_\_\_\_

**7. Línea de Investigación(\*):** \_\_\_\_\_

**8. Sub-línea de Investigación(\*):** \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

*(\*) Según resolución de aprobación del proyecto de tesis*

**9. Asesor:**

Apellidos y nombres \_\_\_\_\_ D.N.I n°: \_\_\_\_\_

E-mail: \_\_\_\_\_ ID ORCID: 0000-0002-8878-2865

**10. Referencia bibliográfica:** \_\_\_\_\_

**11. Tipo de acceso al Documento:**

Acceso público\* al contenido completo.

Acceso restringido\*\* al contenido completo

*Si el autor eligió el tipo de acceso abierto o público, otorga a la Universidad Santiago Antúnez de Mayolo una licencia no exclusiva, para que se pueda hacer arreglos de forma en la obra y difundirlo en el Repositorio Institucional, respetando siempre los Derechos de Autor y Propiedad Intelectual de acuerdo y en el Marco de la Ley 822.*

En caso de que el autor elija la segunda opción, es necesario y obligatorio que indique el sustento correspondiente:

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_



## 12. Originalidad del archivo digital

*Por el presente dejo constancia que el archivo digital que entrego a la Universidad, como parte del proceso conducente a obtener el título profesional o grado académico, es la versión final del trabajo de investigación sustentado y aprobado por el Jurado.*



Firma del autor

## 13. Otorgamiento de una licencia **CREATIVE COMMONS**

*Para las investigaciones que son de acceso abierto se les otorgó una licencia Creative Commons, con la finalidad de que cualquier usuario pueda acceder a la obra, bajo los términos que dicha licencia implica.*



*El autor, por medio de este documento, autoriza a la Universidad, publicar su trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Institucional, al cual se podrá acceder, preservar y difundir de forma libre y gratuita, de manera íntegra a todo el documento.*

Según el inciso 12.2, del artículo 12º del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales - RENATI "Las universidades, instituciones y escuelas de educación superior tienen como obligación registrar todos los trabajos de investigación y proyectos, incluyendo los metadatos en sus repositorios institucionales precisando si son de acceso abierto o restringido, los cuales serán posteriormente recolectados por el Recolector Digital RENATI, a través del Repositorio ALICIA".

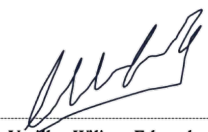
## 14. Para ser verificado por la Dirección del Repositorio Institucional

Seleccione la  
Fecha de Acto de sustentación:

Huaraz,

Firma:



  
Varillas William Eduardo  
Asistente en Informática y Sistemas  
- UNASAM -

**\*Acceso abierto:** uso lícito que confiere un titular de derechos de propiedad intelectual a cualquier persona, para que pueda acceder de manera inmediata y gratuita a una obra, datos procesados o estadísticas de monitoreo, sin necesidad de registro, suscripción, ni pago, estando autorizada a leerla, descargarla, reproducirla, distribuirla, imprimirla, buscarla y enlazar textos completos (Reglamento de la Ley No 30035).

**\*\* Acceso restringido:** el documento no se visualizará en el Repositorio.

**FORMATO DE AUTORIZACIÓN PARA LA PUBLICACIÓN DE TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN, CONDUCENTES A  
OPTAR TÍTULOS PROFESIONALES Y GRADOS ACADÉMICOS EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL**

**1. Datos del autor:**

Apellidos y Nombres: \_\_\_\_\_

Código de alumno: \_\_\_\_\_

Teléfono: \_\_\_\_\_

E-mail: \_\_\_\_\_

D.N.I. n°: \_\_\_\_\_

*(En caso haya más autores, llenar un formulario por autor)*

**2. Tipo de trabajo de investigación:**

Tesis

Trabajo de Suficiencia Profesional

Trabajo Académico

Trabajo de Investigación

Tesinas (presentadas antes de la publicación de la Nueva Ley Universitaria 30220 – 2014)

**3. Para optar el Título Profesional de:**

\_\_\_\_\_

**4. Título del trabajo de investigación:**

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**5. Facultad de:** \_\_\_\_\_

**6. Escuela o Carrera:** \_\_\_\_\_

**7. Línea de Investigación(\*):** \_\_\_\_\_

**8. Sub-línea de Investigación(\*):** \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

*(\*) Según resolución de aprobación del proyecto de tesis*

**9. Asesor:**

Apellidos y nombres \_\_\_\_\_ D.N.I n°: \_\_\_\_\_

E-mail: \_\_\_\_\_ ID ORCID: 0000-0002-9829-4478

**10. Referencia bibliográfica:** \_\_\_\_\_

**11. Tipo de acceso al Documento:**

Acceso público\* al contenido completo.

Acceso restringido\*\* al contenido completo

*Si el autor eligió el tipo de acceso abierto o público, otorga a la Universidad Santiago Antúnez de Mayolo una licencia no exclusiva, para que se pueda hacer arreglos de forma en la obra y difundirlo en el Repositorio Institucional, respetando siempre los Derechos de Autor y Propiedad Intelectual de acuerdo y en el Marco de la Ley 822.*

En caso de que el autor elija la segunda opción, es necesario y obligatorio que indique el sustento correspondiente:

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_





## 12. Originalidad del archivo digital

*Por el presente dejo constancia que el archivo digital que entrego a la Universidad, como parte del proceso conducente a obtener el título profesional o grado académico, es la versión final del trabajo de investigación sustentado y aprobado por el Jurado.*



Firma del autor

## 13. Otorgamiento de una licencia **CREATIVE COMMONS**

*Para las investigaciones que son de acceso abierto se les otorgó una licencia Creative Commons, con la finalidad de que cualquier usuario pueda acceder a la obra, bajo los términos que dicha licencia implica.*



*El autor, por medio de este documento, autoriza a la Universidad, publicar su trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Institucional, al cual se podrá acceder, preservar y difundir de forma libre y gratuita, de manera íntegra a todo el documento.*

Según el inciso 12.2, del artículo 12º del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales - RENATI "Las universidades, instituciones y escuelas de educación superior tienen como obligación registrar todos los trabajos de investigación y proyectos, incluyendo los metadatos en sus repositorios institucionales precisando si son de acceso abierto o restringido, los cuales serán posteriormente recolectados por el Recolector Digital RENATI, a través del Repositorio ALICIA".

## 14. Para ser verificado por la Dirección del Repositorio Institucional

Seleccione la  
Fecha de Acto de sustentación:

Huaraz,

Firma:



Varillas Wiliam Eduardo

Asistente en Informática y Sistemas

**- UNASAM -**

**\*Acceso abierto:** uso lícito que confiere un titular de derechos de propiedad intelectual a cualquier persona, para que pueda acceder de manera inmediata y gratuita a una obra, datos procesados o estadísticas de monitoreo, sin necesidad de registro, suscripción, ni pago, estando autorizada a leerla, descargarla, reproducirla, distribuirla, imprimirla, buscarla y enlazar textos completos (Reglamento de la Ley No 30035).

**\*\* Acceso restringido:** el documento no se visualizará en el Repositorio.





"Año del Bicentenario del Perú: 200 años de independencia"

### ACTA DE SUSTENTACIÓN Y DEFENSA DE TESIS

Los Miembros del Jurado en pleno que suscriben, reunidos en la fecha, en el Auditorio Virtual - Plataforma Microsoft Teams de la FCAM-UNASAM, de conformidad a la normatividad vigente conducen el **Acto Académico de Sustentación y Defensa virtual** de la Tesis "**EVALUACIÓN DE LA COMUNIDAD LIQUÉNICA EPÍFITA EN TRES BOSQUES DOMINADOS POR ÁRBOLES DEL GÉNERO POLYLEPIS, EN EL PARQUE NACIONAL HUASCARÁN, HUARAZ – ANCASH, PERIODO 2019-2020**" que presenta **MILUSKA PAMELA ALEJO MOSQUERA** para optar el **Título Profesional de Ingeniera Ambiental**.

En seguida, después de haber atendido la exposición oral y escuchada las respuestas a las preguntas y observaciones formuladas, lo declaramos:

APROBADO CON DISTINCIÓN

Con el calificativo de: DIECISIETE ( 17 )

En consecuencia, **MILUSKA PAMELA ALEJO MOSQUERA** queda expedita para que el Consejo de Facultad de la Facultad de Ciencias del Ambiente de la Universidad Nacional "Santiago Antúnez de Mayolo" apruebe el otorgamiento de su **Título Profesional de Ingeniera Ambiental** de conformidad al Art. 113 numeral 113.9 del Reglamento General de la UNASAM (Resolución de Consejo Universitario N° 399-2015-UNASAM), el Art. 48° y 4ta. disposición complementaria del Reglamento General de Grados y Títulos de la UNASAM (Resolución de Consejo Universitario - Rector N° 761-2017-UNASAM y Resolución de Consejo Universitario - Rector N° 211-2020-UNASAM que incorpora la sustentación virtual), el Art. 160° del Reglamento de Gestión de la Programación, Ejecución y Control de las Actividades Académicas (Resolución de Consejo Universitario - Rector N° 232-2017-UNASAM) y el Instructivo para sustentación virtual de tesis (Resolución de Consejo de Facultad N° 051-2020-UNASAM- FCAM del 24/octubre/2020).

Huaraz, 24 de junio de 2021

  
Dr. **HERACLIO FERNANDO CASTILLO PICON**  
Presidente  
Jurado de sustentación

  
Blga. **ROSARIO ADRIANA POLO SALAZAR**  
Primer miembro  
Jurado de sustentación

  
Ing. **RICARDO RAY VILLANUEVA RAMIREZ**  
Segundo miembro  
Jurado de sustentación

  
Dr. **PRUDENCIO CELSO HIDALGO CAMARENA**  
Asesor de tesista

  
Dra. **BEATRIZ FUENTEALBA DURAND**  
Asesora Externa de tesista



## DEDICATORIA

A mis padres Manuel y  
Paulina, por su lucha,  
trabajo constante y amor  
infinito. A mi hermana,  
Yesenia, por su  
incondicionalidad y  
comprensión. Este logro  
es de ustedes.

A la naturaleza que  
siempre fue mi inspiración  
y el lugar donde volví a  
nacer.

A todas las personas que  
me fortalecieron como ser  
humano y profesional.

## AGRADECIMIENTOS

A mi familia. A mi madre, Paulina Mosquera Valverde, y mi padre, Manuel Alejo Olivares. Sin duda, Dios me bendijo con los mejores padres. A ellos, por su incomparable amor, fortaleza y dedicación constante. A mi hermana, Yesenia, por su incondicionalidad y paciencia. A José Maguiña, por su apoyo y comprensión. A Joaquín M. A., por ser mi rayito de alegría y motivación. A ellos, mi completa gratitud, por impulsarme y acompañarme en cada nueva etapa y reto en mi vida. A Jesús y los Ramos Aranda, quienes —como una segunda familia— me brindaron sus consejos, compañía y motivación en lograr este fruto.

Al Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (Inaigem), que, mediante el concurso de tesis de pregrado, el cual obtuve, celebrado mediante el convenio de asistencia y subsidio de tesis de investigación científica y académica, financió este trabajo de investigación bajo la supervisión de la Dirección de Investigación en Ecosistemas de Montaña (DIEM). Instituto al cual agradezco por brindar indistintas oportunidades a favor de la producción del conocimiento científico y del patrocinio a jóvenes valores en el camino de nuestra superación profesional.

A los trabajadores del Parque Nacional Huascarán, del Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado (Sernanp), por brindar la autorización de ingreso a esta área natural protegida para realizar la investigación. Y a la Asociación de Guías de Montaña del Perú, por poner a nuestra disposición las instalaciones del refugio Llaca (Centro turístico de montaña).

A todo el equipo de la Dirección de Investigación en Ecosistemas de Montaña (DIEM), parte del Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (Inaigem), por su apoyo, capacitación, consejos y compañía incondicional.

A la doctora Beatriz Fuentealba Durand, la mejor asesora que la vida puso en mi camino. Mi completa gratitud por su apoyo incondicional, paciencia, preocupación y guía durante cada paso de este proyecto. Por brindarme su tiempo y amistad, además de sus valiosos conocimientos para alcanzar un producto eficaz.

A mis compañeros tesis y practicantes, Teresa Oropeza, Liliana Blas, Anthony Fow, Frank Santiago, Melissa Aranda, Cristian Quispe y Khatia Ramos,

cuya amistad, apoyo e intercambio de experiencias y conocimientos me fortalecieron e hicieron que el recorrido de este camino sea mucho más grato.

Al doctor Celso Hidalgo Camarena, por su apoyo, predisposición, interés y motivación en mi superación profesional como alumna que valora sus grandiosas enseñanzas, así como a todos mis valiosos docentes durante mi paso por la Facultad de Ciencias del Ambiente de la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo (Unasam). De igual modo, a mis incondicionales compañeros de carrera, en especial al equipo Aqora.

A la doctora Ana Paola Martinez y al especialista Daniel Ramos Aranibar, por su predisposición, buen ánimo, orientación e indicaciones en el desarrollo de este trabajo.

Al ingeniero Helder Mallqui Meza, por su asistencia en campo, instrucción y sugerencias en el monitoreo y uso de programas para el procesamiento de data incorporada en este trabajo. Y a la especialista Sandra Arroyo, por sus enseñanzas y por acompañarme, durante la pandemia de Covid, en el retorno a campo.

Al ingeniero Jaime Rosales Pereda, por sus consejos de padre, confianza en mi trabajo e impulso para que una curiosa idea busque su camino.

Finalmente, a Dios y al destino, por coincidirlos en mi vida, así como a los grandiosos laboratorios naturales que poseemos, porque me inspiraron y fortalecieron durante todo este trayecto.



## RESUMEN

Los bosques de *Polylepis* son reconocidos por albergar una gran diversidad de especies. Sin embargo, es poco lo que se conoce sobre la comunidad de líquenes que aquí habitan. Por ello, este estudio buscó reconocer la diversidad de líquenes epífitos y los principales factores que permiten su establecimiento.

Para ello, se eligieron tres bosques dominados por queñuales y se establecieron dos parcelas en cada uno. Una parcela cercana al borde (a menos de 10 metros del borde) y otra al interior (a menos de 25 metros del borde). En cada parcela se tomaron muestras de 10 x 10 centímetros en 15 árboles a 1,5 metros de altura del tronco. Así, en el presente estudio, se evaluó la riqueza y composición de la comunidad líquénica epífita presente en tres sitios de estudio. Cada uno de ellos es un bosque dominado por árboles del género *Polylepis* y con diferencias en su historia de uso (en relación con el tamaño de los parches, su naturaleza y factores de intervención y/o perturbación) localizado en el Parque Nacional Huascarán.

Los principales resultados de este trabajo muestran que el estudio en total registra 46 morfoespecies, de las cuales la familia más representativa, dentro de las 16 determinadas, fue *Parmeliaceae*. Además, una morfoespecie del género *Usnea* fue la más común, pues se presentó en la mayoría de forófitos. Y en los tres sitios se encontraron todas las formas de crecimiento reportadas para los líquenes epífitos: gelatinosa, fruticosa, dimórfica, escuamulosa, foliosa y crustosa.

Particularmente, el bosque Llaca 1 es el bosque mejor conservado, así lo demuestra la extensión y uso reciente del bosque, pero también el hecho de que ofrece un alto número de formas de crecimiento sensibles y especies exclusivas con alta sensibilidad a la perturbación. El bosque Llaca 2 es más pequeño. Presenta el mismo número de especies que Llaca 1 (22 especies), pero una mayor proporción de formas de crecimiento resistentes a la perturbación. En tanto, la plantación antigua de Quillcayhuanca ofrece la mayor riqueza (32 especies), lo que puede ser explicado por la presencia de *Eucalyptus* como forófito acompañante, la cual presenta mayor DAP y pH (neutro) en comparación con el resto de forófitos. Esta especie, *Eucalyptus*, se presenta solo en Quillcayhuanca, donde fue plantada, pues, en bosques naturales, *Polylepis* presenta como especie acompañante a los árboles del género *Gynoxys*. Por otro lado, aunque se tomaron variables

microclimáticas, no hay evidencias que esto favoreciera a la riqueza de líquenes epífitos. Finalmente, el muestreo de líquenes es altamente representativo, ya que representa más del 90% de las especies de cada sitio.

**Palabras claves:** líquen epífito, bosque de *Polylepis*, plantación antigua de *Polylepis*, forófito, riqueza de especies, formas de crecimiento, sensibilidad a la perturbación, conservación.



## ABSTRACT

*Polylepis* forests are recognized by housing a great diversity of species, however, it's little that is known about the lichen community that here inhabit. That is why this study sought to recognize the diversity of epiphytic lichens and the main factors that allow its establishment. To achieve this, three forests dominated by «queñuales» were selected and two plots were established in each, a plot close to the edge (less than 10m from the edge) and another inside (at least 25 m from the edge). In each plot, 10 x10cm samples were taken in 15 trees at 1.5 m of trunk height. So, in the present study, the richness and composition of the epiphytic lichen community present in three study sites was evaluated. Each study site is a forest dominated by trees of the genus *Polylepis* and with differences in its history of use (in relation to the size of the patches, its nature and intervention and/or disturbance factors) located in the Huascarán National Park.

The main results of this work show that the study in total registers 46 morphospecies of which the most representative family, within 16 determined, was Parmeliaceae. In addition, the morphospecies of the genus *Usnea* was the most common, since it was present in most phorophytes. And in the three sites all the growth forms reported for epiphytic lichens were found: gelatinous, fruticose, dimorphic, squamulose, foliose and crustose. In particular, the Llaca 1 forest is the most conserved forest; this is demonstrated by the extension and recent use of the forest, but also by the fact that it presents a high number of sensitive growth forms and exclusive species with high sensitivity to disturbance. Llaca 2 forest is a smaller forest that presents the same number of species as Llaca 1 (22 species), but a higher proportion of growth forms resistant to disturbance. While the ancient Quillcayhuanca plantation presents the highest richness (32 species), which can be explained by the presence of *Eucalyptus* as an accompanying phorophyte, which presents higher DAP and pH (neutral) compared to the rest of phorophytes. This species, *Eucalyptus*, is present only in Quillcayhuanca, where it was planted, since in natural forests, *Polylepis* presents as an accompanying species the trees of the genus *Gynoxys*. On the other hand, although microclimatic variables were taken, no evidence was found that this favored the richness of epiphytic lichens. Finally, the

sampling of lichens is highly representative since it represents more than 90% of the species of each site.

**Keywords:** Epiphytic lichen, *Polylepis* forest, ancient *Polylepis* plantation, phorophyte, species richness, growth forms, sensitivity to disturbance, conservation.

## ÍNDICE

FORMATO DE AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN	i
ACTA DE SUSTENTACIÓN	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTOS	vii
RESUMEN	ix
<i>ABSTRACT</i>	xi
INDICE	xiii
LISTA DE TABLAS	xvii
LISTA DE FIGURAS	xviii
LISTA DE SIGLAS Y ACRÓNIMOS	xx
 <b>CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN</b>	 <b>1</b>
1.1. Planteamiento del problema	2
1.2. Formulación del problema	3
1.3. Hipótesis	4
1.4. Objetivos	4
1.4.1. Objetivo general	4
1.4.2. Objetivos específicos	4
 <b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO</b>	 <b>6</b>
2.1. Antecedentes	6
2.1.1. Antecedentes internacionales	6
2.1.2. Antecedentes nacionales	10
2.2. Bases teóricas	11
2.2.1. Distribución de los bosques de <i>Polylepis</i>	11
2.2.2. Importancia de los bosques de <i>Polylepis</i> como refugios de biodiversidad	12
2.2.3. Líquenes y su importancia	14
2.2.4. Líquenes epífitos como bioindicador	15
2.2.5. Formas de crecimiento de los líquenes	16
2.2.6. Principales amenazas o causas de degradación de los bosques de <i>Polylepis</i>	17
	xiii

2.2.7. Experiencias y objetivos de reforestación con <i>Polylepis</i>	19
2.2.8. Efecto de la reforestación con <i>Polylepis</i> sobre la recuperación de bosques	20
2.2.9. Factores que influyen en el crecimiento de líquenes	21
2.3. Marco legal	24
2.3.1. Constitución Política del Perú	24
2.3.2. Ley de áreas naturales protegidas (Ley 26834)	25
2.3.3. Plan Maestro del Parque Nacional Huascarán 2017-2021	25
2.3.4. Ley Forestal y de Fauna Silvestre (Ley 29763)	25
2.4. Definición de términos	26
2.4.1. Biodiversidad	26
2.4.2. Condición ecológica	26
2.4.3. Especie exótica	27
2.4.4. Deforestación	27
2.4.5. Degradación	27
2.4.6. Forestación	27
2.4.7. Formas de crecimiento	27
2.4.8. Forófito	27
2.4.9. Liquen crustoso	28
2.4.10. Liquen dimórfico	28
2.4.11. Liquen epífito	28
2.4.12. Liquen escuamuloso	28
2.4.13. Liquen folioso	28
2.4.14. Liquen fruticoso	28
2.4.15. Liquen gelatinoso	28
2.4.16. Microclima	28
2.4.17. Plantaciones forestales	29
2.4.18. Reforestación	29
<b>CAPÍTULO III: METODOLOGÍA</b>	<b>30</b>
3.1. Tipo de investigación	30
3.2. Diseño de investigación	30
3.3. Población	30

3.4. Muestra	31
3.4.1. Tipo de muestreo	31
3.5. Delimitación	31
3.5.1. Coordenadas UTM referenciales de ubicación de los sitios de estudio	33
3.6. Materiales y equipos	33
3.6.1. Materiales	33
3.6.2. Equipos	33
3.7. Procedimientos y/o actividades	34
3.7.1. Etapa de precampo	34
3.7.2. Etapa de campo	35
3.7.3. Etapa de laboratorio	40
3.7.4. Etapa de gabinete	41

#### **CAPÍTULO IV: RESULTADOS** **44**

4.1. Caracterización de la comunidad líquénica epífita en bosques dominados por árboles del género <i>Polylepis</i>	44
4.1.1. Evaluación de la completitud del muestreo de las especies líquénicas epífitas en los sitios de estudio	44
4.1.2. Composición de la comunidad líquénica epífita	46
4.1.3. Formas de crecimiento de la comunidad líquénica epífita	49
4.2. Caracterización de los bosques dominados por árboles del género <i>Polylepis</i>	50
4.2.1. Descripción de los sitios de estudio	51
4.2.2. Comparación ambiental en el gradiente interior-borde	56
4.2.3. Caracterización de los forófitos de los sitios de estudio	62
4.3. Relación entre la comunidad líquénica epífita y características de los bosques dominados por árboles del género <i>Polylepis</i>	66
4.3.1. Evaluación de los componentes de la biodiversidad a nivel de bosques	66
4.3.2. Relación entre los forófitos y la riqueza líquénica epífita	69
4.3.3. Evaluación del comportamiento de las variables de microclima en relación con la riqueza líquénica epífita	73

#### **CAPÍTULO V: DISCUSIÓN DE RESULTADOS** **76**

5.1. Comunidad liquénica epífita presente en bosques	76
5.2. Sensibilidad de las formas de crecimiento de los líquenes	77
5.3. Factores que afectan la riqueza de líquenes epífitos	79
5.4. Comunidad liquénica epífita de bosques dominados por árboles del género <i>Polylepis</i>	80
<b>CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>83</b>
6.1. Conclusiones	83
6.2. Recomendaciones	84
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>85</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>92</b>
1. Mapa de ubicación de parcelas de estudio en bosque de <i>Polylepis</i> Llaca 1	92
2. Mapa de ubicación de parcelas de estudio en bosque de <i>Polylepis</i> Llaca 2	93
3. Mapa de ubicación de parcelas de estudio en plantación antigua de <i>Polylepis</i> Quillcayhuanca	94
4. Registro de morfoespecies	95
5. Muestras de morfoespecies identificadas	98
6. Resumen de datos obtenidos en «EstimateS» para el cálculo de la completitud del muestreo	100
7. datos resultantes de variables a nivel de forófito	101
8. Datos resultantes de variables de microclima (promediado cada 10 minutos)	103
9. Autorización de ingreso para la realización del proyecto de investigación	108

## LISTA DE TABLAS

1. Incendios forestales que afectaron al Parque Nacional Huascarán, periodo 2005-2009	19
2. Coordenadas UTM referenciales de ubicación de los sitios de estudio	33
3. Registro de líquenes epífitos	47
4. Factores característicos de los sitios de estudio	56
5. Análisis de varianza-T° y HR en los sitios de estudio	61
6. Densidad y dominancia relativa de las especies forófitas	63
7. ANOVA para evaluación de los valores de DAP	64
8. ANOVA para evaluación de los valores de pH	66
9. Riqueza de especies en los forófitos	69
10. Riqueza de especies en las parcelas interior y borde	73



## LISTA DE FIGURAS

1. Mapa de ubicación de los sitios de estudio	32
2. Colecta y conservación de líquenes epífitos	36
3. Marcaje y enumeración de forófitos	38
4. Ubicación de la grilla en los forófitos	39
5. Colecta de líquenes epífitos	40
6. Curva de acumulación de especies para las 30 unidades de muestreo en Llaca 1	45
7. Curva de acumulación de especies para las 30 unidades de muestreo en Llaca 2	45
8. Curva de acumulación de especies para las 30 unidades de muestreo en Quillcayhuanca	46
9. Familias identificadas en el estudio	49
10. Formas de crecimiento de las especies identificadas en el estudio	50
11. Formas de crecimiento identificadas en los sitios de estudio	50
12. Vista panorámica del bosque Llaca 1	51
13. Vista de deslizamientos rocosos en Llaca 1	52
14. Vista panorámica del bosque Llaca 2	53
15. Vista de la base del bosque Llaca 2	54
16. Vista interior de la plantación antigua Quillcayhuanca	55
17. Temperatura horaria promedio en a) Llaca 1, b) Llaca 2, c) Quillcayhuanca	58
18. Humedad relativa horaria promedio en a) Llaca 1, b) Llaca 2, c) Quillcayhuanca	60
19. Estimación de porcentaje de sombra	62
20. DAP de los forófitos dominantes	63
21. DAP de los forófitos acompañantes	64
22. pH de los forófitos dominantes	65
23. pH de los forófitos acompañantes	65
24. Diversidad alfa de los sitios de estudio	67
25. Diversidad beta para las tres parejas de sitios de estudio formadas	67
26. Diagrama de Venn respecto al número de especies compartidas y exclusivas	68

27. Formas de crecimiento en bosques	69
28. Curva de muestreo de rarefacción y extrapolación a nivel forófito	70
29. Especies exclusivas de los forófitos y sus formas de crecimiento	70
30. Tendencia categórica riqueza liquénica-DAP y pH promedio	72
31. Diversidad alfa en parcelas interior y borde en a) Llaca 1, b) Llaca 2 y c) Quillcayhuanca	74
32. Diversidad beta comparando parcela borde e interior de cada sitio de estudio	75

## LISTA DE SIGLAS Y ACRÓNIMOS

DAP	Diámetro Altura Pecho
HR	Humedad Relativa
IDLE	Índice de Diversidad Liquélica Epifítica
Inaigem	Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña
Minagri	Ministerio de Agricultura y Riego
Minam	Ministerio del Ambiente
PNH	Parque Nacional Huascarán
Sernanp	Servicio Nacional de Áreas Protegidas
UICN	Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza
Unasam	Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo
WWF	Fondo Mundial para la Vida Silvestre

## **CAPÍTULO I**

### **INTRODUCCIÓN**

Los bosques andinos en los que dominan árboles del género *Polylepis*, conocidos comúnmente como bosques de queñual, cumplen un rol muy importante. Brindan diversos servicios ecosistémicos, y son particularmente reconocidos como *hotspots* ('puntos calientes') de biodiversidad. Sin embargo, por su limitada distribución (relicta y fragmentada) y crecimiento lento, son altamente susceptibles a los cambios ambientales. Además, están constantemente sometidos a fuertes presiones antrópicas (tala, quema, intervención del ganado, etcétera).

Por ello, este género (*Polylepis*) ha sido usado en iniciativas de reforestación. Se resalta la selección de especies conocidas y de rápida propagación, no especies nativas de cada zona. En este contexto, es escaso lo que se reporta sobre la capacidad de estas plantaciones forestales para recuperar la biodiversidad en comparación con los bosques naturales.

La mayoría de estudios de biodiversidad se ha concentrado en plantas y aves. Así, los líquenes epífitos no son tomados muy en cuenta, pese a que su potencial se sustenta en los cambios que muestran en su composición y diversidad en dependencia de las alteraciones en la cantidad y calidad de los componentes que forman la estructura del bosque. Además, está la sensibilidad de los líquenes a las características propias de los forófitos. Asimismo, los cambios en el microclima y, en general, el incremento de las perturbaciones antrópicas. Frente a ello, el objetivo de este estudio fue evaluar la comunidad

liquénica epífita de tres bosques dominados por el género *Polylepis* y los factores que condicionan la presencia de los líquenes epífitos. Para la comunidad de líquenes epífitos, consideré que habría diferencias en términos de riqueza y composición, asociadas a las condiciones particulares que alcanza cada bosque. Asumiendo que en sitios con menor intervención la riqueza de la comunidad liquénica será mayor y estará compuesta por especies más sensibles.

Entonces, la investigación contribuirá a incrementar el conocimiento sobre la biodiversidad asociada a los bosques de *Polylepis* («queñuales»), particularmente respecto a la comunidad liquénica epífita que albergan. Caracterizando y diferenciando cada bosque, uno de otro. Así como la caracterización de factores a nivel de forófito y condiciones microclimáticas que para otros estudios han sido considerados determinantes en la existencia de líquenes epífitos. Para el presente caso, pudiesen explicar las diferencias resultantes en riqueza y composición respecto a nuestros sitios de estudio.

### **1.1. Planteamiento del problema**

En el contexto internacional, los bosques han sido parte importante desde el inicio de la discusión global sobre temas ambientales en la Conferencia de Naciones Unidas sobre el Ambiente Humano en Estocolmo en 1972. Menciones específicas a los ecosistemas forestales y su importancia ocurrieron por primera vez en 1980, en la Estrategia Mundial para la Conservación, impulsada por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (Pnuma) y el Fondo Mundial para la Vida Silvestre (WWF) (Minam, 2016). En el Perú, los bosques son el ecosistema de mayor superficie, con 72.083.263 hectáreas, que representan el 56,09% del territorio nacional (Minam, 2015).

Pese a su importancia en los ecosistemas forestales por los beneficios que brindan a la sociedad, su conservación enfrenta dos amenazas principales: la deforestación y la degradación. Por ello, la revaloración de los bosques y su conocimiento como sistema biológico, constituido por organismos, así como el medio físico donde se desarrollan es de suma relevancia tanto por los diversos servicios ecosistémicos que nos brindan como por la necesidad de dirigir esfuerzos hacia su conservación.

En este contexto, de entre los bosques andinos que representan menos del 1% del territorio nacional (Minam, 2019), se tienen a los bosques de *Polylepis*, que cumplen un papel muy importante al brindar diversos servicios ecosistémicos y son particularmente reconocidos como *hotspots* de biodiversidad, valorados como bancos de recursos genéticos, por su alto grado de endemismo (Kessler, 2006). Sin embargo, sumada a su limitada distribución, patrón fragmentado y crecimiento lento, son altamente susceptibles a los cambios ambientales. También se sabe que, desde tiempos precolombinos, han sido hábitats muy intervenidos (Fjeldså y Kessler, 1996). Son constantemente sometidos a fuertes presiones antrópicas (tala, quema, intervención del ganado, etcétera). Por ello, se requiere su conservación.

Por otro lado, en el departamento de Áncash, según el Plan Maestro del Parque Nacional Huascarán (Sernanp, 2011), de 2005 a 2009, se reportaron incendios forestales que afectaron diferentes bosques de *Polylepis*. Hoy hay evidencia de la intervención de ganado y, presumiblemente, tala. Ello reconfirma las presiones a las que siguen expuestas y, por ende, la afección del hábitat de muchos otros organismos que habitan en estos bosques.

Asimismo, en paisajes deforestados y degradados, el género *Polylepis* particularmente ha sido usado en iniciativas de reforestación. En ese contexto, es escaso lo que se reporta sobre la capacidad de estas reforestaciones para renacer los bancos de biodiversidad. Es decir, se desconoce qué tanto la reforestación ha permitido recuperar la biodiversidad del bosque, según las condiciones que ha desarrollado.

## 1.2. Formulación del problema

Frente a lo poco que se conoce sobre la biodiversidad que albergan los bosques naturales de *Polylepis* y las reforestaciones con *Polylepis*, aunada a las fuertes presiones antrópicas y cambios ambientales a las que están constantemente sometidos, son particularmente escasas las investigaciones sobre la comunidad líquénica epífita asociada a los bosques naturales de *Polylepis*. Tampoco sabemos si las reforestaciones con *Polylepis* están recuperando esta comunidad. Asimismo, se sabe que las comunidades líquénicas presentarán características particulares, según la historia de uso que los preside y las condiciones que su medio físico provee.

Hay autores que refieren que la mayoría de estudios ecológicos y de conservación han sido desarrollados con los grupos de organismos más conspicuos, como plantas y aves en el caso de animales (Prevedello y Vieira 2010, Medina et al., 2014). Así, es menor lo que se conoce sobre los líquenes. Incluso, se dice que estos organismos presentan una relación directa que muestran los cambios en su composición y diversidad en dependencia de las alteraciones en la cantidad y calidad de los componentes que forman la estructura del bosque y su sensibilidad a las características de los forófitos, así como su relación con el microclima y, en general, con el incremento de las perturbaciones antrópicas. Por ello, su presencia es de suma importancia. Y, sin embargo, son escasas las investigaciones que vislumbran su existencia en el contexto particular de la biodiversidad de nuestros ecosistemas andinos en propuesta de estudio. Así, se formuló el siguiente problema:

¿La comunidad liquénica epífita existente en los tres bosques dominados por el género *Polylepis* refleja diferencias asociadas a las condiciones particulares que caracterizan estos sitios?

### **1.3. Hipótesis**

Las comunidades de líquenes epífitos de tres bosques dominados por el género *Polylepis* reflejan diferencias, en términos de riqueza y composición, asociadas a las condiciones particulares que alcanza cada bosque. El sitio con menor intervención presentará una mayor riqueza liquénica epífita y la existencia de especies más sensibles.

### **1.4. Objetivos**

#### **1.4.1. Objetivo general**

Evaluar la comunidad liquénica epífita y los factores que condicionan su presencia, en tres bosques andinos dominados por el género *Polylepis*.

#### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Caracterizar la comunidad liquénica epífita en bosques dominados por árboles del género *Polylepis*.
- Caracterizar los bosques dominados por árboles del género *Polylepis* a partir de factores que pueden influir en la comunidad liquénica epífita.



- Relacionar la comunidad liquénica epífita con los factores caracterizados en los tres bosques dominados por árboles del género *Polylepis*.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes

Se han distinguido antecedentes en el Perú y en el extranjero, los cuales han sido útiles para el diseño de la investigación y para el contraste de los resultados de la investigación.

##### 2.1.1. Antecedentes internacionales

Gallo et al. (2015), a través de su estudio realizado en el macizo de Los Gigantes, norte de las Sierras Grandes de Córdoba (Argentina), mencionan que los bosques de *Polylepis australis* han sido muy disturbados y la reforestación es una alternativa para restaurar estos ecosistemas. Así, mediante su investigación evalúan la restauración de la comunidad fúngica en un bosque de *Polylepis australis* reforestado, como una primera aproximación a la utilización de la diversidad fúngica para evaluar el éxito de una reforestación con especies nativas. Para ello, compararon variables fúngicas como riqueza y abundancia de un área nativa, un área degradada y reforestada y un área degradada sin reforestación. Determinaron que, doce años después de que un área degradada fuera reforestada con plantines de *Polylepis australis*, la diversidad fúngica es mayor a la observada en un área degradada de referencia. Sin embargo, está lejos de alcanzar los niveles observados en el bosque maduro (área nativa). Así, la diversidad de hongos se relacionó en buena medida con la complejidad estructural de la vegetación. Señalaron que esta complejidad suele aumentar

con la edad del bosque, por lo que presumen que la diversidad de hongos en el área reforestada seguirá incrementando sus niveles con el transcurrir de los años. Además, la diversidad de los hongos se correlacionó con el fósforo y el pH del suelo. Por último, al considerar las limitaciones de su estudio, postularon que los hongos serían bioindicadores sensibles a la degradación y posterior restauración de los bosques.

Aragón et al. (2008) conciben la importancia de la conservación de los bosques, así como su evaluación y seguimiento respecto a los diferentes hábitats objeto de protección. Por ello, su trabajo buscó valorar la diversidad de líquenes epífitos en bosques de quercíneas mediante un nuevo índice para posteriormente establecer un paralelismo con el estado de conservación. Así, plantean el uso de los líquenes, que son uno de los organismos más adecuados para evaluar el impacto humano sobre los ecosistemas, pues son organismos de probada sensibilidad frente a la contaminación ambiental, uso de suelo, fragmentación o talas y clareos. Ante la existencia de diferentes índices que solo aplican para bosques muy ancianos (más de 150 años), dejando de lado la mayoría de los bosques más jóvenes y manejados, y que consideran a todas las especies por igual, plantea la valoración de la diversidad de líquenes epífitos en bosques de quercíneas mediante un nuevo índice, donde se incluyen los términos de riqueza, diversidad y calidad. Para ello, trabajaron sobre 346 manchas de bosque distribuidas por toda Castilla, La Mancha (España). Seleccionaron variables relacionadas con la orografía y paisaje, con la estructura y manejo del bosque y variables climáticas. Determinaron que la diversidad de líquenes está principalmente relacionada con la intensidad de manejo, cobertura arbórea y edad del bosque. El índice propuesto es denominado «índice de diversidad liquénica epifítica» (IDLE), basado en la sensibilidad que tienen los líquenes hacia la contaminación ambiental, eutrofización, prácticas forestales, presencia en listas rojas o aspectos relacionados con la colonización y sucesión de las comunidades epífitas. Además, los líquenes epífitos son valorados, según fuentes bibliográficas y experiencia adquirida por los autores en sistemas mediterráneos. Resultó un índice que aumentaba su valor en manchas con mayor cobertura arbórea, menor intensidad de la explotación y mayor diámetro de los árboles. También con la inclinación del terreno. Resultó, asimismo, que los mayores valores del IDLE se corresponden con bosques maduros, densos y

no alterados. Así, se obtuvo una medida cuantitativa y cualitativa de la diversidad líquénica de una zona en concreto, sin abordar un estudio exhaustivo de las especies líquénicas.

Ramírez (2009) evalúa la composición y estructura de las comunidades de líquenes presentes en dos bosques con diferentes historias de uso. Utiliza la historia de uso como herramienta de referencia del estado de conservación y fragmentación en las áreas. Los dos bosques se localizan en la Reserva Biológica Encenillo (Colombia). Los resultados corroboran que las comunidades de líquenes muestran diferencias. El bosque perturbado fue el bosque con comunidades de líquenes más uniforme y el más dominante explicado por el fenómeno definido como resiliencia ecológica. El bosque conservado, en cambio, presentó la menor abundancia. Mostró que buenas condiciones ambientales permiten la adaptación de los organismos y, con el tiempo, ciertas especies son dominantes y no permiten la colonización de especies nuevas, lo que propicia la disminución de la diversidad. Además, evidenciaron la relación entre las formas de vida (biotipos) de los líquenes con el gradiente de altitud y la historia de uso, donde las familias *Cladoniaceae* e *Imadophilaceae* estuvieron ausentes en el bosque perturbado. En el bosque conservado, la mayoría de las especies de estas familias fueron biotipos fruticosos y de doble carácter. Se argumentó, además, que autores refieren las formas como estas aumentan en cantidad con altitudes cercanas a los 3.400 metros sobre el nivel del mar. Las familias *Gomphillaceae* y *Graphidaceae* estuvieron presentes en el bosque perturbado y ausentes en el bosque conservado. Esto se asoció a biotipo crustáceo. Se señaló que los líquenes crustáceos tienden a disminuir en lugares con alturas mayores. A su vez, los géneros *Usnea*, *Ramalina* y *Oropogon* estuvieron ausentes en el bosque perturbado y permitieron argumentar de nuevo la presencia de biotipos fruticosos en alturas elevadas como ocurre en el bosque conservado. En cuanto a géneros ausentes o que no se compartieron, el bosque perturbado no presentó doce géneros que sí estaban presentes en el bosque conservado. Es más, el bosque conservado no tuvo nueve géneros del bosque perturbado de los cuales la mayoría de tipo crustáceos. Esto fue relacionado con su historia de uso, pues los crustáceos son los primeros presentes en una sucesión vegetal.

En un estudio en el páramo de La Rusia, departamento de Boyacá, Colombia, Herrera y Montaña (2016) se centraron en la fragmentación y efecto de borde. Concibieron que la fragmentación de los ecosistemas es uno de los fenómenos antrópicos con mayor impacto a nivel mundial y el efecto de borde hace que solo el interior de los fragmentos conserve sus características bióticas y abióticas originales. Y que los líquenes son organismos especialmente susceptibles a la variabilidad ambiental, lo que podría ser útil para el diagnóstico del efecto de borde. Por ello, evaluaron si hay un efecto de borde en la distribución de líquenes asociados a *P. quadrijuga*, y su contenido de clorofila al comparar dos fragmentos de bosque. Para ello, utilizaron tres transectos de 70 metros a través del gradiente interior del borde de la matriz en cada fragmento, tras elegir nueve forófitos (hospedador arbóreo de los líquenes epífitos) por transecto para la medición de variables ambientales (radiación fotosintéticamente activa, humedad relativa y temperatura del aire) y variables biológicas (riqueza y cobertura por especie), además de la cuantificación del contenido de clorofila en los líquenes. Los resultados muestran que el fragmento menos extenso y más irregular presentó una mayor exposición al borde debido a su alta relación perímetro/área, lo que causa una homogenización ambiental y pérdida de biodiversidad en relación con el otro fragmento de características contrastantes a esta. Es decir, la alta homogeneidad ambiental de uno de los fragmentos albergó una riqueza 50% menor al otro fragmento, que —a su vez— presentó un interior con especies únicas muy distinta a cualquier otro lugar. Por otro lado, 55 especies se distribuyeron diferencialmente en relación con los fragmentos y el gradiente matriz-borde-interior. Así, el interior del fragmento más extenso y menos irregular fue la zona más conservada, que albergó una composición diferente en más de 40% a la composición de cualquier otra zona. Asimismo, según las formas de crecimiento (gelatinoso, fruticoso, costroso y folioso), no encontraron relación entre su distribución frente al efecto borde. Es decir, no hubo una relación clara entre las formas de crecimiento y un tipo de preferencia por alguna zona del gradiente en estudio. Además, muestran que la humedad relativa es la principal variable que determina la distribución de las especies, en comparación con la temperatura y la radiación. Y concluyen que algunas especies de líquenes podrían tener un importante potencial como bioindicadores de la fragmentación en ambientes de páramo.

Simijaca et al. (2018) mencionan que los árboles de *Quercus humboldtii* (roble) son un elemento dominante en los bosques altoandinos de Boyacá, Colombia. Sin embargo, registran reemplazo de sus rodales por plantaciones de *Pinus patula* (pino). Este reemplazo afecta las comunidades liquénicas más sensibles. Así, su estudio busca comparar la riqueza y composición de la biota liquénica asociada a *Q. humboldtii* y *P. patula*, para reconocer el impacto del establecimiento de las comunidades liquénicas y determinar si las características propias de los forófitos, como rugosidad, acidez, luminosidad incidente y humedad, varían entre las especies de forófitos y tienen efectos en la riqueza y composición de las comunidades de líquenes. Para ello, examinaron los líquenes en cuatro árboles de cada especie forófito. Cada árbol fue dividido en cinco estratos verticales y se midió la rugosidad, humedad, acidez y luminosidad en cada estrato. Se determinó que la distribución de las comunidades liquénicas se relaciona con las diferencias en los parámetros de rugosidad, luminosidad y pH entre pinos y robles, mientras que la humedad fue el parámetro de menos influencia. Así, los individuos de *Quercus humboldtii* presentaron madera significativamente más ácida que los pinos, y menos riqueza liquénica (108 especies). En los árboles de *Pinus patula* se encontraron 116 especies de líquenes. Las dos especies forófitas compartían solo el 38% de las especies.

### 2.1.2. Antecedentes nacionales

Aucca y Ferro (2014) manifiestan que la mejor muestra de un área protegida que engloba a una buena porción de los bosques remanentes de *Polylepis* en el Perú es el Parque Nacional Huascarán, pues las otras áreas protegidas el género *Polylepis* solo han sido objetos complementarios de conservación. Asimismo, expresan que la mayor concentración de estos parches de *Polylepis* se localiza en las regiones de Áncash y Cusco. Resaltan la importancia de la conservación de estos por dos razones principales. Primera, por la elevada biodiversidad y el alto grado de endemismo presente en ellos. Segunda, por el patrón fragmentado que presentan y las fuertes presiones a las que están constantemente sometidos, sea por tala, fuego, sobrepastoreo o ampliación de la frontera agrícola.

González (2015) determina la influencia de los bosques plantados de *Polylepis spp.* en el proceso de infiltración. Para ello, selecciona como lugar de



trabajo los bosques plantados de 11 y 29 años en la quebrada Quillcayhuanca, donde se evidencia que los suelos con cobertura de bosque plantado presentan una mayor velocidad de infiltración que los suelos sin cobertura forestal. Asimismo, el bosque de 29 años presentó mayor concentración de biomasa seca de hojarasca.

Ames et al. (2019) mencionan que los bosques de *Polylepis* de la región central del Perú presentan más de 130 especies de fauna. De ellas, más del 95% corresponde a aves y al menos el 26% de ellas son de interés para la conservación. En relación con la flora, más de 250 especies diferentes de plantas vasculares (hierbas, arbustos y árboles) están presentes en estos bosques, las cuales cumplen distintas funciones en el bosque y son utilizadas por el hombre. Además, los bosques de *Polylepis* de la región central albergan especies de interés para la conservación, ya sea por su rareza, su categorización en la lista de especies amenazadas de la IUCN o su gran asociación con estos bosques.

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Distribución de los bosques de *Polylepis***

Los bosques de *Polylepis*, conocidos comúnmente como bosques de queñual, se caracterizan por estar dominados por árboles y arbustos del género en mención. Sus troncos y ramas están cubiertos de ritidomas (capa más externa de las plantas leñosas), que actúan como capas que les ayudan a protegerse del frío. Los bosques de queñual enfrentan condiciones ambientales hostiles y actualmente presentan una distribución fragmentada (Fjeldså y Kessler, 1996). Estos bosques se distribuyen a lo largo de los Andes de Sudamérica (Simpson, 1979), desde Venezuela hasta el centro de Argentina (Zutta et al., 2012; Zutta y Rundel, 2017). Aunque la mayoría de las especies de *Polylepis* están restringidas a las partes más altas de los Andes Tropicales, de 3.500 a 4.700 metros sobre el nivel del mar, existen especies que se encuentran a altitudes más bajas, como 900 metros (Renison et al., 2013), y otras a altitudes más elevadas, como 5.000 metros (Cuyckens et al. 2016). Es más, arriba de los 5.200, como el bosque más alto del mundo, ubicado en el Parque Nacional Sajama de Oruro, Bolivia (Gómez et al., 2014).



En Sudamérica, el Perú es reconocido como el país con la mayor cantidad de especies de *Polylepis*, seguido de Bolivia y Ecuador. Así, Mendoza y Cano (2011) reconocieron 19 especies para el Perú, de las cuales cinco eran endémicas. En la actualidad, otros autores reconocen 35 especies de *Polylepis* (Boza et al., 2019), de las cuales 22 se encuentran en el Perú, siete endémicas. Hoy aún se discute el número exacto de especies de este género, por la complejidad en su origen evolutivo y procesos de especiación, por la frecuencia con que se presentan procesos hibridación, poliploidía, y por la diferenciación reciente de las especies (Segovia-Salcedo et al., 2018). Asimismo, Mendoza y Cano (2011) refieren que el género *Polylepis* se encuentra distribuido en 19 de los 24 departamentos del Perú, de los cuales Cusco y Ayacucho presentan la mayor riqueza de especies, con diez y ocho especies, respectivamente, seguidas de Áncash, con seis.

En 1973, el Perú declara a *Polylepis* como un género en peligro de extinción. Tiempo después, el 1 de julio de 1975, se crea el Parque Nacional Huascarán, mediante el Decreto Supremo 0622-75-AG, sobre una extensión de 340.000 hectáreas (Sernanp, 2011), que incluye representantes de este género dentro de los objetos de conservación. Se menciona el caso de los bosques de *Polylepis sericea* y los bosques de altitudes mayores a los 4.000 metros sobre el nivel del mar de *Polylepis weberbaueri*.

### **2.2.2. Importancia de los bosques de *Polylepis* como refugios de biodiversidad**

Los bosques de *Polylepis* brindan diversos servicios ecosistémicos, como regulación del agua, mitigación de las emisiones de dióxido de carbono, mineralización de nutrientes y protección del suelo (Kessler, 2006). Son reconocidos como refugios para la biodiversidad. En especial, se reconocen a los parches de *Polylepis* como *hotspots* de biodiversidad local en los altos Andes (Gonzalez et al., 2018). Son habitados por una variedad de flora, de helechos a hierbas, arbustos, además de líquenes y musgos. Se destaca que muchas de estas especies, incluida la queñua (*Polylepis*), presentan propiedades medicinales (Gómez et al., 2014). Además, es importante mencionar que, en una sierra dominada por vegetación herbácea, tener un microclima que amortigua

valores extremos e incrementa la humedad permite el desarrollo de otro tipo de vida que no existe fuera del bosque.

A ello se añade que son ecosistemas que albergan una biota única y ofrecen hábitat a numerosas especies asociadas directamente a los bosques de *Polylepis*. Respecto a los taxones más estudiados, albergan aves especialistas de hábitat o con altos niveles de endemismo (Sevillano et al., 2018), así como especies raras y en peligro de extinción (Gómez et al., 2014). Y a otros grupos, como mamíferos, insectos y anfibios, sobre los cuales aún el conocimiento es escaso. Por otro lado, se conoce que ciertas especies animales emplean sus recursos como alimento o refugio (Cuyckens y Renison, 2018), como las aves, que beben las fuentes de agua al pie de los bosques (Ames et al., 2019).

Asociado a los bosques de *Polylepis* (*P. pepeí* y *P. sericea*) del parque Madidi, Bolivia, Zenteno et al. (2017) identificaron 69 especies de plantas (arbustos pequeños y plantas herbáceas), además una comunidad de herpetofauna compuesta por 8 especies (Aparicio y Ocampo, 2017), 77 especies de aves, de las cuales 37 utilizan los fragmentos de bosques de *Polylepis* como su principal hábitat (García-Soliz, 2017).

Ames et al. (2019) mencionan que en los bosques de *Polylepis* de la región central del Perú se registraron más de 130 especies de fauna, donde más del 95% corresponde a aves y, al menos, el 26% de ellas son de interés para la conservación. Además, reconoce que, en estos bosques, otros grupos taxonómicos han sido estudiados en menor medida, en comparación con el de las aves, desconociéndose los niveles de diversidad biológica total, como anfibios, reptiles, insectos y mamíferos. Por otro lado, se reconocen más de 250 especies diferentes de plantas vasculares presentes en estos bosques. Asimismo, hay ciertas especies cuya presencia depende del propio árbol *Polylepis*, y la generación de un microclima propio.

Existen especies de hábito epífita y hemiparásitos, como las orquídeas epífitas. Además, se tienen a las plantas no vasculares o briofitas, conformadas por los musgos y las hepáticas, como grupo de difícil estudio por las características propias que presentan, por lo cual su información no está completa. A la vez, las briofitas permiten ser base para otras especies, como las comunidades líquénicas terrícolas y epífitas, sobre las cuales desempeñan el papel de cohesionantes o de soporte mecánico. Además, evitan la rápida

evaporación de la humedad del sustrato, preparando un ambiente más adecuado para las especies líquénicas (Barreno y Pérez, 2003). Finalmente, están los hongos, los cuales cumplen un rol importante en los bosques de *Polylepis*, pues algunos, en simbiosis con otros organismos como cianobacterias o algas verdes, forman los líquenes.

### 2.2.3. Líquenes y su importancia

Los líquenes, también conocidos como hongos liquenizados, son una asociación simbiótica entre al menos un micobionte (hongo heterótrofo) y un fotobionte (socio fotosintético). Por ello, tienen reproducción asexual y sexual. La primera se produce por medio de la fragmentación de pequeñas partículas del talo que actúan como diásporas llamadas soredios e isidios. Y la segunda está a cargo del hongo, que desarrolla esporas, en forma de apotecio o peritecio (Lavornia, 2014).

Su importancia, respecto a interacciones ecológicas, radica en que son un albergue exitoso para gusanos, insectos, arácnidos, ácaros y moluscos (Barreno y Pérez, 2003). Algunas sirven de alimento para estos, así como para mamíferos. Asimismo, son reconocidos como excelentes *hotspots* para diferentes familias de bacterias. También como pioneros en la colonización de sustratos y, por ende, formadores de suelo.

Los líquenes son organismos sésiles. Por ello, tienden a mantener poblaciones continuas en el mismo lugar durante muchos años, siempre que su hábitat sea adecuado. Por ejemplo, son usados para conocer la antigüedad de la cara expuesta de las rocas al ambiente mediante técnicas liquenométricas (Barreno y Pérez, 2003). Barreno y Perez (2003), también mencionan que estos organismos son importantes, y se han hecho más reconocidos por su potencial como bioindicadores de la calidad del aire. Ello debido a sus características ligadas con la sesilidad, longevidad y amplia distribución. Además, son organismos que no se nutren del suelo porque no tienen raíces. Se nutren directamente de los elementos del aire, no tienen cutícula ni mecanismos de excreción.

Por otro lado, se pueden diferenciar los líquenes según los sustratos sobre los cuales estos se fijan y habitan. Por ejemplo, los líquenes corticícolas o epífitos, los cuales crecen en las cortezas de árboles y arbustos. Los líquenes

situados en las zonas medias de los troncos reflejan con bastante fiabilidad las condiciones medias del aire circundante en una estación determinada. Por ello, la altura de muestreo usual de líquenes epífitos es de 1 a 2 metros de altura, pues entre los primeros 50 centímetros desde la base del tronco se encontraría la comunidad del suelo.

Los líquenes epífitos son considerados los más sensibles a la contaminación, por depender casi exclusivamente de las condiciones aéreas para vivir (Cabrera y Giacobone, 2008). En general, la comunidad de líquenes epífitos es considerado importante por contribuir a la biomasa, diversidad de especies, ciclo de agua y ciclo de nutrientes (Holz y Gradstein, 2005).

#### **2.2.4. Líquenes epífitos como bioindicador**

La comunidad líquénica epífita en un bosque proporciona intrínsecamente una gran cantidad de información sobre la salud, la función y las condiciones climáticas locales del bosque. Al respecto, existen estudios que han utilizado la riqueza y diversidad de especies para comprender el impacto de la perturbación forestal en las comunidades, pero a veces estos datos no son suficientes para comprender completamente los procesos ecológicos que dan forma a estas comunidades (Gradstein y Sporn, 2010). Por ello, consideran una aproximación alternativa para comprender los mecanismos de reunión de la comunidad. Por lo tanto, cómo responderán las comunidades a los cambios ambientales rápidos (por ejemplo, la perturbación del bosque) es considerar los rasgos funcionales, ya que están directamente relacionados con factores bióticos y abióticos (Carreño-Rocabado et al., 2016).

Ante la consideración de que los rasgos de los líquenes están relacionados con los cambios estructurales de los bosques producidos por la perturbación, se atribuye el hecho de que son principalmente controlados por la cubierta del dosel y el diámetro del árbol (Benitez et al., 2018). Consecuentemente, la estructura de la masa forestal es un factor a tener en cuenta sobre los distintos tipos de microambientes que se pueden crear y que son inmediatamente detectados por los líquenes. En un bosque natural bien estructurado, la temperatura y las cantidades de luz o de agua son muy distintas para los árboles periféricos que para los del interior, independientemente del clima general (Barreno y Pérez, 2003).

Así, en el contexto de los bosques tropicales de montaña, los bosques primarios conservados se caracterizan por la presencia de un dosel cerrado, ambientes protegidos y húmedos, y partes internas de los bosques que permanecen inalterados. Estos bosques presentan usualmente líquenes con formas de crecimiento característicos que responden a factores relacionados con su intolerancia a la luz excesiva y necesidad de agua líquida para activar la fotosíntesis (Benítez et al., 2018).

#### **2.2.5. Formas de crecimiento de los líquenes**

Las formas de crecimiento son llamadas también formas biológicas o biotipos. Son las adaptaciones al hábitat que ocupan y se reconocen según las características del talo, el cual es el cuerpo del liquen formado por el micobionte y fotobionte. Estas formas de crecimiento se relacionan con la fisiología (Barreno y Pérez, 2003). Por ello, su diferenciación de una forma de crecimiento a otra se realiza básicamente según el aspecto que presenta la morfología del talo. Por ello, se clasifican en base a su aspecto externo y estructuras de fijación al sustrato. Precisamente, respecto a la clasificación más generalizada, se presentan los líquenes crustáceos, foliosos, fruticulosos y gelatinosos (San y Marín, 2003). También se pueden encontrar talos compuestos por los anteriores como los dimórficos y escumulosos (Barreno y Pérez, 2003). Se mencionan como generalizadas, pues no se toman en cuenta estructuras más complejas que distinguen biotipos más específicos. Por ejemplo, dentro de los foliosos, se pueden distinguir los foliosos lobulados y los umbilicados.

Los líquenes dependen firmemente de las condiciones ambientales y son muy sensibles a las perturbaciones antropogénicas, lo que significa que son excelentes indicadores de los cambios ambientales.

Además, tienen algunos rasgos fácilmente detectables, como la forma de crecimiento relacionados con el funcionamiento del ecosistema y cuya diversidad depende de factores ambientales. La morfología del talo está optimizada para la absorción y pérdida de agua. Por ello, las condiciones ambientales de una ubicación específica afectarán la presencia de diferentes tipos morfológicos (Aragón et al., 2019).

Autores como Marcano (1994) denominaban como escala de sensibilidad a la secuencia de líquenes gelatinosos, fruticosos, foliosos y crustosos, que son



los más resistentes a los cambios ambientales. Al respecto, Aragón et al. (2019) mencionan que los líquenes gelatinosos tienen mayores requerimientos de humedad, por lo cual es necesario una mayor humedad en los bosques para que se beneficie su colonización. Las fruticosas están bien adaptadas para mejorar la absorción de la humedad del aire y dependen de la precipitación o la recolección de la niebla en las montañas altas. Además, a mayor superficie expuesta, mayor será la absorción de agua y compuestos aéreos. Por lo tanto, las formas fruticosas se verán afectadas en primer lugar por tener una mayor absorción de contaminantes, por el talo con crecimiento casi perpendicular a la superficie del tronco (Cabrera y Giacobone, 2008). Los foliosos están adaptados para vivir en bosques abiertos bajo condiciones ambientales de alta radiación y estrés hídrico. Los líquenes crustosos son más resistentes a los contaminantes, al no presentar un córtex inferior y estar adheridas al sustrato presentan una menor área expuesta a la absorción de contaminantes (Vargas, 2012).

En relación con esta escala de sensibilidad, Benítez et al. (2018) trabajaron con formas de crecimiento aún más complejas. Encontraron relación con el nivel de intervención de bosques, donde el uso de formas de crecimiento como las liquénicas gelatinosas y escuamulosas (más sensibles a la perturbación) ha sido propuesto para utilizarlo en la inferencia de la diversidad y riqueza total de especies. Y como una alternativa factible para evaluar y monitorear los cambios ambientales.

#### **2.2.6. Principales amenazas o causas de degradación de los bosques de *Polylepis***

Históricamente, los bosques de *Polylepis* han sido un hábitat muy intervenido y fragmentado como consecuencia de procesos naturales (Toivonen et al., 2018; Valencia et al., 2018) o por las actividades humanas (Fjeldså y Kessler, 1996). Inclusive, actualmente la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN, 2018) califica a los bosques de *Polylepis* como uno de los ecosistemas más amenazados del mundo, que ubica en la lista roja 15 de las 35 especies reconocidas. En el Perú, dos de sus especies están en peligro crítico; cuatro, en peligro; seis son vulnerables y una está casi amenazada (Decreto Supremo 043-2006-Minagri).

Estos bosques enfrentan una presión negativa. Entre sus principales amenazas está la expansión de la frontera agrícola, la tala, el reemplazo o la invasión por especies exóticas, el cambio climático, la minería, la expansión de carreteras y las malas prácticas ganaderas (quema para estimular el rebrote de los pastos, ramoneo y pisoteo por el ganado) (Cuyckens y Renison, 2018). Estos impactos no solo afectan los árboles y arbustos que dominan los bosques de *Polylepis*, pues numerosas especies en estos bosques se categorizan como vulnerables o en peligro de extinción (Renison et al., 2018).

En la tala, la extracción intensa conlleva a la reducción de la densidad del bosque, a la disminución del número de árboles semilleros y a la reducción de la capacidad de regeneración bosque. Daña los suelos que quedan expuestos al viento y lluvias. Afecta también a todas las especies que crecen asociadas a estos árboles (Gómez et al., 2014). Los incendios son otras amenazas, pues se pierde toda la biodiversidad asociada a estos bosques. En Áncash, según el Plan Maestro del Parque Nacional Huascarán (Sernanp, 2011), de 2005 a 2009 se reportaron incendios forestales que afectaron diferentes bosques de *Polylepis*, como se detalla en la Tabla 1. El fuego daña el bosque, erosiona el suelo, produce la pérdida de nutrientes y, por ende, del hábitat de plantas y animales. Se considera que el incremento de la temperatura ambiente y cambios en los patrones de precipitación a causa del cambio climático causan la muerte de plantas y animales, además de la migración de las especies a otras zonas (Gómez et al., 2014).



**Tabla 1. Incendios forestales que afectaron al Parque Nacional Huascarán, periodo 2005-2009.**

Año	Subcuencas	Quebradas	Origen			Superficie incendiada (HA.)			Vegetación afectada
			Mes	ZA	PNH	Total	PNH	ZA	
2005	Yanayacu, Jacabamba-Huaritambo, Pachacoto, Huachecsa, Yuma, Wecroncocha, Mullaca, Buin, Ranrahirca, Carhuanga, Juitush.	12	abril-setiembre	12	9	2916	1074	1842	Cobertura vegetal, formaciones de pastizales, <b>matorral y bosques de Polylepis</b> , rodales de Puya raimondii. Vegetación de paredones.
2006	Yanayacu, Casca, Quillcay, Ranrahirca-Llanganuco, Huaripampa, Huachecsa.	7	mayo-setiembre	5	2	745	120	625	Fomaciones de pastos nativos, matorrales, canllares, paredones con plantas litofíticas y <b>parches de Polylepis</b> .
2007	Huachecsa, Yanayacu, Casca, Río Negro, Buin, Mancos.	6	junio-agosto	3	2	86	36	50	Fomaciones de pastizales matorrales, vegetación de paredones.
2008	Casca, Llanganuco, Mancos, Quillcay, Pachacoto, Cutacancha, Río Negro, Rangracancha, Pucavado, Yanayacu.	14	junio-diciembre	0	14	281	281	-	Cobertura de pastos nativos, matorral y <b>parches de Polylepis</b> .
2009	Jacabamba, Llanganuco, Yanayacu, Río Negro.	4	-	2	2	165	103	62	Cobertura de pastizales, matorral y arbustiva.

Fuente: Sernanp, 2011.

### 2.2.7. Experiencias y objetivos de reforestación con *Polylepis*

Fuentealba y Sevillano (2016) reportan experiencias de rehabilitación comunitaria con queñual (*Polylepis sp.*) en Áncash que se remontan a 1978, con iniciativa del guardaparque Pompeyo Guillén, que promovió la plantación de esquejes de *Polylepis incana* con apoyo de las comunidades que viven en el Parque Nacional Huascarán y, en especial, con apoyo del área forestal del Gobierno Peruano. Sin embargo, hay pocos reportes y registros sobre el resultado de estas experiencias. Asimismo, se identifican casos exitosos como la reforestación cerca de la laguna de Llanganuco y en Quillcayhuanca, los

cuales —se dice— son usados como banco de esquejes y donde hay casos de fracaso por la desprotección del área ante amenazas como el ganado y la quema. Asimismo, reportan, que el Instituto de Montaña, en 2004, inició el proyecto «Corredor de conservación de *Polylepis* en el sur de Conchucos», para conservar y restaurar los bosques de *Polylepis*, con un trabajo con la población, en que las comunidades se comprometían a propagar, reforestar y conservar áreas de queñuales.

En este marco, los programas de reforestación sembraron árboles, para recuperar la cobertura forestal más que restaurar las condiciones y/o funciones del ecosistema. Así, en paisajes evidentemente deforestados, el género *Polylepis* es una alternativa que con el tiempo ha ido tomando impulso. Sin embargo, en diversos casos han usado especies con facilidades de propagación y siembra, al priorizar la obtención de cobertura forestal, sin tener en cuenta el uso de especies localmente nativas. Por ejemplo, en Ecuador, diversos programas de reforestación introdujeron especies exóticas como *Polylepis racemosa*, que —por desconocimiento— muchas personas consideran nativa (Segovia-Salcedo, 2011).

Ante el uso de especies de *Polylepis* no nativas para la reforestación en diferentes regiones de los Andes, Zutta et al. (2012) recomiendan especies de las poblaciones locales para evitar la hibridación y la pérdida de diversidad genética.

#### **2.2.8. Efecto de la reforestación con *Polylepis* sobre la recuperación de bosques**

Muchas iniciativas de reforestación se han desarrollado de manera empírica, sin un enfoque científico. Han llegado solo hasta el establecimiento inicial, sin monitoreos de estos establecimientos ni evaluación del nivel de recuperación real de la biodiversidad (Fuentealba y Sevillano, 2016). Respecto a la restauración de bosques andinos, López (2017) afirma que, si bien se han realizado ensayos, no existe la práctica permanente de documentación y divulgación de las acciones o resultados a mediano o largo plazo. Por ello, no se puede calcular qué y cuánto hasta ahora se ha restaurado del ecosistema.

Estudios que enlistaremos a continuación (según el alcance de lo revisado) realizados en áreas reforestadas con *Polylepis* muestran lo poco que

se reporta o estudia sobre el hecho particular de si estas reforestaciones con *Polylepis* ayudan a la recuperación de las condiciones para que se establezcan diversas comunidades de especies. Abarcan entonces otras temáticas:

#### **A. Casos de Ecuador**

- «Determinación de biomasa y contenido de carbono en plantaciones forestales de *Polylepis incana* y *Polylepis reticulata*» (Calderón y Lozada, 2010).
- «Establecimiento y evaluación de parcelas permanentes en plantaciones protectivas de yagual (*Polylepis racemosa*) en la zona de Angochagua» (Cruz, 2015).
- «Determinación de la capacidad de intercepción del agua de niebla, y la cantidad aportada al suelo, por plantaciones forestales de *Polylepis racemosa* Ruiz y Pavón, en la comuna Zuleta, provincia de Imbabura» (Reyes, 2019).

#### **B. Casos del Perú**

- «Caracterización de la infiltración en bosques plantados con *Polylepis spp.*, de 11 y 29 años, Parque Nacional Huascarán, quebrada Quillcayhuanca, Huaraz, Áncash» (González, 2015).
- «Captura de CO<sub>2</sub> en plantaciones forestales de *Polylepis sp.*, *Cupressus spp.* y *Eucalyptus globulus*, para mitigar el cambio climático en el centro de producción San Juan de Potojani, Puno» (Mollocondo y Aguilar, 2019).

Uno de los trabajos presentados por Gallo et al. (2015) evalúan la restauración de la diversidad fúngica 12 años después de que un área degradada fue reforestada con *Polylepis australis*. Se determinó que esta diversidad fúngica fue menor que la de un bosque maduro, pero mayor a la observada en un área degradada de referencia. Y estuvo en buena medida relacionada con la complejidad estructural. Predijo que la diversidad de hongos seguirá incrementando sus niveles con el transcurrir de los años de la reforestación.

#### **2.2.9. Factores que influyen en el crecimiento de líquenes**

Barreno y Pérez (2003) mencionan que la naturaleza del complejo líquénico de metabolismo y crecimiento lento condiciona que para cada simbionte los factores ecológicos, principalmente clima y sustrato, ejerzan una gran influencia. Esta influencia se durante la vida del liquen y, especialmente, a

la hora del reconocimiento y la compatibilidad entre los componentes de la simbiosis. Así, se puedan asociar físicamente y desencadenar el proceso de formación de los talos.

### **A. Estructura del bosque**

Ante escenarios de deforestación y conversión de bosques, los cambios en la estructura del bosque pueden provocar la desaparición de numerosos organismos (Kessler et al., 2005). Por ejemplo, modificar la composición líquénica del bosque. Entre estos, principalmente la comunidad de líquenes epífitos que crecen sobre árboles y arbustos (Holz y Gradstein, 2005). Así, estos líquenes epífitos son conocidos porque la composición varía en función del grado de explotación o de continuidad inalterada a través del tiempo, dinamismo interno y características de la masa forestal donde se encuentran. Debido a que estos aspectos determinarán los factores ecológicos primarios, como la luz (condicionada por las formas de las copas), la temperatura, la disponibilidad de agua, la deposición atmosférica, etcétera. Y, por ende, asisten a seleccionar de forma importante la combinación de tipos de especies que forman parte de las comunidades líquénicas (Barreno y Pérez, 2003).

Al respecto, Aragón et al. (2010) refieren también que se ha constatado que la capacidad reproductiva y desarrollo de los líquenes dependerá de las condiciones ambientales. Estos son organismos sensibles a alteraciones ambientales, a la fragmentación de los bosques y al manejo forestal. Debido a que estas alteraciones producen una reducción en la disponibilidad del sustrato, es decir, en la corteza del árbol, lo que vale mencionar, en el caso especial de los bosques de *Polylepis*, es aún más significativo por las características propias de su corteza externa y ritidoma.

### **B. Microclima**

Los líquenes son indicadores sensibles de las condiciones climáticas, porque su fisiología poiquilohídrica (ausencia de mecanismos para regular el contenido hídrico) depende directamente de la disponibilidad de agua (humedad relativa), la temperatura ambiente y la luz recibida (Kranner et al., 2008; Benítez, 2016). Por ello, estos organismos se relacionan con cambios ambientales, como el uso de la tierra (Pinho et al., 2012), la perturbación forestal (Nöske et al., 2008),

la salud, la conservación y el manejo forestal (Aragón et al., 2010; Campos et al., 2014), la fragmentación (Belinchón et al., 2007), la sucesión de bosques (Koch et al., 2013), la contaminación del aire, la deposición de nitrógeno y el cambio climático. Estas alteraciones producen cambios en las condiciones microclimáticas del ecosistema (Hedenås y Ericson, 2000), lo que produce variaciones en la composición y diversidad liquénica (Johansson, 2008).

En los ecosistemas forestales, y su perturbación, se dice que la colonización de líquenes estará influenciada por los cambios en las estructuras de dosel y, por ende, la luz entrante. En ecosistemas con presencia de árboles dominantes y no dominantes, se determinará por el dosel conformante ante la asociación de estos diferentes forófitos (Li et al., 2013).

### **C. Sustrato**

Los líquenes pueden crecer sobre diferentes tipos de sustratos como roca, suelo, etcétera. Particularizando, en el caso de los líquenes epífitos, el principal sustrato son la corteza y ramas de los cuerpos arbóreos. Los líquenes epífitos son muy dependientes del sustrato sobre el que se asientan. Su ciclo de vida está ligado a los árboles, en el espacio y en el tiempo. En el espacio, pues no todos los árboles son apropiados para la colonización. En el tiempo, pues el crecimiento del árbol implica un incremento de la rugosidad y formación de grietas en la corteza que favorecen la colonización y desarrollo (Snäll et al., 2005).

Barreno y Pérez (2003) refieren que el sustrato en el que se establecen los líquenes puede influir por medio de sus características físicas y/o químicas. Al respecto, la composición química de los sustratos es un factor relevante. Como el pH, pues, en función de la acidez o alcalinidad, el material del sustrato ionizará distintamente e influirá sobre los talos liquénicos. Es decir, según el pH que tenga el sustrato, se desarrollarán diferentes especies y, por tanto, diferentes comunidades.

El color de los sustratos determina también la composición de especies que conforman una comunidad liquénica (Barreno y Pérez, 2003). Los sustratos oscuros se calientan mucho más que los claros, inciden sobre la temperatura y la retención de agua de los talos. A la par, la textura de estos sustratos es un factor limitante para la instalación de los líquenes, pues, según si las cortezas

son, por ejemplo, finas, suaves, duras, lisas, agrietadas, exfoliables, porosas, entre otras, permitirán un más fácil establecimiento o retención de agua, uno más que otra. Un sustrato exfoliable presentará menor estabilidad y, como los líquenes son de crecimiento lento, no siempre será fácil para ellos establecerse. Esto generará una selección mayor de las especies que pueden llegar a habitar el sustrato.

Entonces, en ecosistemas forestales, se dice que los líquenes epífitos están influenciados por varios factores a diferentes escalas espaciales. A escala local, se tiene la importancia de las especies de forófitos para los líquenes (Mežaka et al., 2012). Ello porque no proporcionan el mismo nivel de sustrato adecuados para el crecimiento de líquenes (Ellis, 2012), pues son importantes las características de la corteza referido a los atributos antes mencionados, química, color y textura. Así como la capacidad de retención de agua y estabilidad (Rosabal et al., 2013).

Así, en un ecosistema, la importancia de las asociaciones con diferentes especies de árboles radica en que puede mejorar la diversidad de líquenes epífitos al proporcionar diversos tipos de sustrato de corteza, y, en particular, hábitats adecuados e indispensables para ciertas especies de epífitas (Li et al., 2013) mediante las características propias de estas. Entonces, se comprende el papel de los árboles no dominantes, que generalmente son ignorados en el manejo y la conservación de los bosques, como un sustrato acompañante de los árboles dominantes de un bosque (Young et al., 1992).

## **2.3. Marco legal**

### **2.3.1. Constitución Política del Perú**

En relación con la línea de investigación abarcada y/o la temática abarcada, el segundo capítulo de la Constitución Política del Perú (Congreso Constituyente Democrático, 1993), denominado «Del ambiente y los recursos naturales», en concordancia con la Ley General del Ambiente (Ley 28611), menciona, mediante el artículo 66; que los recursos naturales, renovables y no renovables, son patrimonio de la Nación y que el Estado es soberano en su aprovechamiento. El artículo 67 expresa que el Estado determina la política nacional del ambiente y promueve el uso sostenible de sus recursos naturales.



En cambio, el artículo 68 refiere que el Estado está obligado a promover la conservación de la diversidad biológica y de áreas naturales protegidas.

### **2.3.2. Ley de áreas naturales protegidas (Ley 26834)**

Respecto a esta ley (Congreso de la República, 1997), fundamentalmente se resalta el artículo 21, cuyo inciso «a» menciona que los parques nacionales son áreas de uso indirecto en las cuales se permite la investigación científica no manipulativa, la recreación y el turismo, en zonas apropiadamente designadas y manejadas para ello. Por su lado, el artículo 22 refiere literalmente que una de las categorías del sistema nacional de áreas naturales protegidas son los parques nacionales, los cuales son áreas que constituyen muestras representativas de la diversidad natural del país y de sus grandes unidades ecológicas. En ellos se protege con carácter intangible la integridad ecológica de uno o más ecosistemas, las asociaciones de la flora y fauna silvestre y los procesos sucesionales y evolutivos, así como otras características, paisajísticas y culturales que resulten asociadas.

### **2.3.3. Plan Maestro del Parque Nacional Huascarán 2017-2021**

Este documento (Sernanp-Parque Nacional Huascarán, 2017), como parte de las estrategias y compromisos para implementar el plan maestro, señala que los ecosistemas son importantes para el mantenimiento de la biodiversidad y provisión de servicios ecosistémicos. Menciona los bosques altoandinos, conformados por formaciones de bosques densos del género *Polylepis*, y otras formaciones de bosques mixtos de los géneros *Polylepis*, *Gynoxys*, *Alnus* y *Buddleja*. Señala, entre sus líneas de acción, los siguientes objetivos:

- Mantener la cobertura y el estado de conservación de los ecosistemas del Parque Nacional Huascarán,
- Promover investigaciones en el Parque Nacional Huascarán.

### **2.3.4. Ley Forestal y de Fauna Silvestre (Ley 29763)**

Esta norma (Congreso de la República, 2011), artículo 5, refiere que los bosques naturales y las plantaciones forestales son recursos forestales cualquiera sea su ubicación en el territorio nacional.



Mediante el artículo 11, conceptualiza a las plantaciones forestales como ecosistemas forestales constituidos a partir de la intervención humana mediante la instalación de una o más especies forestales, nativas o introducidas, para producción de madera o productos forestales diferentes a la madera, de protección, de restauración ecológica, de recreación, de provisión de servicios ambientales o cualquier combinación de los anteriores. Asimismo, en el artículo 27, sobre las categorías de zonificación forestal, refiere literalmente a las zonas de protección y conservación ecológica como ecosistemas frágiles que, por su baja resiliencia o capacidad de retorno a sus condiciones originales, resultan inestables ante eventos de naturaleza antropogénica. Así, constituyen áreas prioritarias para la conservación de la biodiversidad en las que se restringen o limitan los usos extractivos.

Se recalca que, cuando en esta categoría de zonificación forestal haya áreas naturales protegidas, la gestión del patrimonio forestal y de fauna silvestre de la Nación se rige por la Ley 26834, Ley de Áreas Naturales Protegidas, y su reglamento; los decretos legislativos 1013 (Decreto Legislativo que Aprueba la Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente), 1039 (Decreto Legislativo que Modifica Disposiciones del Decreto Legislativo 1013) y 1079 (Decreto Legislativo que Establece Medidas que Garanticen el Patrimonio de las Áreas Naturales Protegidas, y sus reglamentos y normas complementarias).

## **2.4. Definición de términos**

### **2.4.1. Biodiversidad**

Componente de suma importancia que regula la resistencia de los ecosistemas, su equilibrio dinámico y la productividad (Ramírez, 2009).

### **2.4.2. Condición ecológica**

La condición ecológica de un sitio se puede evaluar mediante la medición de factores físicos, químicos, biológicos y su comparación con los mismos factores de un sitio de referencia o sitio de condiciones óptimas. La diferencia entre los valores de estos factores refleja el grado de intervención humana o de perturbación. A mayor diferencia respecto a la estación de referencia, mayor grado de perturbación (Correa, 2005).

### **2.4.3. Especie exótica**

Especie introducida en un ecosistema específico por acción humana o en circunstancias naturales poco usuales. Puede generar graves problemas ecológicos y convertirse en invasora (Segovia-Salcedo, 2011).

### **2.4.4. Deforestación**

Pérdida total de la cobertura forestal a través de la tala y quema de la vegetación, el cambio de uso del suelo hacia otras actividades (agricultura, ganadería o industrias extractivas) o la instalación de infraestructura (Minam, 2016).

### **2.4.5. Degradación**

Deterioro o disminución de la calidad de los mismos. Por ello, los bosques pierden su capacidad de brindar todos sus servicios ecosistémicos por la extracción de árboles u otros elementos, sin un adecuado manejo y recuperación. Y biológicamente implica una reducción de poblaciones o incluso la ausencia de especies antes presentes (Minam, 2016).

### **2.4.6. Forestación**

Es la plantación de árboles y bosques, como recursos naturales renovables y prestadores de servicios ambientales. Aquí se refiere a plantar e introducir árboles de especies exóticas (Segovia-Salcedo, 2011).

### **2.4.7. Formas de crecimiento**

También llamadas biotipo o formas biológicas, representan adaptaciones al medio que ocupan. Son puntos en una escala continua de diferenciación, desde primitivos hasta altamente estructurados, con una particular combinación de las distintas capas y con un diferente desarrollo de sus estructuras vegetativas (Barreno y Pérez, 2005).

### **2.4.8. Forófito**

Huésped de tipo arbóreo sobre el que se desarrollan los líquenes epífitos (Mamani, 2012).

#### **2.4.9. Liquen crustoso**

Talo con aspecto de costra pulverulenta, verrugosa, areolada o granulosa; íntimamente adherido al sustrato y carente de corteza inferior y de rizinas (Moreno et al., 2007).

#### **2.4.10. Liquen dimórfico**

Presenta dos formas diferentes. Son talos compuestos de partes diferentes, una fruticosa y otra crustosa o escuamulosa (Moreno et al., 2007).

#### **2.4.11. Liquen epífito**

Liquen que utilizan como sustrato la corteza y las ramas de las plantas leñosas (árboles y arbustos) (Barreno y Pérez, 2005).

#### **2.4.12. Liquen escuamuloso**

Están formados por fragmentos independientes (escuámulas) cuyo margen no está unido al sustrato (Amo de Paz y Burgaz, 2009).

#### **2.4.13. Liquen folioso**

Liquen cuyo talo se compone de láminas, semejantes a hojas, lobuladas o no, y que se extienden paralelamente al sustrato (Moreno et al., 2007).

#### **2.4.14. Liquen fruticoso**

Talo con forma de pequeño arbusto. La mayoría se sujeta al sustrato a través de discos de fijación (Moreno et al., 2007).

#### **2.4.15. Liquen gelatinoso**

Liquen que presenta un alga cianofícea caracterizada por hincharse cuando entra en contacto con el agua, dando al talo del liquen un aspecto de gelatina (Moreno et al., 2007).

#### **2.4.16. Microclima**

Define el conjunto de condiciones climáticas propias de un punto geográfico o área reducida. Representa una modificación local del clima general

de la región debido a la influencia de distintos factores ecológicos (Barnes et al., 1998).

#### **2.4.17. Plantaciones forestales**

Ecosistemas forestales constituidos a partir de la intervención humana mediante la instalación de una o más especies forestales, nativas o introducidas, para producción de madera o productos forestales diferentes a la madera, protección, restauración ecológica, recreación, provisión de servicios ambientales o cualquier combinación de los anteriores (Congreso de la República, 2011).

#### **2.4.18. Reforestación**

Es el repoblamiento de zonas que estuvieron cubiertas por bosques, transformadas por la explotación maderera, la ampliación de la frontera agrícola, el crecimiento rural y urbano, o los incendios (Segovia-Salcedo, 2011).

## **CAPÍTULO III METODOLOGÍA**

### **3.1. Tipo de investigación**

El tipo de investigación es descriptiva, pues las variables se caracterizaron tal y como se presentan en un ambiente natural, aunque valiéndose de elementos cuantitativos y cualitativos.

### **3.2. Diseño de investigación**

El diseño es no experimental, pues no se manipularon determinadamente las variables que se buscaron interpretar. Es decir, se observaron los fenómenos de nuestro interés en su ambiente natural, para su posterior descripción y análisis, sin necesidad de emularlos en un contorno controlado.

Específicamente, es un diseño no experimental de diseño transversal, pues se recopilaban datos en un momento único. Es decir, no se realizaron muestreos a lo largo del tiempo.

### **3.3. Población**

La población estuvo formada por bosques dominados por árboles del género *Polylepis* y áreas reforestadas con *Polylepis*, en el Parque Nacional Huascarán, provincia de Huaraz, Áncash, Perú.

### 3.4. Muestra

La muestra estuvo determinada por tres sitios de estudios que pasaremos a generalizar como «bosques dominados por el género *Polylepis*», los cuales fueron seleccionados por sus reconocidas diferencias en su historia de uso, así como su accesibilidad. Hubo entonces:

- Un bosque natural reconocido por ser aparentemente más «conservado» (sin intervención humana reciente).
- Un bosque alterado observado usualmente sujeto a una intervención reciente.
- Un bosque cuyo origen es una plantación antigua.

#### 3.4.1. Tipo de muestreo

El tipo de muestreo fue no probabilístico intencional.

### 3.5. Delimitación

Los sitios de estudio se localizaron en las quebradas Llaca y Quillcayhuanca, en el Parque Nacional Huascarán (zona núcleo). El primero en mención pertenece al distrito de Independencia y el segundo, al distrito de Huaraz. Ambos son de la provincia de Huaraz, departamento de Áncash. El trabajo en estos espacios comprendió 12 meses, de agosto de 2019 a agosto de 2020.



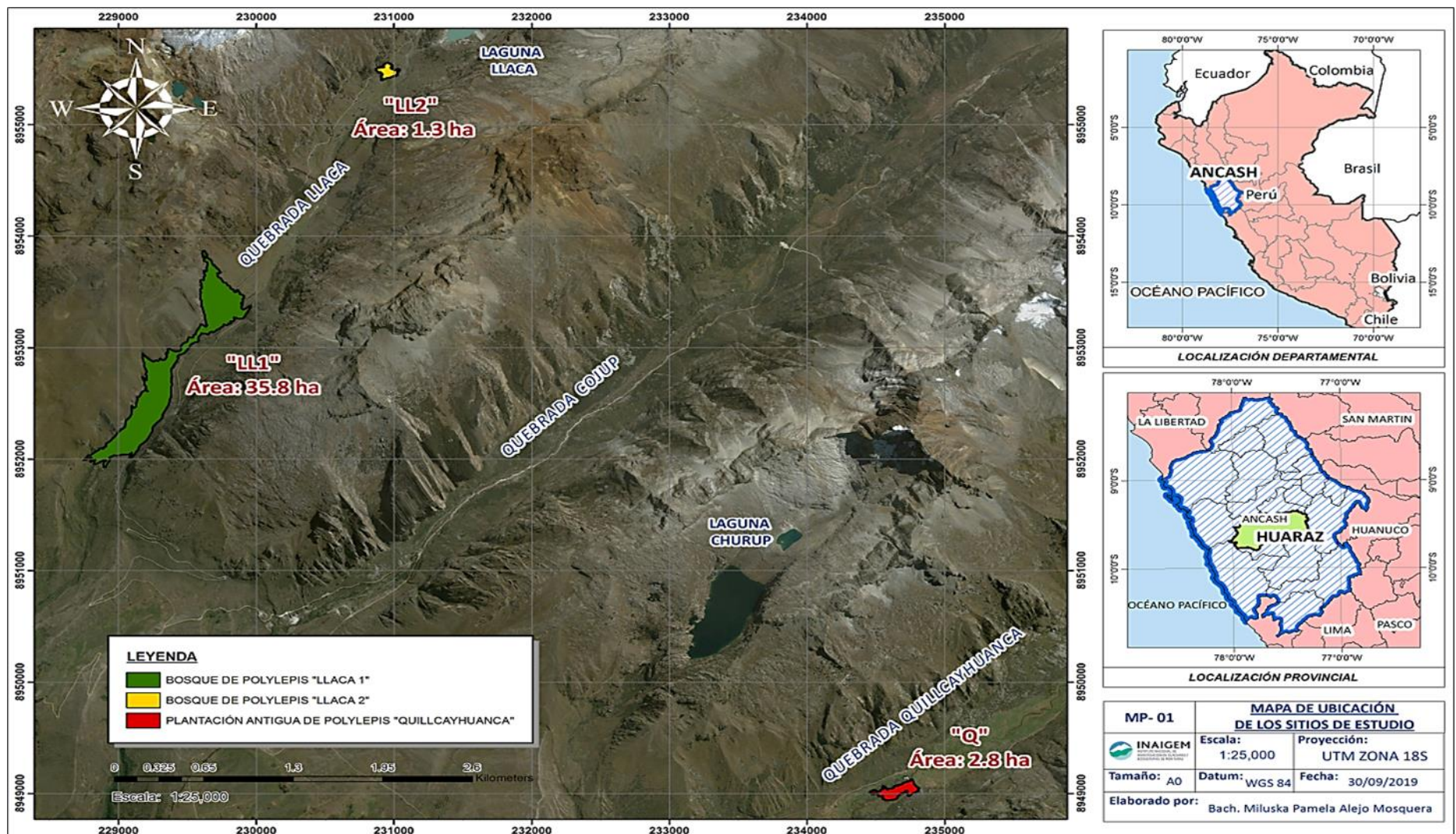


Figura 1. Mapa de ubicación de los sitios de estudio.



### 3.5.1. Coordenadas UTM referenciales de ubicación de los sitios de estudio

Los sitios de estudio presentados en la Tabla 2, referidos a nuestros tres bosques, muestran las siguientes coordenadas referenciales para su ubicación:

**Tabla 2. Coordenadas UTM referenciales de ubicación de los sitios de estudio.**

	Bosque natural de <i>Polylepis</i> (Llaca 1)	Bosque natural de <i>Polylepis</i> (Llaca 2)	Plantación antigua de <i>Polylepis</i> (Quillcayhuanca)
<b>Quebrada</b>	Llaca	Llaca	Quillcayhuanca
<b>Distrito</b>	Independencia	Independencia	Huaraz
<b>Provincia</b>	Huaraz	Huaraz	Huaraz
<b>Coordenada este</b>	229397	230924	234576
<b>Coordenada norte</b>	8952917	8955428	8949003
<b>Altitud</b>	4126	4360	3827
<b>Área (ha)</b>	35.8	1.3	2.8

Fuente: Elaboración propia.

### 3.6. Materiales y equipos

#### 3.6.1. Materiales

##### A. Materiales de oficina y gabinete

- Computadora
- Hojas *bond*
- Útiles de escritorio

##### B. Materiales de campo

- Cinta *flagging*
- Bolsas de papel
- Bolsas herméticas
- Espátula
- Cinta diamétrica
- Estacas
- Lápices
- Lámpara

- Libreta de campo
- Lupa de mano
- Marcador indeleble
- Cinta métrica

### **C. Materiales de laboratorio**

- Aceite de inmersión
- Agua destilada
- Hoja de afeitar
- Hidróxido de potasio (5%)
- Hipoclorito de sodio
- Laminillas
- Papel tisú
- Guías de identificación

### **3.6.2. Equipos**

#### **A. Equipos de campo**

- Brújula
- GPS
- Clinómetro
- Cámara fotográfica
- Equipo Kestrel

#### **B. Equipos de laboratorio**

- Estereoscopio
- Microscopio

### **3.7. Procedimientos y/o actividades**

#### **3.7.1. Etapa de precampo**

Esta primera etapa consistió en recopilar y revisar data para la investigación. En fuentes primarias, se revisó revistas científicas, investigaciones, informes técnicos, documentos de gestión, etcétera. Como fuentes secundarias, artículos que interpreten otras investigaciones. Todo relacionado con la presente tesis.

Asimismo, se coordinó con los actores correspondientes, respecto al ámbito social de inserción de los sitios definidos. Y esencialmente la adquisición de materiales y equipos útiles para las siguientes etapas.

### **3.7.2. Etapa de campo**

A partir de la revisión teórica, se determinaron las características a evaluar en cada bosque. Por ello, la metodología abarcó las siguientes actividades:

#### **A. Para el reconocimiento, selección y caracterización de sitios**

Esta actividad permitió el reconocimiento de posibles puntos de evaluación, para definirlos según los objetivos de estudio. Se consideró el factor accesibilidad, para así —según la realidad de campo— ajustar el diseño.

Definido el trabajo en bosques con diferente historia de uso con diversas condiciones para el establecimiento de la comunidad liquénica, se identificaron tres sitios de estudio en el Parque Nacional Huascarán, todos pertenecientes a la zona núcleo y ubicados en las quebradas Llaca y Quillcayhuanca, sobre los 3.800 metros sobre el nivel del mar: bosque de *Polylepis* Llaca 1, bosque de *Polylepis* Llaca 2 y plantación antigua de *Polylepis* Quillcayhuanca.

Para su caracterización, se describió la historia de uso de los bosques reportada por los actores correspondientes y mediante la observación *in situ* de la situación actual (ocurrencias, intervenciones, etcétera).

#### **B. Para la evaluación de la variabilidad ambiental en los sitios de estudio**

##### **• Establecimiento de parcelas**

Aquí se determinó un gradiente interior-borde y también al exterior, para el contraste. Para estandarizar este gradiente en nuestros bosques, para cada uno se establecieron dos parcelas de muestreo, denominadas «parcela borde e interior», en correspondencia a su área, respectivamente.

En campo, la parcela borde se ubicó teniendo en cuenta que debía posicionarse lo más cerca al límite del bosque, máximo alejado a 10 metros del límite, y la parcela interior; mínimo a 25 metros del límite del bosque, y ambas parcelas entre ellas alejadas al menos 20 metros. Con estos criterios, las parcelas de 20 x 25 metros se delimitaron con estacas.

### • Medición de variables ambientales

Para la caracterización ambiental del gradiente borde-interior, en cada bosque se tomaron medidas de la temperatura y humedad relativa (en términos de microclima) con sensores meteorológicos Kestrel 5500. Estas mediciones se registraron durante un mes para cada bosque. También se midieron estas variables en el exterior de cada bosque.

Debido a que esta caracterización perteneció al análisis en el gradiente expuesto, se instalaron tres sensores simultáneamente para las parcelas de cada bosque. Así, dos sensores fueron instalados en el bosque en las denominadas parcelas borde e interior, y un sensor fue instalado al menos a 10 metros del borde del bosque. Cada uno a 1,25 metros del nivel del suelo, la cual es una altura promedio entre el metro (1,00 m) y metro y medio (1,50 m), sobre el cual fueron muestreados los líquenes epífitos.



Figura 2. Colecta y conservación de líquenes epífitos.

Relativo a cada sitio, se rotaron los sensores de bosque a bosque después de cada mes. Así, primero de diciembre de 2019 a enero de 2020, se colocó en el bosque de *Polylepis* Llaca 2. Luego, de enero a febrero, para el bosque de *Polylepis* Llaca 1.

Para la plantación antigua de *Polylepis* en Quillcayhuanca, la instalación de los sensores no se realizó para el periodo previsto (marzo-abril), porque el 16 de marzo de 2020 se implementaron medidas sanitarias por la Covid en el marco del estado de emergencia nacional, declarado mediante Decreto Supremo 044-2020-PCM. Por ello, se retrasó su instalación y se retomó esta actividad (con el permiso correspondiente) de julio a agosto. Es importante recalcar que, a

diferencia de los otros sitios de estudio, se monitoreó en una época relativamente seca.

- **Estimación del porcentaje de sombra**

Para la estimación del porcentaje de sombra, de igual manera, se trabajó en el nivel de parcela borde e interior. Así, en campo, se definió una diagonal con 11 puntos, separados 3 metros para realizar tomas fotográficas en cada punto hacia el dosel posicionando la cámara fotográfica equilibrada precisamente.

Luego, para evitar errores de cálculo en las estimaciones ante observaciones sucesivas realizadas por el mismo observador (error personal), se utilizó el «Habitapp», que es una aplicación (App) que calcula el porcentaje de sombra con el uso de fotografías digitales.

### **C. Para la caracterización de los forófitos de estudio**

- **Selección de los forófitos**

Debido a que el estudio implicaba el trabajo con la comunidad de epífitos inmersos en un ecosistema bosque donde se presenta un género dominante de árboles, así como árboles acompañantes (subdominantes), se incorporaron estos últimos, pues podría proporcionar a las epífitas un hábitat diferente (en términos de micrositio).

Entonces, los forófitos seleccionados correspondieron a árboles dominantes del género *Polylepis*, árboles acompañantes de los géneros *Gynoxys* (en bosques naturales) y *Eucalyptus* (en plantación antigua). Así, tomando como guía las parcelas descritas, se seleccionaron al menos diez árboles de *Polylepis* en cada parcela (borde e interior) y se incluyeron los árboles acompañantes, teniendo un total de 15 árboles por parcela. Es decir, 30 árboles de muestreo por bosque.

Estos árboles, además, debieron cumplir un criterio referido a un diámetro del tronco igual o mayor a 15 centímetros, pues este rango nos permite garantizar uniformidad en los forófitos muestreados en los tres bosques. Por otro lado, este diámetro mínimo estimado nos aseguró que el árbol permaneció suficiente tiempo en su entorno actual desde que fue establecido (aún más



importante en el caso de plantaciones). Por ende, los organismos epífitos tuvieron el tiempo suficiente para su establecimiento.

Así, los forófitos elegidos fueron marcados con cintas de agua y enumerados, para su identificación y evitar repeticiones en el consecuente muestreo.



Figura 3. Marcaje y enumeración de forófitos.

- **Medición del DAP de los forófitos**

El diámetro de los troncos se midió a la altura del pecho (DAP) para cada árbol. Para los árboles de *Polylepis*, se consideraron las características particulares de este.

- **Determinación del pH de la corteza del tronco**

Para determinar el pH de las cortezas del tronco de los forófitos, se utilizó el método de Kricke (2002). Para ello, se recolectaron tres gramos de corteza, referida a la corteza más externa, donde se desarrollan los líquenes. Luego se dejaron en remojo en 30 ml de agua destilada durante 8 horas a 20 °C. Por último, se determinaron los valores de pH con un electrodo de pH estándar.

#### **D. Para caracterizar la comunidad líquénica epífita en los sitios de estudio**

- **Espacio de muestreo de la comunidad líquénica epífita**

Cabe recalcar que el espacio de muestreo de la comunidad líquénica epífita se realizó en los forófitos y parcelas seleccionados para la caracterización de los sitios de estudio. El muestreo en las parcelas seleccionadas estratégicamente, según los objetivos de la investigación, en cuanto a muestrear

la riqueza líquénica epífita, aportaba en evadir esfuerzos de muestreo excesivos. Por ello, se consideró la condición de sensibilidad de los líquenes epífitos. Así, se muestreó en la parcela interior del bosque, para que nuestra muestra incluyese líquenes característicos del bosque, y en la parcela de borde del bosque, para incluir a los líquenes epífitos de zonas más expuestas a la perturbación y, por ende, más resistentes.

- **Selección de la muestra**

Se colocó sobre el tronco (de preferencia el tronco más vertical) una grilla de 10 × 10 centímetros, a un nivel entre 1,0 a 1,5 metros de altura de la base del tronco, pues a esta altura se encontraban propiamente los líquenes epífitos (no líquenes que son favorecidos por otras condiciones como las del suelo). Dentro de esa altura, en la cara del tronco y espacio donde se mostró la mayor riqueza, es decir, la mayor variación en las formas de los líquenes epífitos (morfoespecies). En casos donde se encontró homogeneidad en la variación de las formas de los líquenes epífitos, se colocó la grilla. Así, se presenció mayor cobertura. El registro de las especies que cubrían el cuadrante se apoyó en la toma de fotografías *in situ* con la ayuda de una cámara de alta calidad, para el posterior apoyo en la corroboración de especies colectadas dentro de la grilla de muestreo.



Figura 4. Ubicación de la grilla en los forófitos.

- **Colecta de líquenes epífitos**

Se hizo la recolección de todo lo que abarcó la grilla de 10 × 10 centímetros, usado en la ubicación de la muestra, incluidas otras epífitas (no líquenes). Entonces, la colecta se apoyó en el uso de una espátula. Para



trasladar y conservar el material, se utilizaron bolsas de papel, útiles para evitar la acumulación de humedad.

Respecto a las consideraciones en la época de colecta, se refirió que para el caso de líquenes no se necesitó de un muestreo en época de lluvia y estiaje como se realiza para la vegetación, pues la perennidad de los líquenes, sumada a la humedad que conservan los bosques de *Polylepis*, hace suficiente una colecta.



Figura 5. Colecta de líquenes epífitos.

### 3.7.3. Etapa de laboratorio

#### A. Preservación del material

Colectados los líquenes, estos se extendieron y se dejaron secar por exposición al ambiente durante unos días, protegidos de la luz directa, y se limpiaron de organismos asociados. Siempre debidamente codificados, manteniendo fundamentalmente el nombre del sitio, de la parcela y del forófito.

#### B. Reporte de morfoespecies

El objetivo del trabajo ligado a la riqueza líquénica epífita se dirigió a trabajar en la observación y reporte de las diferentes morfoespecies, distinguidas en base a su apariencia morfológica. Importante para describir la presencia de variaciones intraespecíficas, por ejemplo, entre organismos del mismo género. Ello fue un punto clave por los objetivos de nuestro estudio, ante la complejidad conocida de la identificación de este tipo de biodiversidad, y la escasez de antecedentes en nuestro contexto de estudio.

### **C. Identificación taxonómica tradicional de los líquenes epífitos**

Se hicieron los esfuerzos necesarios para identificar la especie encontrada en los sitios de estudio. Para ello, este trabajo consistió de dos fases:

- **Nivel taxonómico «Familia» y «Género»**

Esta fase se basó en el trabajo con los caracteres visibles, que permitieron cierto nivel de avance en identificación ya desde campo, que posteriormente se reforzó en laboratorio, mediante el uso de claves especializadas.

- **Nivel taxonómico «Especie»**

Esta consecuente fase de determinación a nivel taxonómico de especies presentó un grado mayor de complejidad. Se apoyó en la observación de las muestras mediante el uso del estereoscopio y microscopio, y se demandó la realización de cortes y análisis de tipo de estructuras características. Además, según el caso, se requirió realizar pruebas químicas, que detectaron la presencia de compuestos específicos de los líquenes que aportaron en su identificación, como las pruebas K (hidróxido de potasio), C (hipoclorito de sodio) y P (parafenilidiamina), entre otras. Así, se utilizaron claves específicas y artículos de estudio.

#### **3.7.4. Etapa de gabinete**

Esta etapa implicó básicamente el tratamiento de la información obtenida en las etapas previas. Según la temática que abarca el presente trabajo de investigación, tuvo las siguientes actividades:

##### **A. Evaluación de la completitud del muestreo**

Esta evaluación implicó la realización de curvas de acumulación de especies, mediante los estimadores CHAO 2 y Bootstrap, elegidos porque se basan principalmente en la incidencia de especies. Es decir, trabajan con datos de presencia y ausencia de especies. Para esta actividad, se usó el *software* EstimateS (Versión 9.1.0).

## **B. Evaluación de la diversidad alfa**

Debido a que el estudio se basó en la incidencia de especies (presencia-ausencia), la diversidad alfa consistió en la evaluación de la denominada «riqueza específica», referida al cálculo de la riqueza de especies. Para su evaluación, se trabajó con un *software online* disponible en el sitio web de la estadista Anne Chao. Se utilizaron básicamente nuestros datos de incidencia con un orden de diversidad  $q=0$ . Es decir, no incluyó datos de abundancia.

## **C. Evaluación de la diversidad beta**

Aquí se basó en dos componentes calculados mediante el *software R*, en relación con las fórmulas de Carvalho et al. (2012) y Carvalho et al. (2013). Implicando la disimilitud en la composición de especies o diversidad beta absoluta ( $\beta_{cc} = \beta_3 + \beta_{rich}$ ); dos factores aditivos: el recambio (reemplazamiento) de especies ( $\beta_3$ ) y las diferencias en riqueza de especies ( $\beta_{rich}$ ).

## **D. Agrupación de especies de líquenes epífitos más sensibles y resistentes**

Se agrupó entre los líquenes más sensibles a los líquenes con forma de crecimiento: gelatinoso, fruticoso, dimórfico y escumoso. Y como más resistentes: crustoso y folioso. Debido a que como se mencionó en el marco teórico, autores como Marcano (1994) denominaban como escala de sensibilidad a la secuencia de líquenes gelatinosos, fruticosos, foliosos y crustosos. Los últimos son los más resistentes a los cambios ambientales. Así, el dimórfico presenta una estructura superior y complementaria al fruticoso. Por su parte, el escumoso tiene tres especies identificadas por su alta sensibilidad.

## **E. Tratamiento de datos de las variables ambientales**

Se realizó el ordenamiento horario de los datos de temperatura y humedad relativa registrados por los sensores Kestrel.

Para la sistematización y tratamiento de las variables mencionadas, se hizo uso del *software R*.

## **F. Empleo de otras técnicas para el procesamiento y análisis de datos**

Para la realización de comparaciones y la evaluación de significancia en las diferencias del comportamiento de las variables, se utilizó el *software* estadístico InfoStat. Además, para apoyar la redacción de estos resultados, se usaron organizadores visuales como tablas, cuadros, listas y gráficos, según la necesidad de la representación del tratamiento estadístico optado. Asimismo, para la organización de datos no estadísticos, según la necesidad del caso.

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS**

#### **4.1. Caracterización de la comunidad líquénica epífita en bosques dominados por árboles del género *Polylepis***

Para caracterizar a la comunidad líquénica, a continuación, se muestran los resultados de la clasificación taxonómica y, según forma de crecimiento, por sitio de estudio. Estos sitios se presentan como «Llaca 1» (LI1) y «Llaca 2» (LI2), en referencia a los bosques naturales de *Polylepis*, y como «Quillcayhuanca» (Q), a la plantación antigua de *Polylepis*.

##### **4.1.1. Evaluación de la completitud del muestreo de las especies líquénicas epífitas en los sitios de estudio**

Según el muestreo utilizado, las curvas de acumulación de especies por sitios muestran (figuras 6, 7 y 8) que el número de forófitos utilizado fue el adecuado. Así, las especies comunes de líquenes epífitos colectados aumentan progresivamente al incrementar el número de forófitos (unidad de muestreo, generando una pendiente, hasta que la curva se asienta y tiende a estabilizarse, presencia de la asíntota). Es preciso recalcar que el punto donde se asienta la curva nos indica el tamaño mínimo de muestra deseable para cada sitio.

Para el bosque de *Polylepis* «Llaca 1», se observa que con 16 forófitos se estabiliza la curva (Figura 6). El estimador Chao 2 calculó una riqueza de 22 especies de líquenes epífitos, lo que indica que el muestreo tuvo una eficiencia

del 100%. En tanto, el estimador de Bootstrap calculó una riqueza de 23 especies de líquenes epífitos. Es decir, el muestreo representó una eficiencia del 96%.

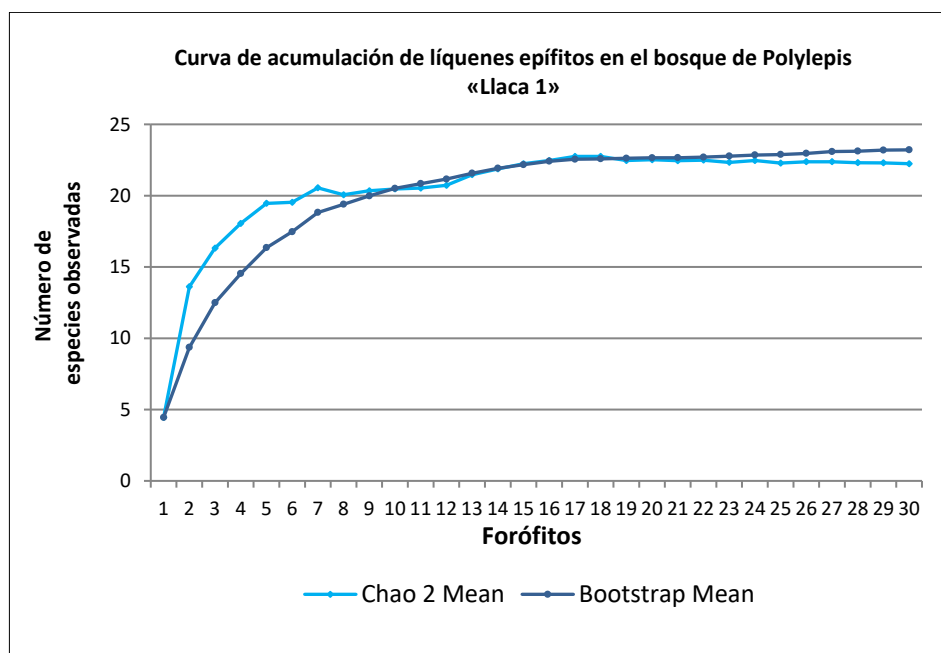


Figura 6. Curva de acumulación de especies para las 30 unidades de muestreo en Llaca 1.

Para el bosque de *Polylepis* «Llaca 2», se observa que con 21 forófitos se estabiliza la curva (Figura 7). El estimador Chao 2 calculó una riqueza de 23 especies de líquenes epífitos, lo que indica que el muestreo tuvo una eficiencia del 96%. Por su lado, el estimador de Bootstrap calculó una riqueza de 24 especies de líquenes epífitos, lo que revela una eficiencia del 92%.

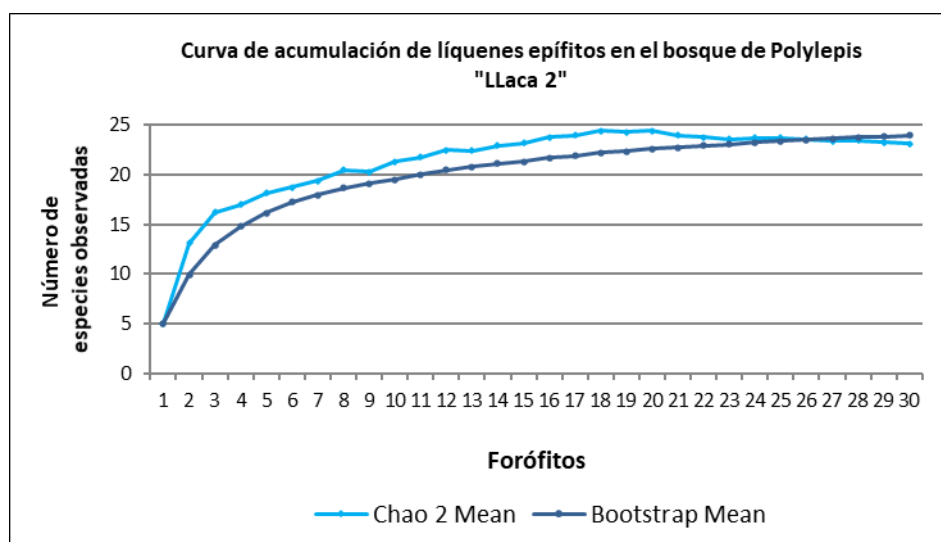


Figura 7. Curva de acumulación de especies para las 30 unidades de muestreo en Llaca 2.



Por último, para la plantación antigua de *Polylepis* «Quillcayhuanca», se observa que con 20 forófitos la curva se estabiliza (Figura 8). Así, el estimador Chao 2 calculó una riqueza de 34 especies de líquenes epífitos, una eficiencia del 94% para el muestreo. En tanto, el estimador de Bootstrap calculó una riqueza de 35 especies de líquenes epífitos, lo que representó una eficiencia del 91%.

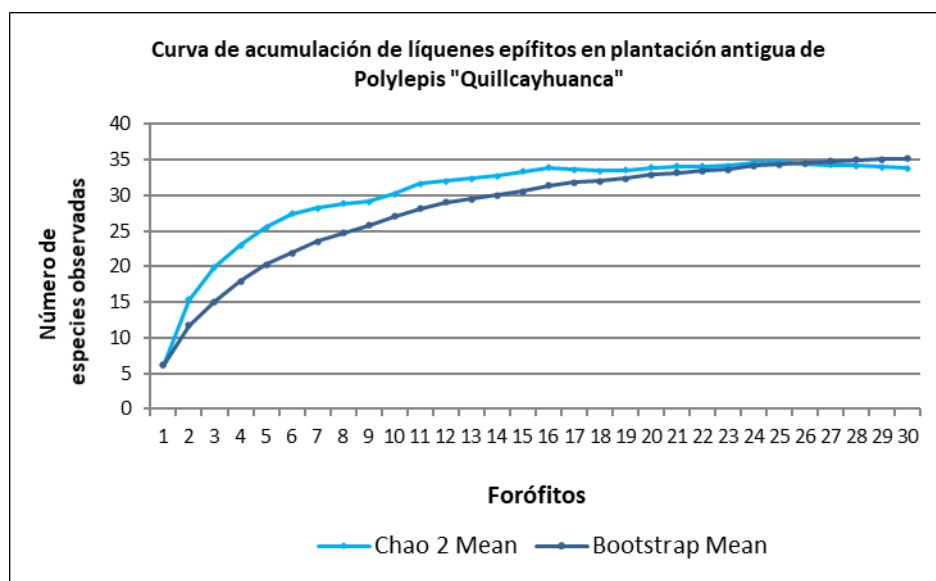


Figura 8. Curva de acumulación de especies para las 30 unidades de muestreo en Quillcayhuanca.

Para el estudio en general, se encontró una efectividad entre el 91% para el estimador Bootstrap y el 100% para Chao 2. Es decir, el muestreo permitió capturar al menos el 90% de especies de líquenes epífitos presentes en cada sitio. Esto fue altamente representativo.

#### 4.1.2. Composición de la comunidad liquénica epífita

Se encontraron en total 46 líquenes epífitos en los tres sitios de estudio (Tabla 3). De ellas 14 fueron determinadas hasta especie, 21 se identificaron hasta el nivel de género y 8 a nivel de familia. Además, 4 líquenes no fueron determinados debido a la escasez de la muestra (características diagnósticas básicas ausentes) y la complejidad del talo.

**Tabla 3. Registro de líquenes epífitos.**

Número de morfoespecie	Familia	Género	Especie identificada	LL1	LL2	Q
1	Caliciaceae	Buellia	<i>Buellia</i> spp.	X	X	X
2	Candelariaceae	Candelariella	<i>Candelariella deppeanae</i> M. Westb.			X
3	Chrysothricaceae	Chrysothrix	<i>Chrysothrix candelaris</i> (L.) J. R. Laundon	X	X	X
4	Cladoniaceae	Cladonia	<i>Cladonia</i> spp.	X	X	X
5	Cladoniaceae	Cladonia	<i>Cladonia</i> spp.	X	X	
6	Cladoniaceae	Lepraria	<i>Lepraria</i> spp.	X	X	
7	Cladoniaceae	Stereocaulon	<i>Stereocaulon</i> spp.		X	
8	Coenogoniaceae	Coenogonium	<i>Coenogonium luteum</i> (Dicks.) Kalb & Lücking	X	X	X
9	Collemataceae	Collema	<i>Collema glaucophthalmum</i> Nyl.			X
10	Collemataceae	Collema	<i>Collema</i> spp.			X
11	Collemataceae	Leptogium	<i>Leptogium phyllocarpum</i> (Pers.) Mont.	X		X
12	Collemataceae	Leptogium	<i>Leptogium</i> spp.			X
13	Collemataceae	-	-	X		
14	Collemataceae	-	-		X	
15	Lecanoraceae	Lecanora	<i>Lecanora</i> spp.	X	X	X
16	Lecanoraceae	-	-		X	
17	Lobariaceae	Sticta	<i>Sticta fuliginosa</i> (Dicks.) Ach.	X		X
18	Ochrolechiaceae	Ochrolechia	<i>Ochrolechia</i> spp.	X	X	X
19	Pannariaceae	Fuscopannaria	<i>Fuscopannaria coralloidea</i> P. M. Jørg.	X		
20	Pannariaceae	Fuscopannaria	<i>Fuscopannaria</i> spp.		X	
21	Pannariaceae	-	-			X
22	Parmeliaceae	Anzia	<i>Anzia</i> spp.	X	X	X
23	Parmeliaceae	Bryoria	<i>Bryoria</i> spp.	X	X	
24	Parmeliaceae	Everniastrum	<i>Everniastrum</i> spp.			X
25	Parmeliaceae	Everniopsis	<i>Everniopsis trulla</i> (Ach.) Nyl.			X

26	Parmeliaceae	Hypogymnia	<i>Hypogymnia</i> spp.	X		
27	Parmeliaceae	Hypotrachyna	<i>Hypotrachyna</i> spp.	X	X	X
28	Parmeliaceae	Usnea	Usnea spp.	X	X	X
29	Parmeliaceae	Usnea	Usnea spp.			X
30	Parmeliaceae	Xanthoparmelia	<i>Xanthoparmelia</i> spp.			X
31	Parmeliaceae	-	-			X
32	Parmeliaceae	-	-	X	X	
33	Parmeliaceae	-	-			X
34	Peltigeraceae	Peltigera	<i>Peltigera</i> spp.	X	X	
35	Peltigeraceae	Peltigera	<i>Peltigera</i> spp.	X	X	X
36	Physciaceae	Heterodermia	<i>Heterodermia hypoleuca</i> (Mühl.) Trevis.			X
37	Physciaceae	Heterodermia	<i>Heterodermia</i> spp.			X
38	Physciaceae	Leucodermia	<i>Leucodermia leucomelos</i> (L.) Kalb			X
39	Physciaceae	Physcia	<i>Physcia tribacia</i> (Ach.) Nyl.			X
40	Sphaerophoraceae	Bunodophoron	<i>Bunodophoron melanocarpum</i> (Sw.) Wedin	X		
41	Teloschistaceae	Caloplaca	<i>Caloplaca ferruginea</i> (Huds.) Th. Fr.			X
42	Verrucariaceae	Normandina	<i>Normandina pulchella</i> (Borrer) Nyl.	X		X
43	S1	-	-			X
44	S2	-	-	X	X	X
45	S3	-	-		X	
46	S4	-	-			X

Fuente: Elaboración propia.

A nivel de familias, se encontraron en total 16. Parmeliaceae fue la más representada, con 12 morfoespecies (Figura 9).

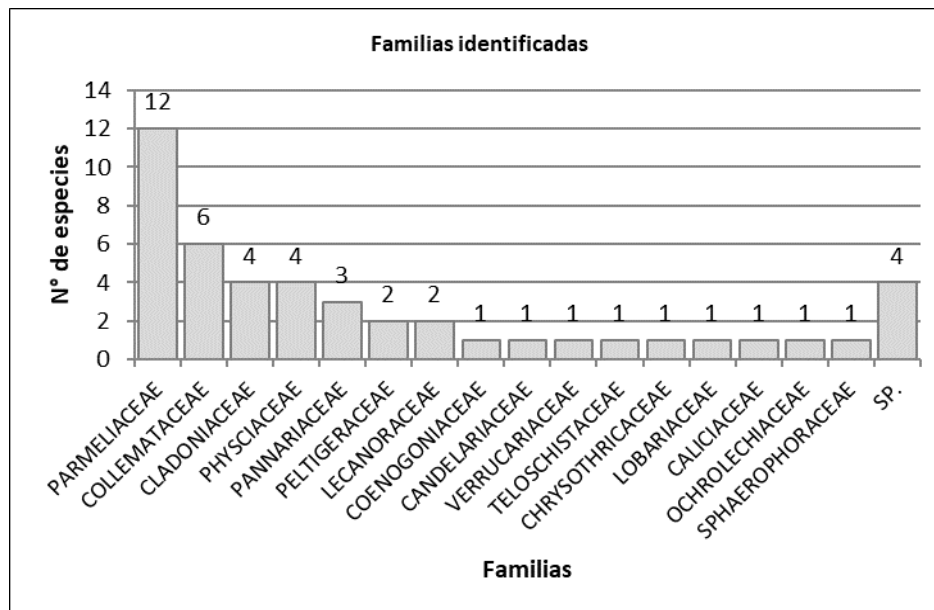


Figura 9. Familias identificadas en el estudio.

De las morfoespecies diferenciadas, en el bosque Llaca 1 y Llaca 2 la morfoespecie más frecuente fue *Cladonia spp.* (16 y 22 registros, respectivamente). En Quillcayhuanca, las morfoespecies más frecuentes fueron *Usnea spp.* (28 registros) y *Lecanora spp.* (19 registros).

De entre los líquenes identificados hasta especie, los de interés, por ser reportes nuevos para nuestra zona, son el *Bunodophoron melanocarpum*, *Candelariella deppeanae*, *Coenogonium luteum*, *Collema glaucophthalmum*, *Leptogium phyllocarpum*, *Fuscopannaria coralloidea*, *Heterodermia hypoleuca*, *Leucodermia leucomelos*, *Physcia tribacia*, *Caloplaca ferruginea*, *Normandina pulchella*.

#### 4.1.3. Formas de crecimiento de la comunidad líquénica epífita

Para el estudio en general (Figura 10), de las 46 especies encontradas, en mayor número, 13 especies presentaron la forma de crecimiento «folioso», seguida del «crustoso» (12 especies) y «fruticoso» (9 especies).

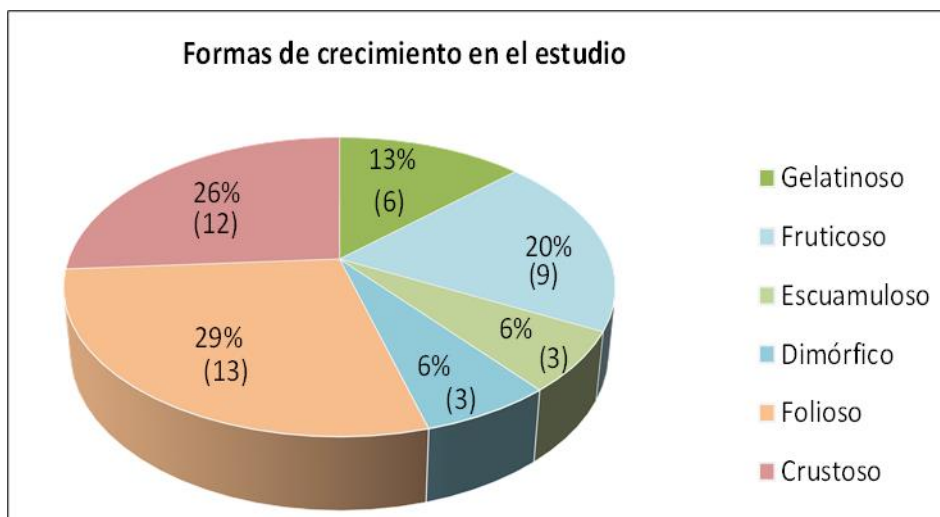


Figura 10. Formas de crecimiento de las especies identificadas en el estudio.

En los tres sitios se reconocieron las seis formas de crecimiento consideradas para este estudio (Figura 11). En los bosques «Llaca 1» y «Llaca 2», el mayor número de morfoespecies presentó la forma de crecimiento denominada crustoso. En «Quillcayhuanca», la forma de crecimiento más común fue el folioso.

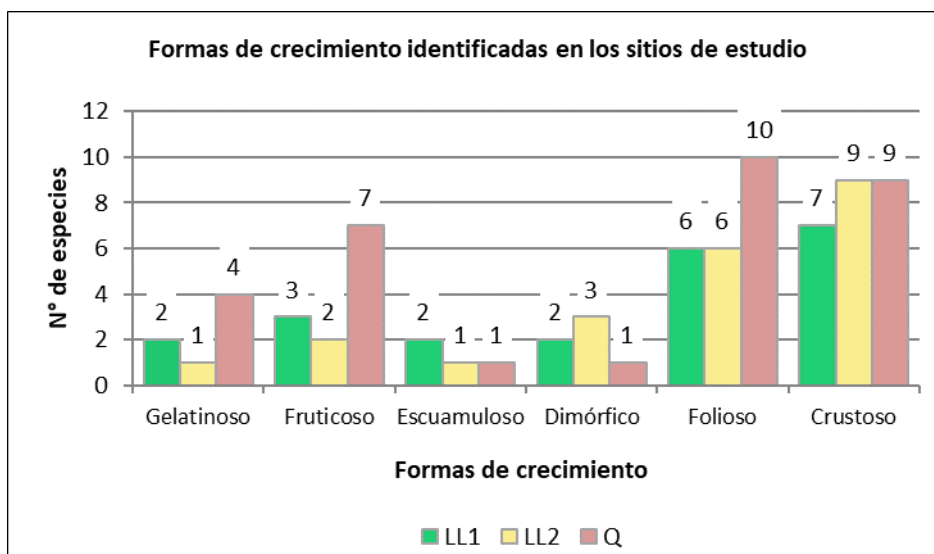


Figura 11. Formas de crecimiento identificadas en los sitios de estudio.

#### 4.2. Caracterización de los bosques dominados por árboles del género *Polylepis*

Para caracterizar los sitios de estudio, se utilizaron los factores que, según la literatura, pueden influir en el desarrollo de la comunidad liquénica epífita. A



continuación, se presentan los principales resultados en relación con la historia de uso de suelo, las condiciones microclimáticas y las características propias de los forófitos.

#### **4.2.1. Descripción de los sitios de estudio**

Se evaluaron tres bosques dominados por árboles del género *Polylepis*, cada uno con una historia de uso diferente:

##### **A. Bosque de *Polylepis* Llaca 1**

El bosque se inicia en los 3.980 metros sobre el nivel del mar, a la altura de la portada de la quebrada Llaca, en la margen derecha del río Casca. Se extiende aproximadamente en más de 50 hectáreas. Es el bosque de aspecto más conservado y de mayor extensión.



Figura 12. Vista panorámica del bosque Llaca 1.

Este bosque es dominado, principalmente, por árboles de *Polylepis weberbaueri*, También se encuentran en él árboles del género *Gynoxys*. Al respecto, se registró la dominancia relativa en relación con las parcelas



seleccionadas en el interior y borde de bosque. Se obtuvo una dominancia relativa de 83% (en parcela borde e interior de bosque) para *Polylepis weberbaueri*. Y una dominancia relativa de 17% (en parcela borde e interior) para *Gynoxys*. También se registró la densidad de árboles de *Polylepis* adultos. Así, se obtuvo una proyección de 5 y 4 individuos/100 m<sup>2</sup> respecto al interior y borde de bosque, respectivamente. En tanto, para el género *Gynoxys*, se obtuvo una proyección de 2 individuos/100 m<sup>2</sup> para ambas parcelas.

Naturalmente está protegido por una barrera natural el río que lo secunda, y de acceso relativamente difícil, por la pendiente inclinada y los deslizamientos rocosos sobre los que se ha establecido el bosque.



Figura 13. Vista de deslizamientos rocosos en Llaca 1.

Se observó *in situ* que abundan epífitas, entre líquenes y musgos, adheridos a los árboles y a las rocas. Es un bosque sin rastros de intervención reciente de ganado. Tampoco se han encontrado referencias ni rastros de incendios ni de árboles talados.

### **B. Bosque de *Polylepis* Llaca 2**

Este bosque relicto se encuentra entre los 4.345 y 4.405 metros sobre el nivel del mar, cerca del refugio Llaca (centro turístico de montaña de la Asociación de Guías de Montaña del Perú). Es mucho más pequeño que «Llaca

1», con un área aproximada de 1,3 hectáreas. Además, se encuentra dividido por una trocha carrozable.

Este bosque igualmente es dominado, principalmente, por árboles de *Polylepis weberbaueri*. Hay una dominancia relativa de 72% (interior de bosque) y 88% (borde de bosque). También se encuentran en él árboles del género *Gynoxys*, con dominancia relativa de 12% (borde de bosque) y 29% (interior de bosque). También registró la densidad de árboles de *Polylepis* adultos. Así, se obtuvo una proyección de 3 y 5 individuos/100 m<sup>2</sup> para el interior y borde de bosque, respectivamente. En tanto, respecto al género *Gynoxys*, se obtuvo una proyección de 2 individuos/100 m<sup>2</sup> para la parcela borde. Y de 4 individuos/100 m<sup>2</sup> para la parcela interior, lo cual, a su vez, es mayor que lo obtenido para Llaca 1.



Figura 14. Vista panorámica del bosque Llaca 2.

De pendiente inclinada, similar al bosque Llaca 1, y con presencia de deslizamientos rocosos sobre los que se ha establecido el bosque.





Figura 15. Vista de la base del bosque Llaca 2.

Además, *in situ* se observa que abundan epífitas entre líquenes y musgos adheridos a los árboles y a las rocas. Hay evidencias de intervención reciente del ganado (vacuno, equino y ovino) que acceden al área para ser pastoreados. Vale mencionar que en la quebrada Llaca hay baja presencia humana, más allá de los turistas que hacen excursionismo (*trekking*) y de los dueños de ganado que a veces van a vigilarlo. Por otro lado, no hubo evidencia de incendios o quema de árboles.

### **C. Plantación antigua de *Polylepis* Quillcayhuanca**

Este sitio no es un bosque natural, sino una plantación ubicada en la quebrada Quillcayhuanca, en la zona denominada vivero de Quillcayhuanca, cerca del puesto de control del Parque Nacional Huascarán. Se encuentra en la margen izquierda del río del mismo nombre, hacia los 3.827 metros sobre el nivel del mar.



Figura 16. Vista interior de la plantación antigua Quillcayhuanca.

Esta plantación fue realizada en 1985, con diferentes especies de *Polylepis* y con distanciamiento de 5 x 5 metros. La hizo el propio Parque Nacional Huascarán, en coordinación con la Dirección de Investigación Forestal del Instituto Nacional Forestal (sede Áncash). Es decir, es una plantación de 35 años (hasta 2020). Presenta un área aproximada de 2.8 hectáreas y de pendiente nula.

El área en que se establecieron las parcelas está dominada, principalmente, por árboles de *Polylepis sericea*, con una dominancia relativa de 54% (en borde de bosque) y 62% (en interior de bosque). Además, se distingue la presencia de *Eucalyptus*, con dominancia relativa de 46% (en borde de bosque) y 38% (en interior de bosque). También se registró la densidad de árboles de *Polylepis sericea*. Se obtuvo una proyección de 4 y 3 individuos/100 m<sup>2</sup> para borde e interior de bosque respectivamente. En tanto, para el género *Eucalyptus*, se obtuvo una proyección de 1 individuo/100 m<sup>2</sup> para ambas parcelas.

En otras partes de la plantación, se encontró *P. racemosa* y algunos individuos de *P. weberbaueri*. El suelo se observa cubierto de una gran concentración de hojarasca. Es un lugar de paso de la gente de la zona. Además,



se evidencia la tala de queñuales. En esta zona no hay ganado que pueda realizar pastoreo.

En la tabla 4, se resumen las características de uso (intervención antrópica) identificadas o encontradas en cada sitio de trabajo.

**Tabla 4. Factores característicos de los sitios de estudio.**

	<b>Bosque de <i>Polylepis</i> «Llaca 1»</b>	<b>Bosque de <i>Polylepis</i> «Llaca 2»</b>	<b>Plantación antigua de <i>Polylepis</i> «Quillcayhuanca»</b>
Área del fragmento que aparenta una menor conservación	-	✓	✓
Contiguo a trocha carrozable y fraccionada por esta	-	✓	-
Intervención de ganado	-	✓	-
Tala/extracción de leña	-	-	✓

Fuente: Elaboración propia.

#### **4.2.2. Comparación ambiental en el gradiente interior-borde**

La evaluación en cada sitio de estudio fue en paralelo en el gradiente interior-borde y exterior del bosque, durante 31 días, para cada sitio, pero en diversas fechas entre sitios. En el bosque Llaca 2, el registro de la data se dio del 21 de diciembre de 2019 al 20 de enero de 2020. En el bosque Llaca 1, del 22 de enero de 2020 al 21 de febrero de 2020; ambas durante la temporada de lluvias. En tanto, para la plantación Quillcayhuanca, el registro de información sucedió del 11 de julio 2020 al 10 de agosto 2020, durante la época de estiaje. Se obtuvieron los siguientes resultados:

#### **A. Condición ambiental en los sitios de estudio**

##### **• Variación horaria promedio de la temperatura**

En Llaca 1, si bien las temperaturas en general son bajas, durante la temporada de lluvias ( $>11^{\circ}\text{C}$ ), en la Figura 17, se observa que las diferencias en la temperatura promedio son más notorias entre el exterior e interior del bosque. En el periodo de mayor actividad fotosintética (9:00-15:00 horas), estas diferencias fueron más pronunciadas. Se observó que la temperatura es mayor

en el exterior y menor en el interior. Entre estos, la temperatura del borde del bosque. De los tres sitios de estudio, este sitio muestra diferencias más notorias entre el borde e interior del bosque. Estas diferencias fueron más claras sobre todo entre de 13:00 a 16:00 horas. Además, en el interior del bosque, la temperatura promedio más alta en el día (9.3 °C) fue inferior a la que se alcanza en el borde (10.5 °C) y exterior del bosque (11.3 °C). En tanto, la temperatura mínima, alcanzada durante la noche, en el caso del borde no fue tan baja como en el interior y exterior del bosque. Se mostró que el bosque tiene capacidad de amortiguar las temperaturas extremas.

Para el bosque de Llaca 2 (figura 17.b), se observa que la temperatura promedio en el borde del bosque y en el interior del bosque tuvieron un comportamiento similar. En el exterior del bosque se presentaron temperaturas promedio superiores, de 8:00 a 15:00 horas. En el resto del tiempo, las tres zonas tuvieron valores similares.

En la plantación antigua Quillcayhuanca, tampoco se encontraron diferencias notorias entre interior y borde del bosque, excepto por un pico de temperatura (significativo en términos de promedio horario) en el caso del borde del bosque de 14:00 y 15:00 horas. Por otro lado, el exterior del bosque tuvo un rango mayor de temperatura (temperaturas altas mayores y temperaturas bajas incluso bajo 0 °C) que las registradas en las parcelas con bosque. Se mostró una vez más la capacidad de amortiguamiento de los bosques de las temperaturas extremas.



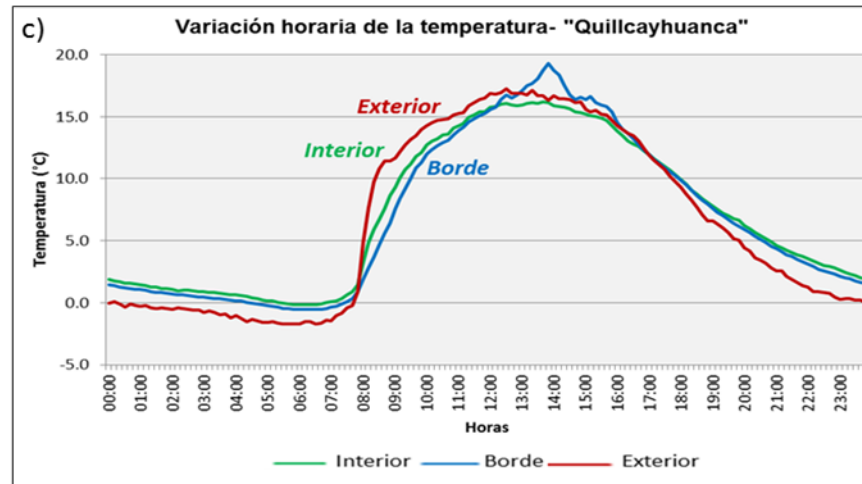
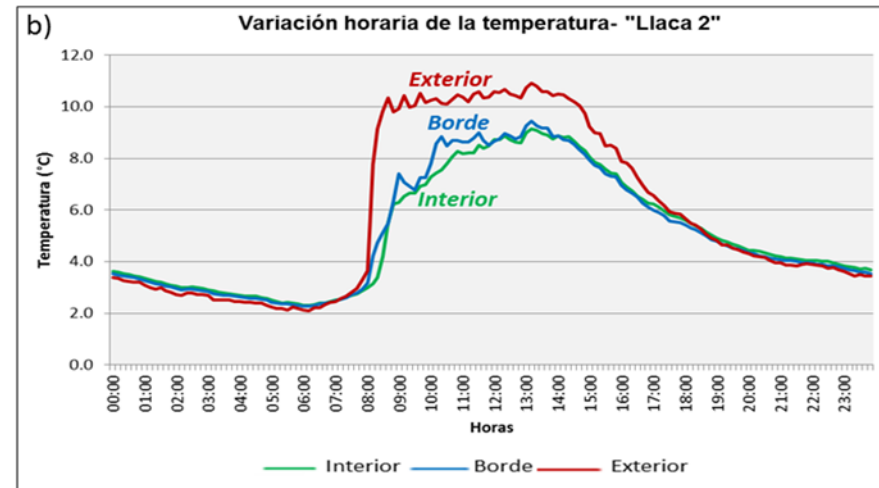
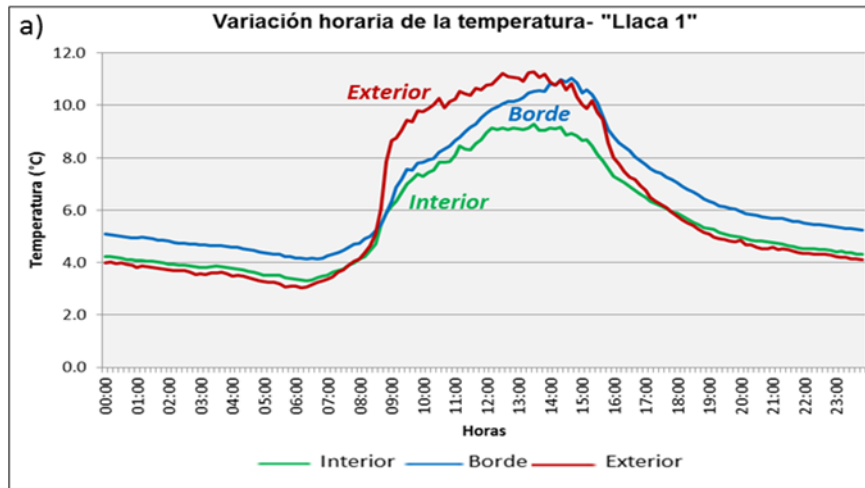


Figura 17. Temperatura horaria promedio en a) Llaca 1, b) Llaca 2, c) Quillcayhuanca. En todos los casos, se muestra el promedio de 31 días de evaluación.

- **Variación horaria promedio de la humedad relativa**

Para el bosque Llaca 1, la Figura 18 nos muestra diferencias notorias entre la humedad relativa promedio que alcanza el interior, borde y exterior, principalmente de 9:00 y 16:00 horas. El interior del bosque presentó una mayor humedad relativa, seguida por el borde y el exterior del bosque, donde se muestra una mayor variación en el día de la humedad relativa.

En el bosque Llaca 2, el exterior presentó la mayor variación de la humedad relativa. Llegó al 70%. Las diferencias entre interior y borde del bosque no fueron tan notorias como en Llaca 1, pero, de 9:00 a 17:00 horas, el borde mantuvo valores de humedad relativa más altos que el interior.

En la plantación Quillcayhuanca (figura 18.c), al evaluarse en época seca, se encontró un comportamiento de humedad relativa muy diferente. Las zonas del interior, borde y exterior del bosque tuvieron un comportamiento prácticamente igual durante las horas de mayor actividad fotosintética. Las diferencias fueron notorias en la noche (pasadas las 21:00 horas) y la madrugada. La parcela del interior presentó menor humedad relativa promedio en las noches, seguida por la parcela borde. La zona exterior al bosque fue la que mantuvo mayor humedad.

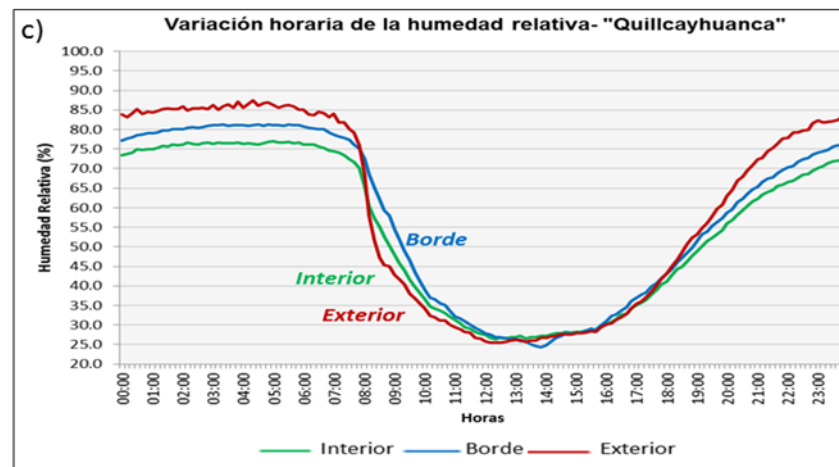
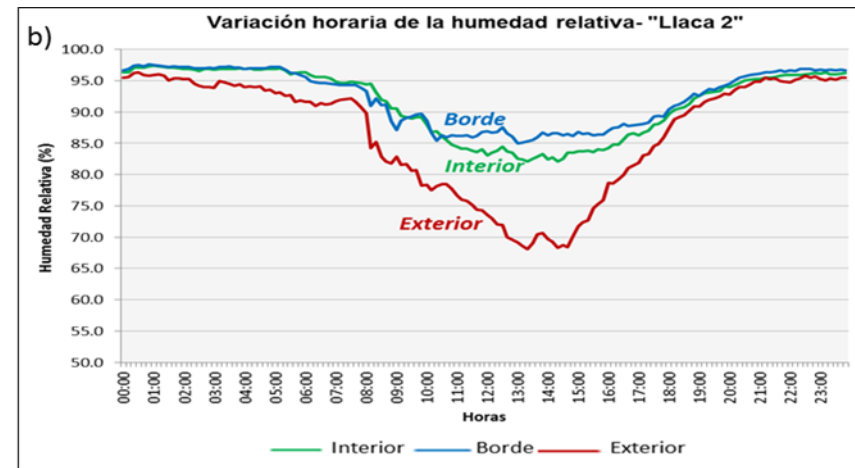
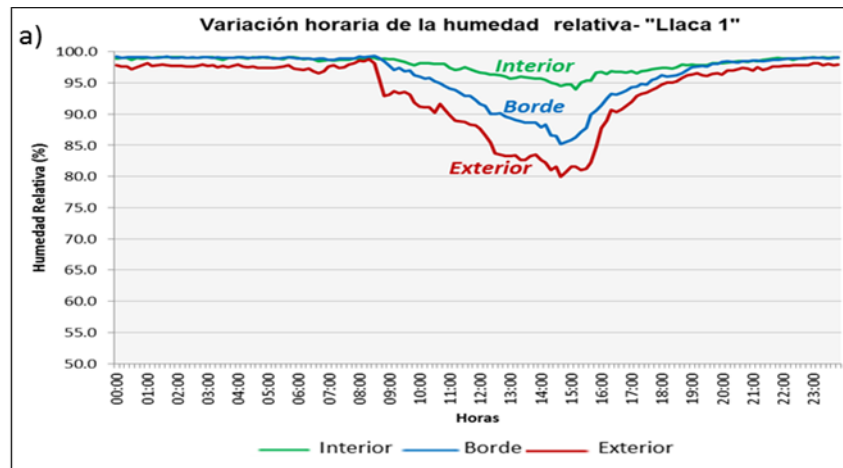


Figura 18. Humedad relativa horaria promedio en a) Llaca 1, b) Llaca 2, c) Quillcayhuanca. En todos los casos, se muestra el promedio de 31 días de evaluación.

### • Análisis de varianza

Se realizó el análisis de varianza (tabla 5) para la totalidad de datos registrados cada 10 minutos. Para Llaca 1, los resultados confirmaron que en el interior del bosque la temperatura promedio es más baja y la humedad relativa promedio es mayor. En tanto, la parcela borde tiene la mayor temperatura promedio, más incluso que el exterior, y una humedad relativa intermedia.

En el caso de Llaca 2, se confirmó que la temperatura media entre el borde e interior del bosque es similar, y que la temperatura en el exterior es mayor. En tanto, para la humedad relativa es el borde el que presenta el mayor valor promedio de humedad relativa, seguido por el interior del bosque, y al final el exterior del bosque.

Para la plantación Quillcayhuanca, se confirmó el caso de la similitud entre el valor promedio de la temperatura en el borde e interior del bosque. El exterior reporta un valor de temperatura media menor a las anteriores. Para la humedad relativa, el análisis de varianza encuentra diferencias significativas en un sentido diferente al esperado. El menor valor promedio es para la parcela interior seguida del borde, y es el exterior del bosque el que mantiene un mayor porcentaje de humedad relativa promedio.

**Tabla 5. Análisis de varianza-T° y HR en los sitios de estudio.**

	Variable	Tratamiento	Medias	E. E.
Llaca 1	Temperatura (°C)	Parcela interior	5.6 (a)	0.04
		Parcela borde	6.6 (c)	0.04
		Exterior del bosque	6.2 (b)	0.04
	Humedad relativa (%)	Parcela interior	97.9 (c)	0.15
		Parcela borde	96.1 (b)	0.15
		Exterior del bosque	93.6 (a)	0.15
Llaca 2	Temperatura (°C)	Parcela interior	5.1 (a)	0.05
		Parcela borde	5.1 (a)	0.05
		Exterior del bosque	5.8 (b)	0.05
	Humedad relativa (%)	Parcela interior	91.5 (b)	0.23
		Parcela borde	92.3 (c)	0.23

Quillcayhuanca	Temperatura (°C)	Exterior del bosque	86.6 (a)	0.23
		Parcela interior	7.0 (b)	0.10
		Parcela borde	6.9 (b)	0.10
	humedad relativa (%)	Exterior del bosque	6.5 (a)	0.10
		Parcela interior	54.4 (a)	0.38
		Parcela borde	57.3 (b)	0.38
		Exterior del bosque	59.0 (c)	0.38

Las letras indican diferencias significativas para  $p < 0.05$ ,  $n = 4464$  en todos los casos.

### B. Estimación del porcentaje de sombra

Los porcentajes de sombra estimados para cada parcela y bosque se presentan en la figura 19. Los valores varían de 58 a 75% de sombra. Es menor para la parcela interior del bosque de *Polylepis* Llaca 1. Es decir, en relación con el resto de parcelas, tuvo un dosel más abierto. En contraste, la parcela interior de la plantación antigua de Quillcayhuanca se reportó como la zona con un mayor porcentaje estimado de sombra (75.18%), con un dosel más cerrado.

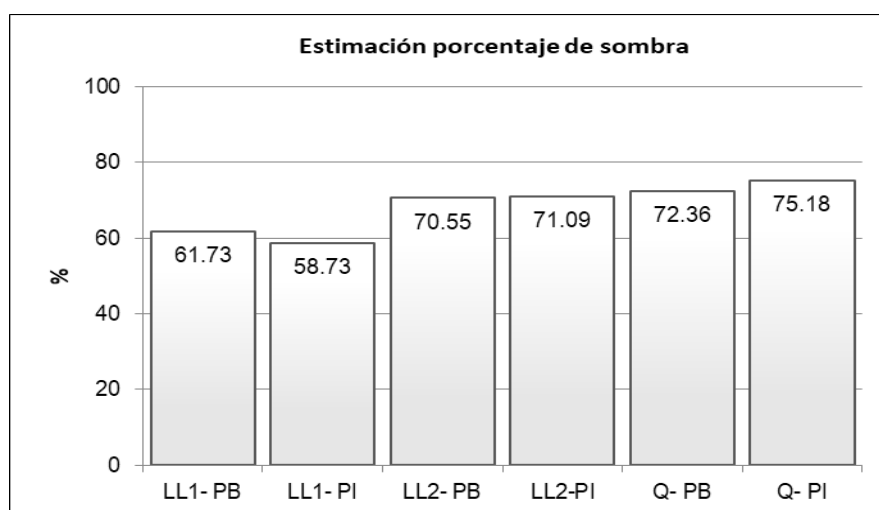


Figura 19. Estimación de porcentaje de sombra.

#### 4.2.3. Caracterización de los forófitos de los sitios de estudio

Los forófitos del presente estudio para el bosque Llaca 1 y Llaca 2 son *Polylepis weberbaueri* y *Gynoxys oleifolia*. Para la plantación antigua, son *Polylepis sericea* y *Eucalyptus globulus*. Al respecto, como se visualiza en la tabla 6, una vez más se detalla que las especies del forófito dominante son las pertenecientes al género *Polylepis*. Las que se denominan forófitos

acompañantes pertenecen al género *Gynoxys* y *Eucalyptus*, con una dominancia menor. A la vez, se resalta la menor dominancia de *Polylepis* en Quillcayhuanca, la cual evidentemente fue establecida por el humano.

**Tabla 6. Densidad y dominancia relativa de las especies forófitas.**

	Número total de individuos de todas las especies	Densidad absoluta «D» (individuos /ha)	<i>Polylepis</i> * <i>P. weberbaueri</i> (LL1 y LL2) * <i>P. sericea</i> (Q)		Árbol acompañante * <i>Gynoxys oleifolia</i> (LL1 y LL2) * <i>Eucalyptus globulus</i> (Q)	
			Densidad relativa «DR» (%)	Dominancia relativa (%)	Densidad relativa «DR» (%)	Dominancia relativa (%)
LL1- P. borde	26	520	69.2	83.4	30.8	16.6
LL1-P. interior	33	660	75.8	83.2	24.2	16.8
LL2- P. borde	31	620	74.2	88.4	25.8	11.6
LL2-P. interior	34	680	47.1	71.5	52.9	28.5
Q- P. borde	22	440	72.7	54.3	27.3	45.7
Q- P. interior	28	560	75.0	62.1	25.0	37.9

Fuente: Elaboración propia.

## A. Determinación de los diámetros de los forófitos

### • Diámetro de los forófitos dominantes

Según la figura 20, los individuos de *Polylepis weberbaueri* presentaron un DAP de 15 a 77 centímetros. Como se observa en el histograma, la mayoría de sus individuos se encontró en la clase de 15 a 31 centímetros. Por su parte, los individuos de *Polylepis sericea* presentaron un DAP de 15 a 62 centímetros, donde se observa que la mayoría de individuos se encontró en el rango de 31 a 46 centímetros.

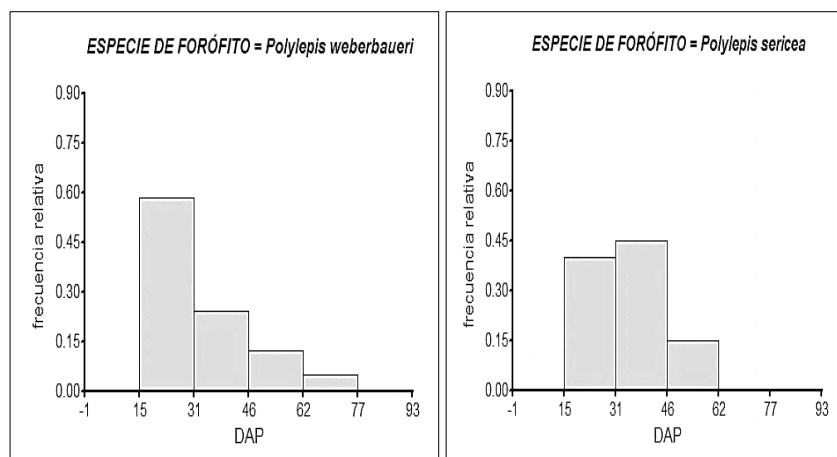


Figura 20. DAP de los forófitos dominantes.



### • Diámetro de los forófitos acompañantes

Referida a la figura 21, los individuos de *Gynoxys oleifolia* presentaron un DAP de 15 a 46 centímetros. Como se observa en el histograma, la mayoría de sus individuos se encontró en la clase de 15 a 31 centímetros. Por su parte, los individuos de *Eucalyptus globulus* presentaron un DAP de 15 a 77 centímetros, donde la mayoría de individuos se encontró en la clase de 31 a 46 centímetros.

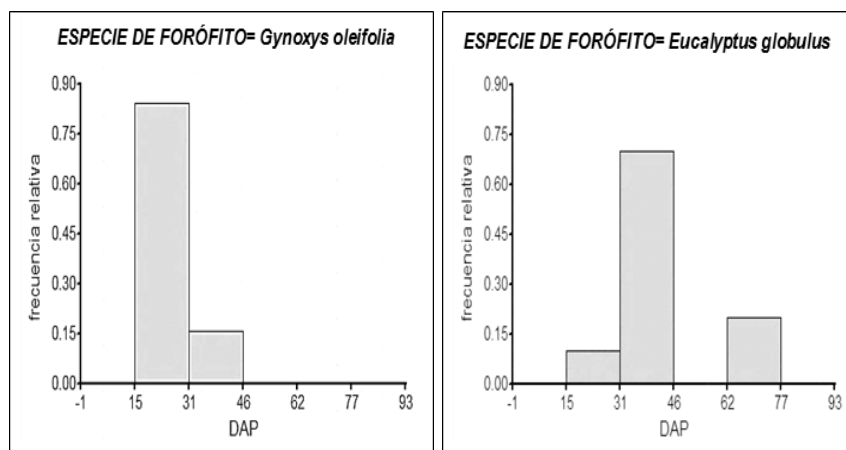


Figura 21. DAP de los forófitos acompañantes.

### • Análisis de varianza de los diámetros por forófito

Para evaluar el comportamiento general de esta variable, en cada forófito se realizó un análisis de varianza ANOVA (tabla 7). Se observó que *Gynoxys oleifolia* presentó un DAP significativamente menor a las otras tres especies de forófitos. El DAP fue más bajo para los individuos de *Gynoxys oleifolia*, con 23.62 centímetros, y para los individuos de *Eucalyptus globulus* el más alto, con 39.80 centímetros.

**Tabla 7. ANOVA para evaluación de los valores de DAP.**

Especie de forófito	Medias	n	E. E	
<i>Gynoxys oleifolia</i>	23.62	19	2.59	A
<i>Polylepis weberbaueri</i>	33.38	41	1.76	B
<i>Polylepis sericea</i>	35.40	20	2.52	B
<i>Eucalyptus globulus</i>	39.80	10	3.56	B

## B. Determinación del pH de la corteza de los forófitos

### • pH de los forófitos dominantes

Como se observa en la figura 22, la corteza de los individuos de *Polylepis weberbaueri* presentaron un pH de 4.5 a 6.9, la mayoría en la clase de 5.1 y 5.7 de pH (de fuerte a ligeramente ácido). Por su parte, la corteza de los individuos de *Polylepis sericea* presentaron mucha menos variación, con un pH de 5.1 a 6.3, la mayoría de ellos entre 5.7 y 6.3 (ligeramente ácido).

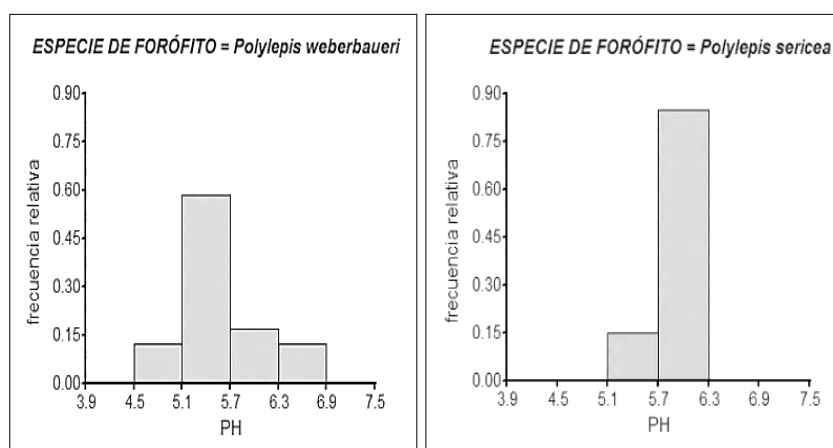


Figura 22. pH de los forófitos dominantes.

### • pH de los forófitos acompañantes

Según la figura 23, la corteza de los individuos de *Gynoxys oleifolia* presentaron un pH de 4.5 a 5.7, la mayoría en la clase de 4.5 a 5.1 (fuertemente ácido). Por su parte, los individuos de *Eucalyptus globulus* presentaron un pH de 6.3 a 7.5, donde se observa que la mayoría de individuos se encontró en la clase de 6.9 a 7.5 (pH neutro).

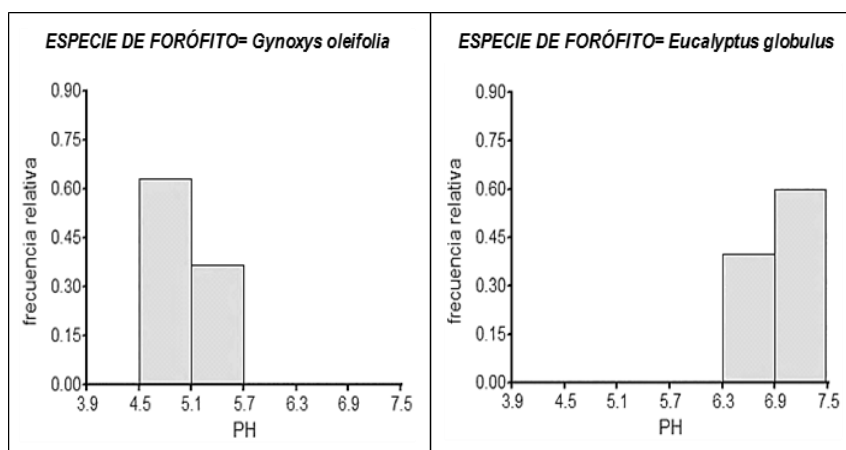


Figura 23. pH de los forófitos acompañantes.

#### • Análisis de varianza de los pH por forófito

Para evaluar el comportamiento general de esta variable, en cada forófito se realizó un análisis de varianza ANOVA (tabla 8). Así, se halló el pH con diferencias significativas entre todas las especies de forófitos. Así, el pH de la corteza fue más bajo para los individuos de *Gynoxys oleifolia*, con un valor de 4.97 y más alto para los de *Eucalyptus globulus* con pH promedio de 6.95.

**Tabla 8. ANOVA para evaluación de los valores de pH.**

Especie de forófito	Medias	N	E. E	
<i>Gynoxys oleifolia</i>	4.97	19	0.09	A
<i>Polylepis weberbaueri</i>	5.56	41	0.06	B
<i>Polylepis sericea</i>	5.87	20	0.09	C
<i>Eucalyptus globulus</i>	6.95	10	0.12	D

### 4.3. Relación entre la comunidad líquénica epífita y características de los bosques dominados por árboles del género *Polylepis*

A partir de los análisis realizados, se ha encontrado que hay una influencia muy importante de la identidad de los forófitos en la riqueza de especies de la comunidad líquénica epífita presente en cada bosque. Este factor parece ser más importante que, por ejemplo, las condiciones microclimáticas, en las que no se encontró relación con la riqueza o composición de la comunidad líquénica.

#### 4.3.1. Evaluación de los componentes de la biodiversidad a nivel de bosques

##### A. Evaluación de la diversidad alfa de líquenes epífitos

La plantación antigua de Quillcayhuanca fue el sitio que presentó la mayor diversidad alfa, o riqueza específica. Hubo 32 especies de líquenes epífitos. En tanto, los bosques Llaca 1 y Llaca 2 mostraron valores de riqueza similar entre ellos, y menor a Quillcayhuanca. Ambos sitios de estudio con 22 especies de líquenes epífitos. Estas diferencias se consideran significativas, pues los intervalos de confianza en las curvas de rarefacción de la plantación de Quillcayhuanca no se traslapan con los bosques Llaca 1 y Llaca 2 (figura 24).

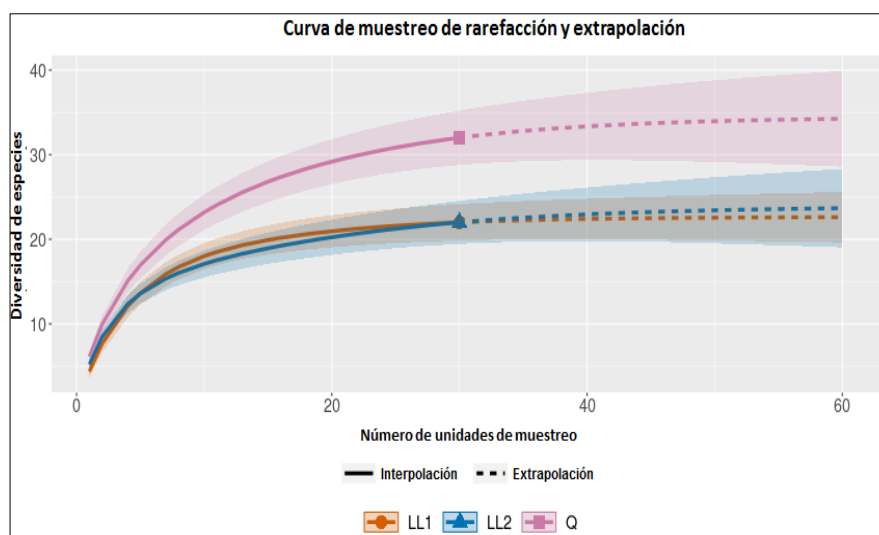


Figura 24. Diversidad alfa de los sitios de estudio.

### B. Evaluación de la diversidad beta de líquenes epífitos

Al comparar la diversidad entre sitios (o bosques), la Figura 25 muestra que los sitios que no comparten la misma quebrada de localización presentaron diferencias en más del 60%. Es decir, una diversidad beta o heterogeneidad relativamente mayor. Asimismo, la heterogeneidad se debió principalmente al recambio de especies. Es decir, a diferencias en la composición de especies. En la comparación de los bosques de Llaca, la heterogeneidad fue totalmente debida al recambio de especies. Es importante destacar que, en todos los casos, los sitios presentaron al menos un 40% de especies diferentes de líquenes epífitos entre sí, un valor bastante alto.

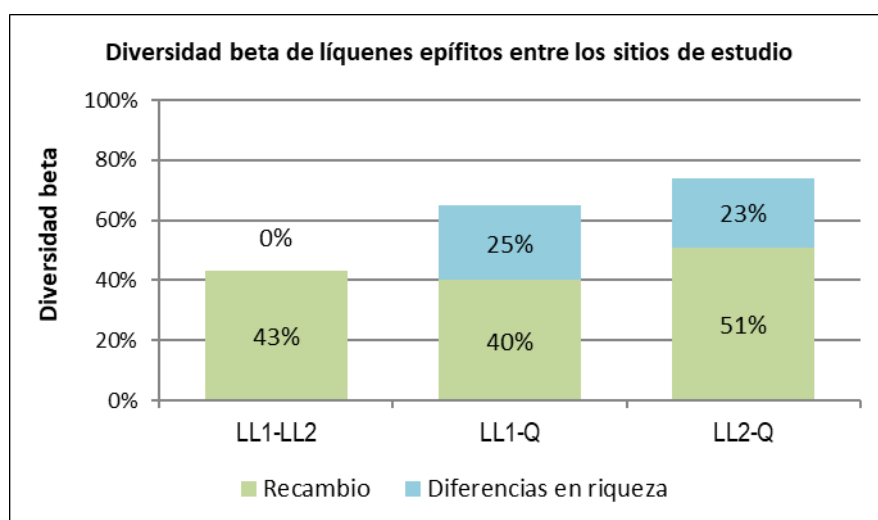


Figura 25. Diversidad beta para las tres parejas de sitios de estudio formadas.

### • Registro de especies compartidas y exclusivas

En un análisis más detallado, encontramos que los bosques Llaca 1 y Llaca 2 compartieron un mayor número de especies (16 especies), mientras Llaca 2 y Quillcayhuanca solo compartieron 11 especies (Figura 26). Asimismo, hubo 11 especies presentes en los tres bosques de estudio. De esas las más frecuentes fueron las morfoespecies del género *Usnea* y *Anzia*.

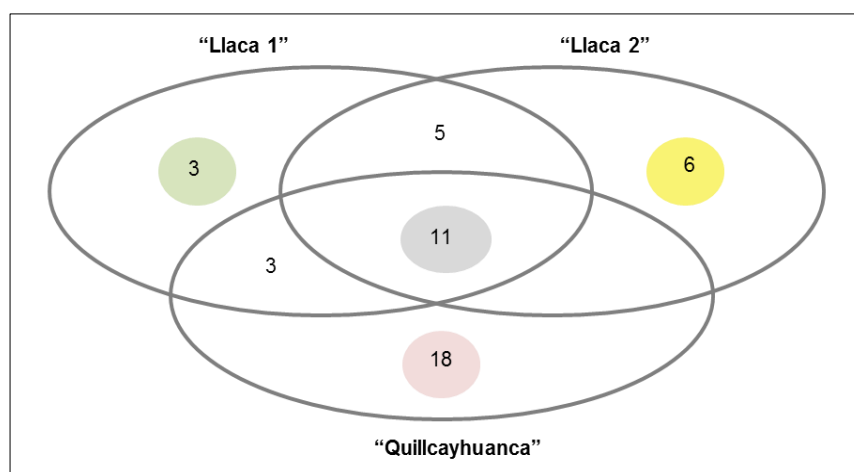


Figura 26. Diagrama de Venn respecto al número de especies compartidas y exclusivas.

Respecto a las especies exclusivas de líquenes epífitos en cada sitio de estudio (Figura 26), el número de especies únicas fue mayor para el caso de la plantación antigua de Quillcayhuanca con 18 especies, mientras los bosques de Llaca presentaron pocas especies exclusivas. Cabe destacar que las especies de árboles dominantes en Llaca y en Quillcayhuanca son diferentes, lo que se relaciona con este resultado. En el caso de Llaca 1, las tres especies exclusivas presentaron formas de crecimiento consideradas sensibles. Por ejemplo, las morfoespecies *Bunodophoron melanocarpum* (fruticoso) y *Fuscopannaria coralloidea* (escumuloso). En Llaca 2, de las seis especies exclusivas, la mitad de ellas presentaron formas de crecimiento consideradas resistentes a la perturbación. Por ejemplo, las morfoespecies del género *Lecanora* e *Hypogymnia*. Y la otra mitad, las consideradas sensibles, como las morfoespecies del género *Fuscopannaria* y *Stereocaulon*. En Quillcayhuanca, la mitad de sus especies exclusivas presentaron formas de crecimiento resistentes a la perturbación, como las morfoespecies *Candelariella deppeanae* (crustoso), *Physcia tribacia* (folioso) y *Caloplaca ferruginea* (crustoso).

### • Diferencias en la composición de formas de crecimiento

En lo referido a las formas de crecimiento, la plantación antigua de Quillcayhuanca presentó más especies, cuya forma de crecimiento se considera resistente, pero también presenta más especies con formas de crecimiento sensibles (figura 27).

Al hacer la comparación entre bosques naturales, Llaca 1 parece estar compuesto por más especies sensibles; y Llaca 2, por más especies resistentes (figura 27).

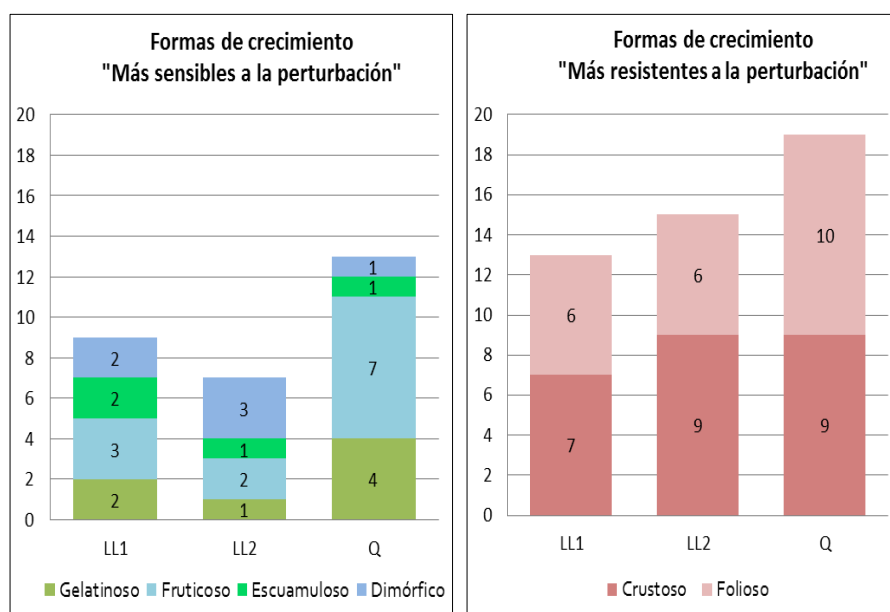


Figura 27. Formas de crecimiento en bosques.

### 4.3.2. Relación entre los forófitos y la riqueza líquénica epífita

#### A. Riqueza de especies a nivel de forófitos

Según las curvas de rarefacción (Figura 28), en el forófito de *Eucalyptus globulus* es donde se acumularon más rápidamente la riqueza de especies líquénicas epífitas. Con solo 10 individuos alcanza 25 especies, mientras que *P. weberbaueri* requiere 40 individuos. Por otro lado, *Gynoxys oleifolia* fue el forófito con menos velocidad de acumulación de especies.

**Tabla 9. Riqueza de especies en los forófitos.**

Especie de forófito	Número de forófitos muestreados	Riqueza de especies
<i>Polylepis weberbaueri</i>	41	26
<i>Polylepis sericea</i>	20	21



<i>Gynoxys oleifolia</i>	19	17
<i>Eucalyptus globulus</i>	10	25

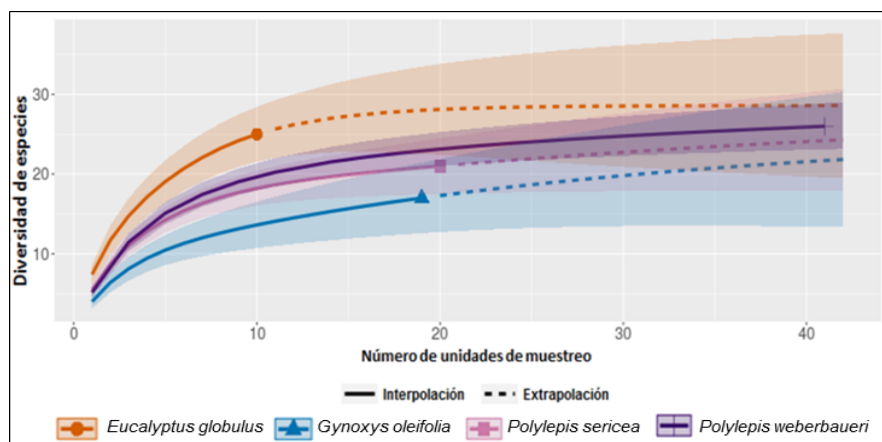


Figura 28. Curva de muestreo de rarefacción y extrapolación a nivel forófito.

## B. Registro de especies exclusivas de los forófitos

La Figura 29 muestra el número de especies exclusivas por tipo de forófito. Es decir, el número de especies de líquenes que se han encontrado creciendo solo en un tipo de forófito. El número mayor se asocia al forófito *Eucalyptus globulus*, el cual aportó ocho especies a la plantación antigua de Quillcayhuanca. Al ser el eucalipto una especie exótica e introducida, esto indicaría que estas especies de líquenes asociadas a eucalipto no se presentarían en un ambiente natural (asociación *Polylepis-Gynoxys*). Sin embargo, se encontró que varios de estos líquenes representan formas de crecimiento sensibles a la perturbación (gelatinoso-fruticoso). En contraste, *Gynoxys oleifolia* presentó solo dos especies exclusivas, pero ambas representan formas de crecimiento sensibles a la perturbación (dimórfico-escuamuloso).

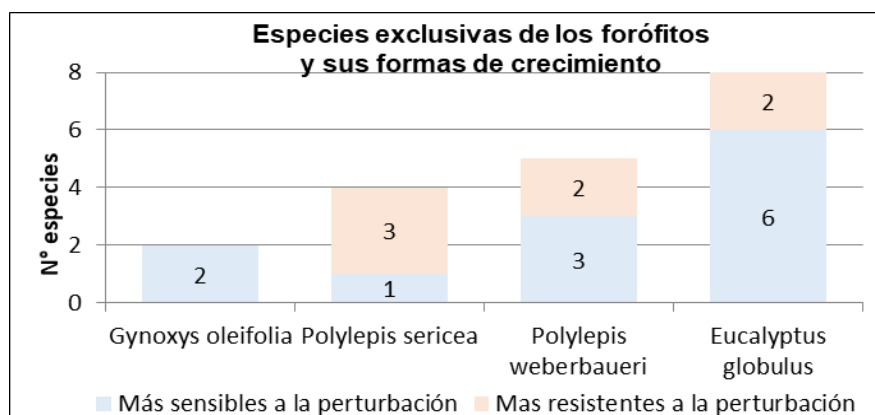


Figura 29. Especies exclusivas de los forófitos y sus formas de crecimiento.

### **C. Características de los forófitos**

Según la Figura 30, se observa que en el forófito del género *Eucalyptus*, con mayor DAP y pH promedio, se encontró asociado a una mayor riqueza de especies liquénicas (7 líquenes epífitos por forófito), lo cual indica condiciones favorables para una mayor riqueza de especies de líquenes epífitos. En tanto, *Gynoxys*, con menor DAP y pH promedio, tuvo la menor riqueza liquénica (4 líquenes epífitos por forófito).

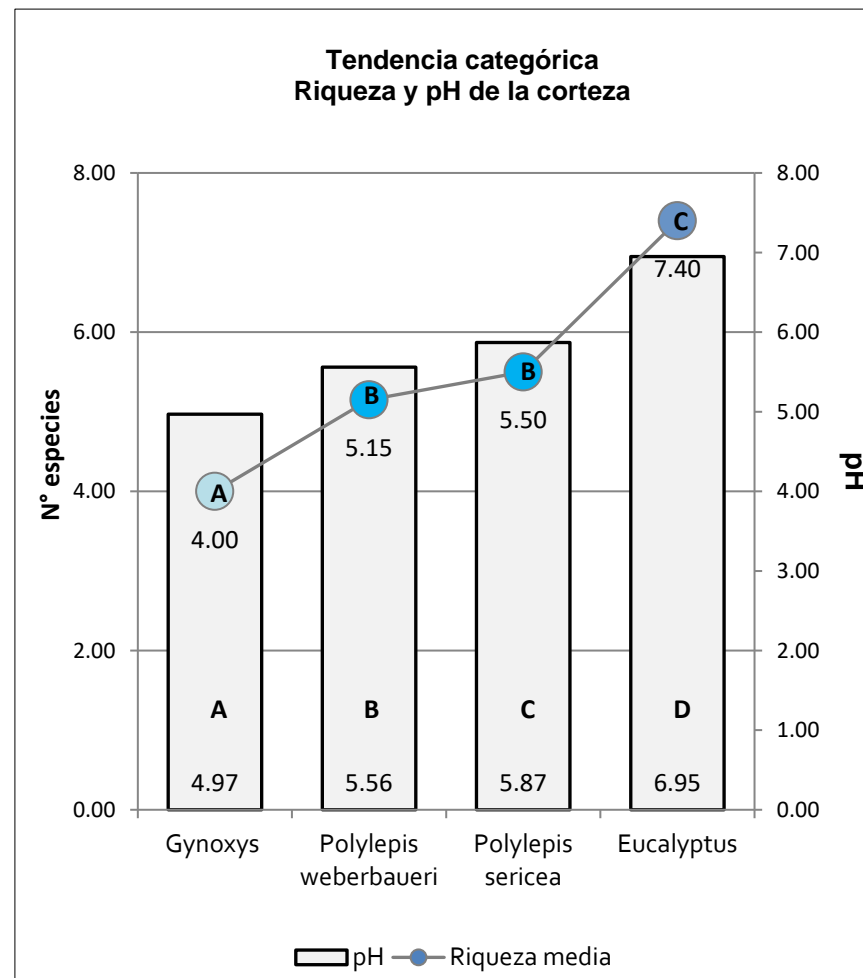
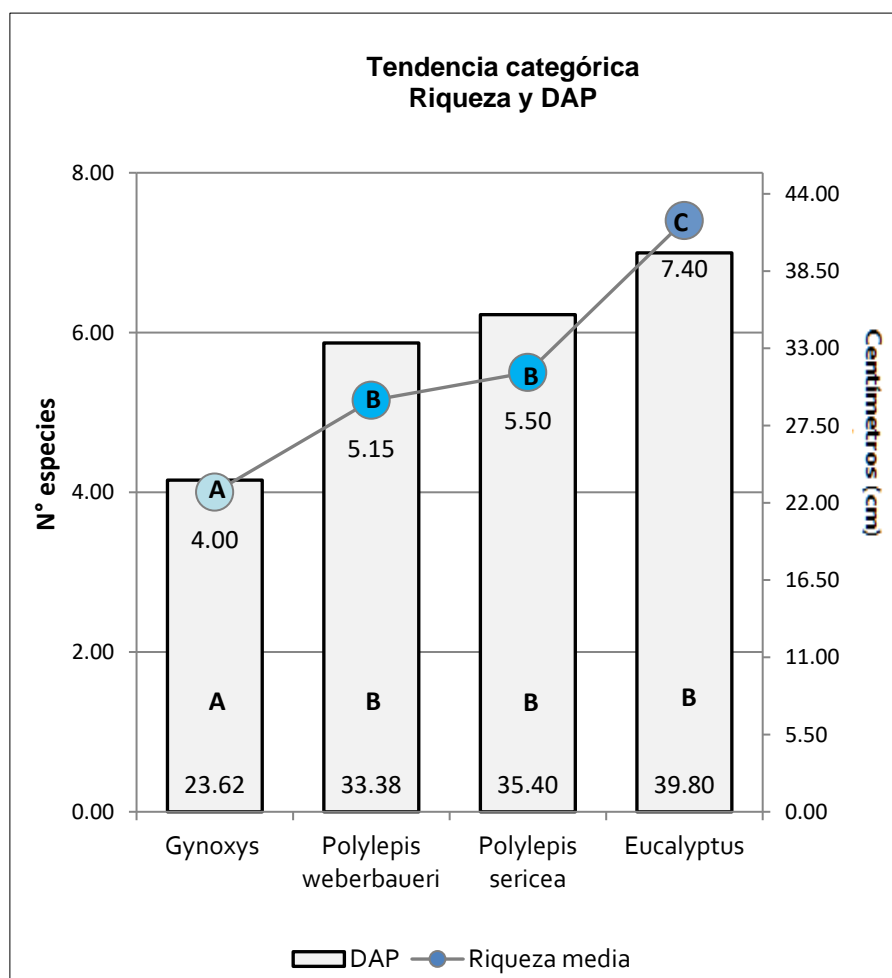


Figura 30. Tendencia categórica riqueza líquénica-DAP y pH promedio.

### **4.3.3. Evaluación del comportamiento de las variables de microclima en relación con la riqueza líquénica epífita**

#### **A. Microclima del gradiente interior- borde**

Aunque se han encontrado diferencias en las condiciones microclimáticas entre parcelas de borde e interior en el bosque de Llaca 1, esto no se relacionó con la comunidad líquénica ni su riqueza. Nuestros análisis no han mostrado una relación entre la riqueza o la presencia de ciertas especies de líquenes y las diferencias de mayor o menor temperatura y/o humedad relativa encontradas en las parcelas de investigación.

#### **B. Diversidad alfa y beta en el gradiente interior-borde**

##### **• Diversidad alfa**

Según las curvas de rarefacción (figura 31), no se encontraron diferencias en relación con la riqueza de especies al comparar las parcelas de interior y borde de cada bosque. Así, para el bosque «Llaca 1» se reportaron 21 especies en el interior y 18 en el borde. Por su parte, el bosque «Llaca 2», reportó 20 especies en el interior y 17 en el borde. Por último, la plantación antigua «Quillcayhuanca» reportó un número prácticamente similar de especies entre el interior y borde, con 27 y 26 especies respectivamente.

**Tabla 10. Riqueza de especies en las parcelas interior y borde.**

<b>Sitio de estudio</b>	<b>Parcela de bosque</b>	<b>Número de forófitos muestreados</b>	<b>Riqueza de especies</b>
Llaca 1	Interior	15	21
	Borde	15	18
Llaca 2	Interior	15	20
	Borde	15	17
Quillcayhuanca	Interior	15	27
	Borde	15	26

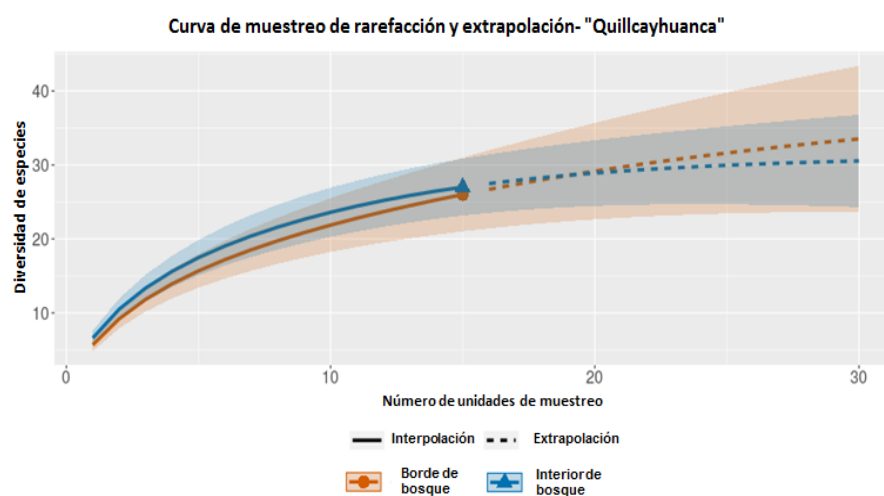
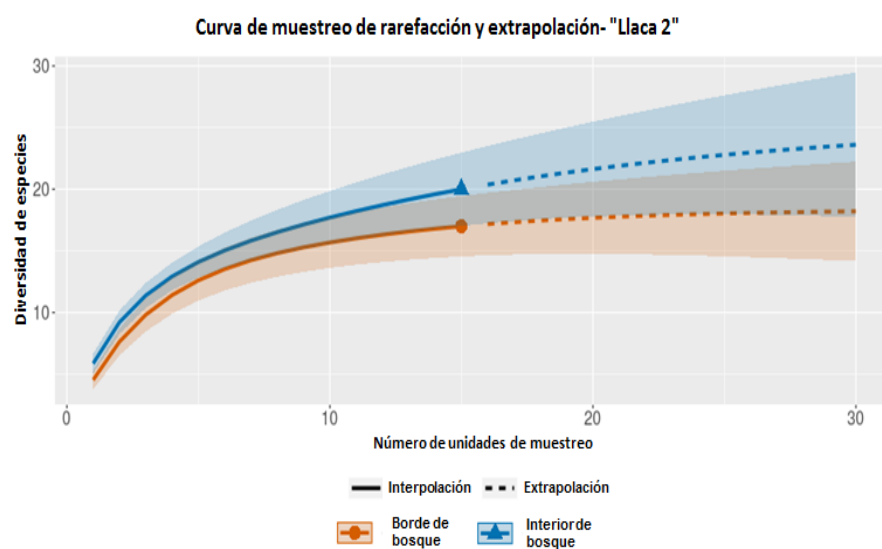
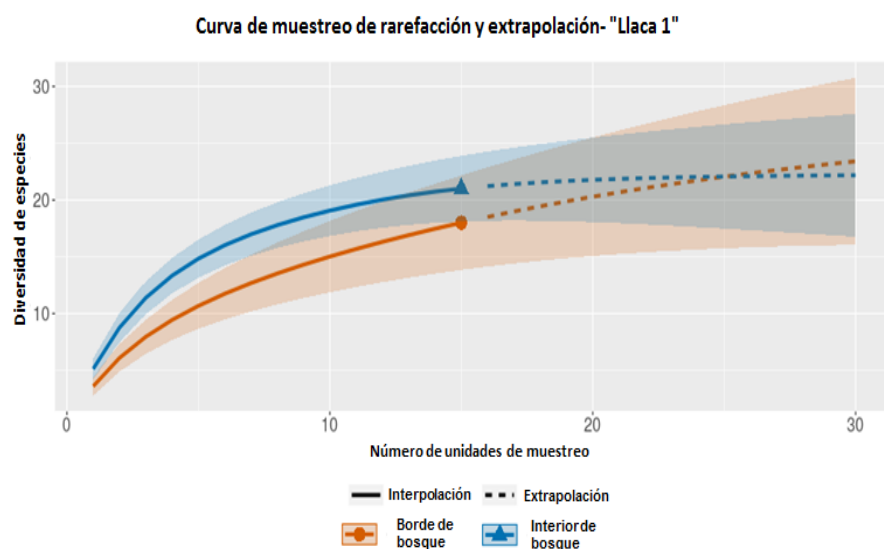


Figura 31. Diversidad alfa en parcelas interior y borde en a) Llaca 1, b) Llaca 2 y c) Quillcayhuanca.

### • Diversidad beta

Según la Figura 32, se observa que, de las tres comparaciones entre parcela borde e interior de cada sitio de estudio, para la evaluación de la diversidad beta, las diferencias son menores al 34%. Quillcayhuanca fue la que menos especies de líquenes compartió entre borde e interior de bosque. El bosque de Llaca 1 tuvo más similitud en la composición de las especies de líquenes entre parcela e interior. Es decir, presentó una composición más homogénea.

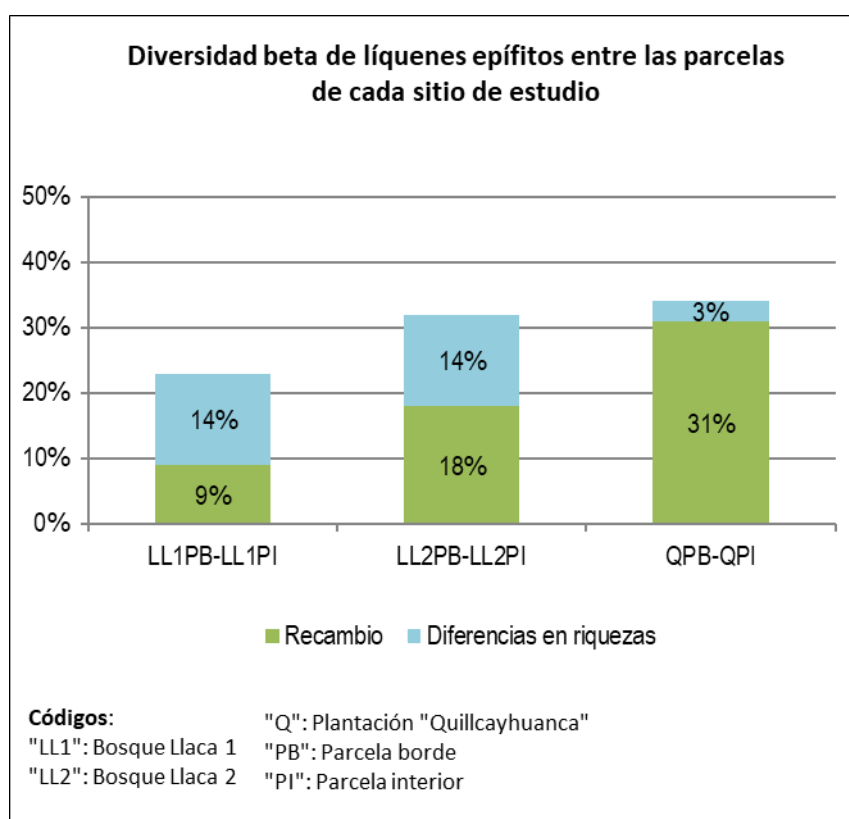


Figura 32. Diversidad beta comparando parcela borde e interior de cada sitio de estudio.



## CAPÍTULO V

### DISCUSIÓN DE RESULTADOS

#### 5.1. Comunidad líquénica epífita presente en bosques

En este estudio, en general, se registraron 46 especies de líquenes epífitos asociados a bosques dominados por el género *Polylepis*. Este es un número menor comparado con el registro de 55 especies de líquenes asociados a la especie *Polylepis quadrijuga*, en un bosque montano húmedo en Colombia (Herrera y Montaña, 2016). Y menor a lo reportado por Soto et al. (2012) (bosque premontano con 69 especies). Pero es un valor mayor que lo reportado por Király et al. (2013), para bosques templados de Hungría (44 especies en un tamaño de muestreo de 971 árboles).

En referencia a hallazgos importantes a nivel de identificación de especies de líquenes epífitos, en este estudio se han generado nuevos registros para las especies *Bunodophoron melanocarpum*, *Candelariella deppeanae*, *Coenogonium luteum*, *Collema glaucophthalmum*, *Leptogium phyllocarpum*, *Fuscopannaria coralloidea*, *Heterodermia hypoleuca*, *Leucodermia leucomelos*, *Physcia tribacia*, *Caloplaca ferruginea* y *Normandina pulchella*, que no habían sido colectadas hasta ahora en el departamento de Áncash. También se encontraron las especies *Chrysothrix candelaris*, *Sticta fuliginosa* y *Everniopsis trulla*, pocas veces reportadas.

Para este estudio, se encontró que la diversidad alfa promedio por forófito fue 5.2 especies de líquenes, valor similar al reportado por Soto et al. (2012), 5.4 especies en un bosque premontano de Colombia. Pero representa un valor bajo

en comparación con lo reportado por Cáceres et al. (2007) (bosque tropical en Brasil con 8.6 especies) y Király et al. (2013) (bosques templados de Hungría con 9.8 especies). Por otro lado, la diversidad beta está representada por un alto valor del recambio de especies (mayor a 43%), que indica un número alto de especies exclusivas de cada bosque de estudio. Esto coincidiría con la idea de que muchos líquenes crecen bajo condiciones específicas del sitio (Sipman y Harris, 1989; Rivas-Plata et al., 2008; Soto, et al., 2012).

Hasta donde se sabe, se han hecho solo dos estudios similares con líquenes epífitos. Un estudio de líquenes epífitos como bioindicadores de las alteraciones antropogénicas en un bosque premontano (Guevara, 2017), y otro estudio sobre el diagnóstico del estado de conservación de bosques de *Polylepis* (Gálvez, 2013), que muestran que son escasos los estudios de este tipo para bosques andinos en el Perú.

## **5.2. Sensibilidad de las formas de crecimiento de los líquenes**

En este estudio se diferenciaron seis formas de crecimiento, agrupados según su grado de sensibilidad: los grupos más sensibles (gelatinoso, fruticoso, escumuloso y dimórfico) y los más resistentes a la perturbación (crustoso y folioso). El uso de formas de crecimiento para determinar escalas de sensibilidad se basa en lo reportado por Marcano (1994), con algunos ajustes. Pero es un enfoque de trabajo cada vez más usado en los trabajos de investigación, como Ramírez (2009), Ramírez, León y Lucking (2016), que consideraron también las formas de crecimiento para definir especies usuales en bosques perturbados y en conservados.

La relación entre las formas de crecimiento y su sensibilidad como bioindicador ha sido analizada para bosques de todo el mundo, incluidos bosques andinos, pero es un trabajo en construcción. Por ejemplo, Aragón et al. (2019) proponen 32 formas de crecimiento que incluye subgrupos de los tomados en cuenta por nuestro estudio, concordando en considerar desde los fruticulosos hasta los gelatinosos como los más sensibles a la perturbación. Esto se basa en que la morfología del talo de los líquenes epífitos fruticulosos se relaciona con las condiciones ambientales (capacidad de almacenamiento y pérdida de agua). Por su parte, los gelatinosos desarrollan una corteza superior fina que favorece una hidratación inmediata en muy poco tiempo, y pueden sufrir

fotoinhibición por excesiva radiación en bosques más abiertos, por lo que todos ellos se presentan en bosques conocidos como no manejados, con dosel cerrado, ambientes protegidos, partes internas de bosques, bosques conservados y/o bosques primarios (Benítez et al., 2018; Aragón et al., 2019). Asimismo, los líquenes con forma de crecimiento foliosa (tanto lóbulos estrechos como anchos) se consideran más resistentes a la perturbación porque están adaptados para vivir en bosques abiertos, y bajo condiciones ambientales de alta radiación y estrés hídrico (Benítez et al., 2018; Aragón et al., 2019).

Es importante indicar también que las especies más resistentes a la perturbación, aunque aparecen con mayor frecuencia en los bosques manejados, son también frecuentes en los bosques maduros y sin intervención humana. Especialmente en los claros del bosque o en las ramas más expuestas de los árboles (Aragón et al., 2019). Esto explicaría la presencia de esta forma de crecimiento en Llaca 1, que es el bosque más conservado, pero también el que presenta el menor porcentaje de sombra.

Aunque en este estudio se han usado las formas de crecimiento en una escala de sensibilidad, encontramos que todas las formas de crecimiento están presentes en todas las parcelas evaluadas y que su proporción no ha estado relacionada con el grado de conservación del bosque. En la plantación de Quillcayhuanca, asociado al eucalipto, que es una especie exótica, se han encontrado el mayor número de especies sensibles, pero también el mayor número de especies resistentes. Esto nos indica que hay aún mucho trabajo por hacer para establecer una relación directa entre formas de crecimiento y el grado de conservación del bosque.

Este estudio ha usado la riqueza de especies en complementariedad con las formas de crecimiento. Por ello, implicar otros elementos como la abundancia de los líquenes epífitos, en términos de evaluación de cobertura líquénica, puede mostrar mejor la relación entre las formas de crecimiento y el grado de conservación de los bosques, que, por ejemplo, en casos de efecto borde en bosques de *Polylepis* ha permitido a otros autores explicar sus hallazgos (Herrera y Montaña, 2016).

### 5.3. Factores que afectan la riqueza de líquenes epífitos

A pesar de que diversos autores han encontrado que la humedad relativa y la cantidad de luz pueden influir en la comunidad liquénica que se establece (Kranner et al., 2008; Benitez, 2016; Johansson, 2008), nuestros resultados no encontraron una relación clara entre factores microclimáticos y riqueza de líquenes. Esto tal vez se deba a que el efecto de borde de estos bosques es muy focalizado, pues el contraste entre pastizal y bosques es muy abrupto. Asimismo, Herrera y Montaña (2016) encontraron que en fragmentos pequeños se homogenizaron las condiciones ambientales, y se presentan pocas variaciones entre interior y borde, algo que encontramos en este estudio al comparar esas parcelas en Llaca 2 y Quillcayhuanca.

Se han reportado factores que influyen en la comunidad liquénica, pero que su efecto puede cambiar según el tipo de bosque que se evalúe. Por ejemplo, los relacionados con las características del forófito. Así, en bosques tropicales la relación entre el forófito y los organismos epífitos se reporta como nulo (no son condicionados por el hospedador) por la poca evidencia de la especificidad de forófito de los líquenes (Cáceres et al., 2007; Rosabal et al., 2013). En contraste, para bosques estacionalmente secos, se ha reportado que las comunidades de líquenes y otros epífitos no vasculares son condicionadas directamente por la especie y diámetro del forófito hospedador (Benítez, 2016).

En este estudio encontramos una relación clara entre la identidad del forófito y la riqueza liquénica. *Gynoxys*, con la corteza con el pH más ácido y el menor DAP promedio, alberga la menor riqueza, mientras *Eucalyptus*, la especie con corteza de pH neutro y mayor DAP, promedio, la mayor riqueza.

En nuestro caso, se encontró una importante relación entre el pH (que fue específico para cada especie de forófito) y la riqueza promedio que albergaron. Esto concuerda con lo reportado para un bosque montano en Costa Rica (Holz, 2003), donde el pH de la corteza afectó la formación de comunidades de líquenes (más especies limitadas a valores altos de pH), mientras Simijaca et al. (2018) encuentran en un bosque altoandino y una plantación forestal que la menor riqueza liquénica se da cuando el pH es significativamente más ácido.

Así, nuestros resultados sugieren que pH ácidos reducen la riqueza de líquenes. Asimismo, hay otros estudios que encuentran ese patrón, que en pH ácido la riqueza no es muy alta (Kuusinen, 1996; Kantvilas y Jarman, 2004). Se

justifica en la importancia de una corteza básica (sustrato con pH superior a 5), pues una corteza con pH más básico favorece el establecimiento de líquenes debido a que, con valores de pH bajo (3- 4,5), las clorofilas se oxidan irreversiblemente, mientras que con valores más altos no se degradan. Por tanto, afectan el papel del fotobionte.

Por otro lado, encontramos indicios de una relación positiva entre el DAP y la riqueza de líquenes. En *Eucalyptus*, con un DAP relativamente mayor, se reportó la mayor riqueza promedio en contraste a *Gynoxys* (con menor DAP) se encuentra la menor riqueza. Otras evaluaciones muestran que la comunidad de líquenes fue también influenciada por este factor del diámetro del árbol (Soto et al., 2012; Benítez, 2016), relacionada con una mayor superficie expuesta que ofrece el forófito a diásporas para el origen de nuevos talos (Rosabal et al., 2013), así como un mayor número de micrositios apropiados para la colonización en su corteza.

Es importante destacar que el eucalipto no es una especie nativa de la zona andina, y es llamativo que sea el forófito con mayor riqueza asociada. Existen tan pocos estudios que caractericen líquenes en bosques de queñual, que no podemos saber hasta qué punto ha sido alterada la comunidad liquénica natural por la presencia de eucalipto. Pero es claro que está permitiendo una diversificación, ya que se han visto ocho especies exclusivas que solo crecen en este forófito.

#### **5.4. Comunidad liquénica epífita de bosques dominados por árboles del género *Polylepis***

Nuestros resultados muestran que el bosque más conservado no es el que tienen mayor diversidad, lo que concuerda con Ramírez (2009), quien reporta para el bosque perturbado una mayor diversidad que el bosque conservado. Las condiciones ambientales favorables, como un bosque conservado, permite que con el tiempo ciertas especies se vuelvan dominantes y eviten la colonización de nuevas especies, lo cual da cabida a la disminución de la diversidad (Begon et al., 1995; Jentsch et al., 2002).

Sin embargo, en el bosque de Llaca 1, que consideramos más conservado, se presentaron tres especies exclusivas, reportadas como altamente sensibles. En primer lugar, la morfoespecie del género *Collema*,



considerado un tipo de macrolíquen frecuente en bosques densos, maduros y bien conservados (Aragón et al., 2008). El segundo líquen, del género *Fuscopannaria*, considerado con una alta sensibilidad y presente solo en bosques maduros poco intervenidos (Aragón et al., 2008; Aragón, 2010). Y, por último, *Bunodophoron melanocarpum*, cuyo hábitat es considerado extremadamente limitado debido a su alta sensibilidad (Stone, 2017). Ninguna de estas morfoespecies fue registrada en los bosques con algún grado de alteración. El hallazgo de especies exclusivas se condice con lo encontrado por Herrera y Montaña (2016), quienes determinaron especies de líquenes exclusivos con baja tolerancia al disturbio presentes en el interior de un bosque de mayor tamaño, entre sus dos bosques de estudio.

Por su lado, el bosque Llaca 2, dividido por una trocha carrozable y con intervención humana reciente, presentó una riqueza (número de especies) similar a Llaca 1, pero con especies más resistentes a la perturbación. Esto porque, frente a una perturbación «media», las especies que inicialmente dominaban un lugar son principalmente afectadas por esta perturbación, y son desplazadas por la «competencia» de especies más resistentes. Es decir, no dependientes de las condiciones anteriores a la perturbación, lo que aumentaría la diversidad de las mismas (crustosas y foliosas) (Ramírez, 2009).

El bosque Llaca 2 presentó seis especies exclusivas, entre ellas las morfoespecies del género *Fuscopannaria* y *Stereocaulon*, consideradas indicadoras del grado de madurez de bosques poco intervenidos. Y las morfoespecies del género *Lecanora* e *Hypogymnia*, reportados como líquenes de bosques primarios alterados por el ser humano, para la explotación de recursos ganaderos, agrícolas y/o forestales. Y con tolerancia media a la contaminación ambiental (Aragón et al., 2008; Aragón, 2010).

Como hemos visto, la plantación antigua de *Polylepis* presentó la mayor riqueza. Pero se ha dicho también que esto es por la presencia de un forófito con características particulares. El eucalipto, por ejemplo, presentó ocho morfoespecies exclusivas. Ello va en contra de la idea general y lo esperado, que es que las especies exóticas albergan menos diversidad que especies nativas (Calviño-Cancela et al., 2020). Se requerirá un estudio más detallado y conocimiento experto de las especies de líquenes para interpretar adecuadamente este hallazgo. Será importante discutir qué tanto la presencia

de eucalipto beneficia a la diversidad de líquenes o altera la comunidad liquénica natural. Por otro lado, la plantación de *Polylepis* presentó un número alto de especies más resistentes, que se podría explicar en que los líquenes crustosos son los primeros presentes en una sucesión vegetal (Aguirre y Chaparro, 2002), cuya aparición no sería afectada por la intervención más frecuente observada, como es la tala, que se presentó en el área de los forófitos muestreados.

Consecuentemente a todo lo detallado, estudiar la riqueza liquénica epífita de un ecosistema bosque de *Polylepis* e interpretar las diferencias en riqueza en bosques con grados de conservación diferentes será mejor comprendido si, además de la comunidad del forófito dominante del bosque, se estudia el aporte de especies de sus forófitos acompañantes, así como las características particulares de los forófitos, de los cuales puede depender el establecimiento de ciertas especies. De la misma manera, más allá de la riqueza, la composición de la comunidad liquénica epífita, en términos de la identidad de la especie, y su forma de crecimiento refuerzan el entendimiento y la correspondencia de las diferencias reflejadas en la comunidad que albergan cada sitio de estudio.

Este tipo de comunidad, poco estudiada como parte de la biodiversidad de nuestros bosques de *Polylepis*, presenta gran complejidad taxonómica, resultado de su complejidad anatómica. Es un tipo de comunidad que, desde el género de sus morfoespecies, en complemento a su forma de crecimiento, nos brinda una importante información inicial del estado del espacio que lo está albergando.

Por ello, mediante los esfuerzos por diferenciar tres espacios con un grado de conservación particular, nuestro estudio ha permitido generar un paso inicial para comprender y observar en nuestros bosques andinos lo que ha sido estudiado y reportado internacionalmente en otros bosques. Responde que efectivamente estos bosques dominados por el género *Polylepis* presentan una comunidad liquénica epífita que refleja diferencias asociadas a las condiciones particulares que caracterizan estos sitios en los términos discutidos anteriormente.

## CAPÍTULO VI

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.1. Conclusiones

Los resultados muestran que la plantación de *Polylepis* Quillcayhuanca con más de 30 años presentó una riqueza líquénica mayor a la observada en los bosques naturales de *Polylepis* Llaca 1 y Llaca 2, los cuales, a su vez, presentaron la misma riqueza líquénica. No obstante, estos bosques naturales de la misma quebrada de ubicación presentaron una disimilitud cercana al 50% en la composición de especies debida solo al recambio de especies.

Se determinaron tres sitios de estudio que, aunque tuvieron como género dominante a los árboles del género *Polylepis*, se diferenciaron en su historia de uso en particular y en relación con el tamaño de los parches, su naturaleza y factores de intervención y/o perturbación. Así, se determinó y trabajó en base a un bosque aparentemente más conservado, uno con intervención relativamente intermedia y una plantación antigua.

La riqueza líquénica se relacionó en buena medida con las características propias del forófito, ligadas al pH de la corteza y el DAP, debido a que estas características particulares en cada especie ofrecen condiciones propicias para su desarrollo y/o establecimiento. Como se esperó tanto árboles dominantes como acompañantes, son importantes en la conformación de la comunidad líquénica epífita. En tanto, la composición de líquenes epífitos hallada, particularmente en términos de especies exclusivas y formas de crecimiento se

correspondió también en buena medida con la historia de uso de cada bosque diferenciado.

## **6.2. Recomendaciones**

- Al implicar en un gradiente el estudio de una zona borde, se recomienda definir un borde más focalizado al límite del bosque.

- Al monitorear la temperatura y humedad relativa en un gradiente como el evaluado en este estudio, se recomienda una época seca durante la cual se pudiesen intensificar los efectos ambientales de borde que mostrarían diferencias más claras en ese gradiente.

- Se recomienda intensificar el estudio y explorar las diferencias en humedad relativa y temperatura a nivel forófito.

- Se recomienda explorar otros factores a nivel forófito que permitirían explicar mejor las diferencias en la comunidad líquénica que albergan y aportan al ecosistema, como la rugosidad, la humedad o el grado de desprendimiento de la corteza,

- Ante la exploración en la temática y los alcances de la investigación, frente a una evaluación de la relación con el microclima en un gradiente dentro del bosque, se recomienda complementar el estudio con evaluaciones de cobertura, pues teóricamente es reportado como un factor que puede mostrar mejor el efecto borde.

- En estudios más especializados, se recomienda la evaluación de formas de crecimiento que tomen en cuentas caracteres anatómicos aún más particulares dentro de los biotipos generales.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguirre, J. y Chaparro, M. (2002). *Hongos liquenizados*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, Editorial El Malpensante.
- Ames, F.; Quispe, H.; Zuñiga, D.; Segovia, M. y Kessler, M. (2019). *Bosques de Polylepis: Biodiversidad en la región central del Perú*. Lima: Universidad Continental.
- Amo de Paz, G. y Brugaz, A. (2009). *Líquenes epifíticos del hayedo de Montejo de la Sierra Madrid*. Madrid: Editorial Complutense.
- Aparicio, J. y Ocampo M. (2017). «Informe técnico: relevamiento herpetológico en los bosques de *Polylepis* de las comunidades de Puina, Keara y Pongo». Informe interno producido para Critical Ecosystem Partnership Fund. Asociación Armonía.
- Aragón, G. (2010). *Guía para identificar macrolíquenes epífitos en el Centro de España*. Madrid: Departamento de Biología y Geología de la Universidad Rey Juan Carlos.
- Aragón, G.; Belinchón, R. e Izquierdo, P. (2008). «Valoración de la diversidad de líquenes epífitos en bosques de quercíneas mediante un nuevo índice líquénico (IDLE)». Aplicación a la Red Natura 2000. *Botanica Complutensis*, 32, 85-90.
- Aragón, G.; Martínez, I.; Izquierdo, P.; Belinchón, R. y Escudero, A. (2010). «Efecto del manejo forestal sobre la diversidad de líquenes epífitos en los bosques mediterráneos». *Ciencia Aplicada de la Vegetación*, 13, 183-194.
- Aragón, G.; Martínez, I.; Hurtado, P.; Benítez, Á.; Rodríguez, C. y Prieto, M. (2019). «Using growth forms to predict epiphytic lichen abundance in a wide variety of forest types». *Diversity*, 11(4): 51. <https://doi.org/10.3390/d11040051>
- Aucca, C. y Ferro, G. (2014). «Ecología, distribución, monitoreo y estado de conservación de los bosques del género *Polylepis* (Rosaceae) en Perú». Recuperado de: <http://infobosques.com/portal/wp-content/uploads/2016/10/Ecolog%C3%ADa-Distribuci%C3%B3n-Monitoreo-y-Estado-de-Conservaci%C3%B3n-de-los-Bosques-del-g%C3%A9nero-Polylepis-Rosaceae-en.pdf>
- Barnes B. V.; Zak, D. R.; Denton, S. R. y Spurr, S. H. (1998). *Forest ecology*. Nueva York (Estados Unidos): John Wiley. 774 p.
- Barreno, E. y Pérez, S. (2003). «Los líquenes y el medio. consejería de medio ambiente, ordenación del territorio e infraestructura del principado de Asturias», 1(1), 84-90.
- (2005). «Glosario para el estudio de líquenes. Consejería de medio ambiente, ordenación del territorio e infraestructuras del principado de Asturias», 599-602.
- Begon, M.; Harper, J. L. y Townsend, C. R. (1995). *Ecología, individuos, poblaciones y comunidades*. Ediciones Omega.
- Belinchón, R.; Martínez, I.; Escudero, A.; Aragón, G. y Valladares, F. (2007). «Efectos de borde en comunidades epífitas en un bosque Mediterráneo de *Quercus pirenaica*». *Journal of Vegetation Science*, 18, 81-90.
- Benítez, A. (2016). «Efectos de la alteración antrópica en bosques tropicales sobre la diversidad de organismos epífitos (líquenes y briófitos)». Tesis para obtener el grado de doctor. Universidad Rey Juan Carlos.



- Benítez, A.; Aragón, G.; González, Y. y Prieto, M. (2018). «Rasgos funcionales de líquenes epífitos en respuesta a la perturbación del bosque y como predictores de riqueza y diversidad total». *Ecological Indicators*, 86, 18-26.
- Boza, E.; Quispe-Melgar, H. R. y Kessler, M. (2019). «Reevaluación taxonómica del complejo *Polylepis sericea* (Rosaceae), con descripción de una nueva especie». *Systematic Botany*, 44(2) 324-334.
- Cabrera, S. y Giacobone, G. (2008). «Calidad de aire en la ciudad de Buenos Aires: monitoreo de líquenes como bioindicadores de contaminación». Agencia de Protección Ambiental Ministerio de Ambiente y Espacio Público. Argentina.
- Cáceres, M. S.; Lücking, R. y Rambold, G. (2007). «Phorophyte specificity and environmental parameters versus stochasticity as determinants for species composition of corticolous crustose lichen communities in the Atlantic rain forest of northeastern Brazil. Mycol». *Prog.* 10: 190-210.
- Calderón, M. y Lozada V. (2010). «Determinación de biomasa y contenido de carbono en plantaciones forestales de *Polylepis incana* y *Polylepis reticulata*». Tesis para obtener el título de ingeniero ambiental. Escuela Politécnica Nacional.
- Calviño-Cancela, M.; Neumann, M.; López de Silanes, M. E. (2020). «Contrasting patterns of lichen abundance and diversity in *Eucalyptus globulus* and *Pinus pinaster* plantations with tree age». *Forest Ecology and Management*. 462: 117994
- Campos, M.; Lücking, R.; Pérez, R.; González, R.; Sánchez, N.; Peña, A.; Carriosa, A.; Zambrano, A.; Ryan, D. y Nash, T. (2014). «Biodiversidad de líquenes en México». *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85, 82-99.
- Carreño-Rocabado, G.; Peña-Claros, M.; Bongers, F.; Díaz, S.; Quétiér, F.; Chuvina, J. y Poorter, L. (2016). «Efectos de intensificación del uso de la tierra en propiedades funcionales en comunidades de plantas tropicales». *Ecological Applications*, 26 (1), 174-189.
- Carvalho, J. C.; Cardoso, P. y Gomes, P. (2012). «Determining the relative roles of species replacement and species richness differences in generating beta-diversity patterns». *Global Ecology and Biogeography*, 21, 760-771.
- Carvalho, J. C.; Cardoso, P.; Borges, P. A. V.; Schmera, D. y Podani, J. (2013). «Measuring fractions of beta diversity and their relationships to nestedness: a theoretical and empirical comparison of novel approaches». *Oikos*, 122, 825-834.
- Congreso Constituyente Democrático del Perú (1993). *Constitución Política del Perú*. Lima: Comisión de Constitución y de Reglamento.
- Congreso de la República del Perú (1997). Ley 26834, Ley de Áreas Naturales Protegidas. Lima: Ministerio de Agricultura.
- (2011). Ley 29763, Ley Forestal y de Fauna Silvestre. Lima: Ministerio de Agricultura.
- Correa, I. (2005). «Variables regionales y la condición ecológica de ríos en la cuenca alta del río Chama». Tesis para obtener el título de ingeniero en manejo de cuencas hidrográficas en la Universidad de Los Andes.
- Cruz, D. (2015). «Establecimiento y evaluación de parcelas permanentes en plantaciones protectivas de yagual (*Polylepis racemosa*) en la zona de Angochagua». Tesis para obtener el título de ingeniero forestal en la Universidad Técnica del Norte.



- Cuyckens, G. A. E.; Christie, D. A.; Domic, A. I.; Malizia, L. R. y Renison, D. (2016). «El cambio climático y la distribución y conservación de los bosques de mayor elevación del mundo en el Altiplano Sudamericano». *Global and Planetary Change*, 137: 79-87.
- Cuyckens, G. A. E. y Renison, D. (2018). «Ecología y conservación de los bosques montanos de *Polylepis*. Una introducción al número especial». *Ecología Austral*, 28: 157-162.
- Ellis, C. J. (2012). «Diversidad de líquenes epífitos: Una especie, comunidad y revisión basada en rasgos». *Perspectivas en ecología vegetal, evolución y sistemática*. 14(2): 131-152.
- Fjeldså, J. y Kessler, M. (1996). «Conservando la diversidad biológica de los bosques de *Polylepis* de las tierras altas de Perú y Bolivia: una contribución al manejo sostenible de los recursos naturales en los Andes». Nordeco, Copenhagen.
- Fuentealba, B. y Sevillano, S. (2016). «Experiencias de rehabilitación comunitaria con queñual (*Polylepis* sp.) en el departamento de Áncash, Perú». En: Ceccon, E. y Pérez, D. (eds.). *Más allá de la ecología de la restauración: perspectivas sociales de América Latina y Caribe*.
- Gallo, A. L.; Robledo, G.; Landi, M. y Urcelay, C. (2015). «Evaluación de la restauración de la diversidad fúngica en un área reforestada con *Polylepis australis* (Rosaceae): un estudio de caso». *Ecología Austral*, 25(3), 192-203.
- Gálvez, G. (2013). «Evaluación de bosques de *Polylepis* y plan de restauración ecológica en la microcuenca de Cancha Cancha-Calca». Tesis para obtener el título de biólogo en la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.
- García-Soliz, V. H. (2017). «Informe técnico de la avifauna de los bosques de *Polylepis* en las localidades de Keara, Puina y Pongo del departamento de La Paz, Bolivia». Informe interno producido para Critical Ecosystem Partnership Fund. Asociación Armonía
- Gómez, M. I.; Palabral, A.; Domic, A.; Hurtado, R. y Liberman, M. (2014). «Cartilla para conocer y conservar nuestros bosques nativos andinos».
- González, G. (2015). «Caracterización de la infiltración en bosques plantados con *Polylepis* spp., de 11 y 29 años, Parque Nacional Huascarán, quebrada Quillcayhuanca, Huaraz, Áncash». Tesis para obtener el título de ingeniero forestal en la Universidad Nacional Agraria La Molina.
- González M. B.; Soria R. W.; Uzquiano M. y Callizaya V. (2018). «Plan de conservación y restauración de los bosques de *Polylepis* del Madidi y Cotapata». Asociación Armonía y Sernanp.
- Gradstein, S. R. y Sporn, S. G. (2010). «Cambio en el uso del suelo y diversidad de briofitas epífitas en los trópicos». *Nova Hedwigia*, 138, 311-323.
- Guevara, W. (2017). «Líquenes epífitos como bioindicadores de las alteraciones antropogénicas en el Parque Nacional Tingo, María, Huánuco». Tesis para obtener el título de ingeniero ambiental en la Universidad Nacional Agraria de la Selva.
- Hedenås, H. y Ericson, L. (2000). «Macrolíquenes epífitos como indicadores de conservación: secuencia sucesional en rodales de *Populus tremula*». *Biological Conservation*, 93: 43-53.

- Herrera, K. P. y Montaña, C. R. (2016). «Efecto borde en la distribución de líquenes y el contenido de clorofilas en fragmentos de *Polylepis quadrijuga* (Rosaceae) en el páramo de La Rusia (Boyacá, Colombia)». *Revista de Biología Tropical*, 64(4), 1683-1697.
- Holz, I. (2003). «Diversity and ecology bryophytes and macrolichens in primary and secondary montane Quercus forests, cordillera de Talamanca, Costa Rica». Tesis doctoral de la Universidad de Gotinga.
- Holz, I. y Gradstein, S. R. (2005). «Epífitas criptogámicas en bosques primarios y en recuperación de bosques de encino de montaña alta de Costa Rica: riqueza de especies, composición comunitaria y ecología». *Plant Ecology*, 178, 89-109.
- IUCN (2018). «The IUCN Red List of Threatened Species». Versión, 2018-2. [www.iucnredlist.org](http://www.iucnredlist.org).
- Jentsch, A.; Beierkuhnlein, C. y White, P. S. (2002). «Scale, the dynamic stability of forest ecosystems and the persistence of biodiversity». *Silva Fennica* 36(1).
- Johansson, P. (2008). «Consecuencias de la alteración de los líquenes epífitos en bosques boreales y cercanos a los boreales». *Biological Conservation*, 141: 1933-1944.
- Kantvilas, G. y Jarman, S. J. (2004). «Lichens and bryophytes on *Eucalyptus obliqua* in Tasmania: management implications in production forests». *Biological Conservation* 117: 359-373
- Kessler, M. (2006). «Bosques de *Polylepis*». *Botánica Económica de los Andes Centrales*, 11, 110-120. Recuperado de: [www.beisa.dk/Publications/BEISA Book pdfer/Capitulo 07.pdf](http://www.beisa.dk/Publications/BEISA%20Book%20pdf/Capitulo%2007.pdf).
- Kessler, M.; Kessler, P. J.; Gradstein, S. R.; Bach, K.; Schnull, M. y Pitopang, R. (2005). «Diversidad de árboles en bosques primarios y diferentes sistemas de uso de la tierra en Sulawesi Central, Indonesia». *Biodiversity and Conservation*, 14, 547-560.
- Király, I.; Nascimbene, J.; Tinya, F. y Ódor, P. (2013). «Factors influencing epiphytic bryophyte and lichen species richness at different spatial scales in managed temperate forests». *Biodivers. Conserv.* 22, 209-223.
- Koch, N. M.; Martins, S. M. D. A.; Lucheta, F. y Müller, S. C. (2013). «Diversidad funcional y patrones de ensamblaje de rasgos de líquenes como indicadores de etapas sucesivas en una selva tropical». *Ecological Indicators*, 34, 22-30.
- Kranner, I.; Beckett, R.; Hochman, A. y Nash III, T. H. (2008). «Tolerancia a la desecación en líquenes: una revisión». *The Bryologist*, 111(4), 576-593.
- Kricke, R. (2002). «Measuring bark pH». En: Nimis, P. L.; Scheidegger, C. y Wolseley, P. A. (eds.). *Monitoring with Lichens-Monitoring Lichens*. NATO Science Series (Series IV: Earth and Environmental Sciences), vol. 7. Springer, Dordrecht. [https://doi.org/10.1007/978-94-010-0423-7\\_30](https://doi.org/10.1007/978-94-010-0423-7_30)
- Kuusinen, M. (1996). «Epiphyte flora and diversity on basal trunks of six old-growth forest tree species in southern and middle boreal Finland». *The Lichenologist* 28: 443-463.
- Lavornia, J. M. (2014). «Las comunidades líquénicas de las sierras de Tandil (Buenos Aires) como bioindicadores de contaminación atmosférica». Tesis para obtener el grado de doctor en Ciencias Naturales en la Universidad Nacional de la Plata.

- Li, S.; Liu, W. Y. y Li, D. W. (2013). «Líquenes epífitos de Bole como indicadores potenciales de cambio ambiental en ecosistemas forestales subtropicales en el suroeste de China». *Ecological Indicators*, 29, 93-104.
- López, M. (2017). «Restauración en bosques andinos: evolución y retos en cuatro países de América del Sur». <https://es.mongabay.com/2017/09/restauracion-bosques-andinos-peru-colombia-ecuador-bolivia/>
- Mamani, J. (2012). «Liquenobiota epífita del bosque nublado, Reserva de Biósfera del Manu Kosñipata, Cusco». Tesis para obtener el título de biólogo en la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco.
- Marcano, V. (1994). «Introducción al estudio de líquenes y su clasificación». Fundación para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología del Estado de Mérida. Venezuela.
- Medina, N. G.; Albertos, B.; Lara, F.; Mazimpaka, V.; Garilleti, R.; Draper, D. y Hortal, J. (2014). «Riqueza de especies de briófitas epífitas: conductores a través de escalas en el borde del Mediterráneo». *Ecography*, 37, 80-93.
- Mendoza, W. y Cano, A. (2011). «Diversidad del género *Polylepis* (Rosaceae, Sanguisorbeae) en los Andes peruanos». *Revista Peruana de Biología*, 18, 197-200.
- Mežaka, A.; Brumelis, G. y Piterans, A. (2012). «Factores de escala de árboles y rodales que afectan la riqueza y composición de briófitas y líquenes epífitos en hábitats clave de bosques caducifolios». *Biodiversity and Conservation*, 21(12), 3221-3241.
- Ministerio del Ambiente (Minam) (2015). «Mapa nacional de cobertura vegetal: memoria descriptiva». Ministerio del Ambiente, Dirección General de Evaluación, Valoración y Financiamiento del Patrimonio Natural.
- (2016). «La conservación de bosques en el Perú (2011-2016). Conservando los bosques en un contexto de cambio climático como aporte al crecimiento verde». Ministerio del Ambiente, Programa Nacional de Conservación de Bosques para la Mitigación del Cambio Climático.
- (2019). «Mapa Nacional de Ecosistemas del Perú: memoria descriptiva». Ministerio del Ambiente, Dirección General de Ordenamiento Territorial Ambiental.
- Mollocondo, M. y Aguilar, L. (2019). «Captura de CO<sub>2</sub> en plantaciones forestales de *Polylepis sp.*, *Cupressus spp.* y *Eucalyptus globulus*, para mitigar el cambio climático en el centro de producción San Juan de Potojani, Puno». Tesis para obtener el título de ingeniero ambiental en la Universidad Peruana Unión.
- Moreno, E.; Sánchez, A. y Hernández, J. (2007). «Guía ilustrada de hongos liquenizados de Venezuela». Caracas: Departamento de Publicaciones de la Fundación Instituto Botánico de Venezuela.
- Nöske, N. M.; Hilt, N.; Werner, F. A.; Brehm, G.; Fiedler, K.; Sipman, H. J. M. y Gradstein, S. R. (2008). «Efectos de la perturbación sobre la diversidad de epífitas y polillas en un bosque montano en Ecuador». *Basic and Applied Ecology*, 9, 4-12.
- Pinho, P.; Bergamini, A.; Carvalho, P.; Branquinho, C.; Stofer, S.; Scheidegger, C. y Maguas, C. (2012). «Lichen functional groups as ecological indicators of the effects of land-use in Mediterranean ecosystems». *Ecological Indicators*, 15(1), 36-42.

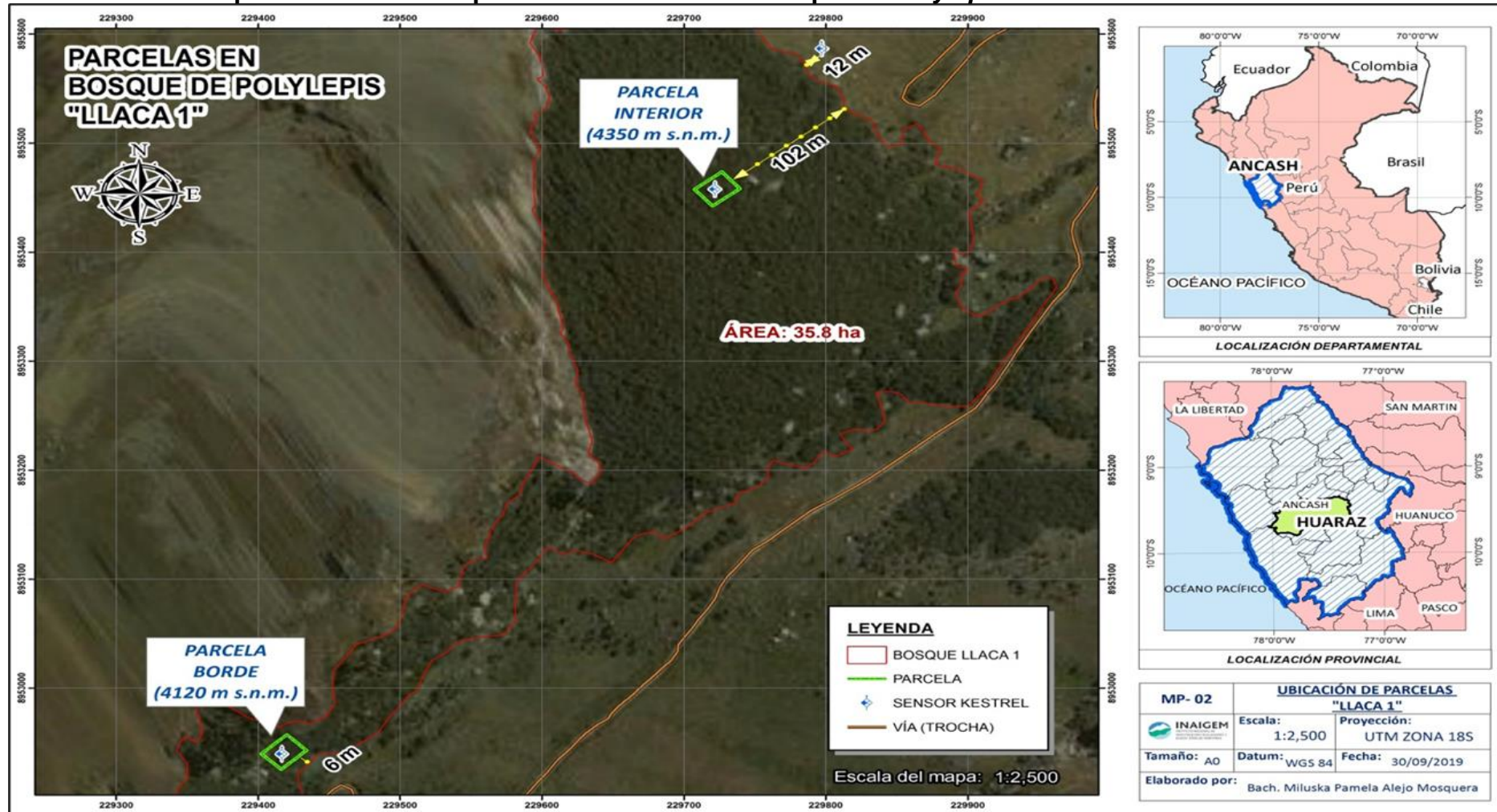
- Prevedello, J. A. y Vieira, M. V. (2010). «¿Importa el tipo de matriz? Una revisión cuantitativa de la evidencia». *Biodiversity and Conservation*, 19: 1205-1223.
- Ramírez, A. (2020). «Listado de especies de líquenes 2012-2020»: <https://liquenesperu.com/proyecto-l%C3%ADques-per%C3%BA>
- Ramírez, N. A. (2009). «Evaluación de las comunidades liquénicas en dos bosques con diferente historia de uso, de la Reserva Biológica Encenillo, Colombia». Tesis para obtener el título de biólogo en la Pontificia Universidad Javeriana.
- Ramírez, M.; León, N. y Lücking, R. (2016). «Uso de biotipos de líquenes como bioindicadores de perturbación en fragmentos de bosque altoandino (Reserva Biológica Encenillo, Colombia)». *Caldasia*, 38(1), 31-52. <https://dx.doi.org/10.15446/caldasia.v38n1.57821>
- Renison, D.; Cuyckens, G. A. E.; Pacheco, S.; Guzmán, G. F.; Grau, R. H.; Marcora, P.; Robledo, G.; Cingolani, A. M.; Domínguez, J.; Landi, M.; Bellis, L. y Hensen, I. (2013). «Distribución y estado de conservación de las poblaciones de árboles y arbustos del género *Polylepis* (Rosaceae) en las montañas de Argentina». *Ecología Austral*, 23(1), 27-36.
- Renison, D.; Morales, L.; Cuyckens, G. A. E.; Sevillano, C. S. y Cabrera Amaya, D. M. (2018). «Ecología y conservación de los bosques de *Polylepis*: ¿qué sabemos y qué ignoramos?». *Ecología Austral*, 28(1), 163-174. <https://doi.org/10.25260/EA.18.28.1.1.522>.
- Reyes (2019). «Determinación de la capacidad de interceptación del agua de niebla, y la cantidad aportada al suelo, por plantaciones forestales de *Polylepis racemosa* Ruiz y Pavón, en la comuna Zuleta, provincia de Imbabura». Tesis para obtener el título de ingeniero forestal en la Universidad Técnica del Norte.
- Rivas-Plata, E.; Lücking, R. y Lumbsch, H. T. (2008). «When family matters: an analysis of Thelotremaaceae (Lichenized Ascomycota: Ostropales) as bioindicators of ecological continuity in tropical forests». *Biodivers. Conserv.* 17: 1319-1351.
- Rosabal, D.; Burgaz, A. R. y Reyes, O. J. (2013). «Preferencias de sustrato y especificidad de forófitos de líquenes cortícolas en cinco especies arbóreas de la selva montana de Gran Piedra, Santiago de Cuba». *The Bryologist*, 116(2), 113-121.
- San, M. y Marín, M. (2003). «Líquenes». Obtenido de Universidad de Granada-Microbiología: [www.ugr.es/~cjl/liquenes.pdf](http://www.ugr.es/~cjl/liquenes.pdf)
- Segovia-Salcedo, M. C. (2011). «Los riesgos de la reforestación de los páramos con especies exóticas: el caso de *Polylepis racemosa*». *Propuestas Andinas* 4. Condesan.
- Segovia-Salcedo, M. C.; Domic, A.; Boza, T. y Kessler, M. (2018). «Situación taxonómica de las especies del género *Polylepis*. Implicancias para los estudios ecológicos, la conservación y la restauración de sus bosques». *Ecología Austral*, 28, 188-201.
- Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado (Sernanp)-Parque Nacional Huascarán (2011). «Plan maestro 2010-2015». Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado: Ministerio del Ambiente.
- (2017). «Actualización del plan maestro del PNH periodo 2017-2021». Lima: Ministerio del Ambiente.



- Sevillano-Ríos, C. S.; Rodewal D, A. y Morales, L. (2018). «Ecología y conservación de las aves asociadas con *Polylepis*: ¿qué sabemos de esta comunidad cada vez más vulnerable?». *Ecología Austral*, 28, 216-228.
- Simijaca, D.; Moncada, B. y Lücking, R. (2018). «Bosque de roble o plantación de coníferas, ¿qué prefieren los líquenes epífitos?». *Colombia Forestal*, 21(2), 123-141.
- Simpson, B. B. (1979). «Una revisión del género *Polylepis* (Rosaceae: Sanguisorbeae)». *Smithsonian Contributions to Botany*, 43, 1-62.
- Sipman, H. J. y Harris, R. C. (1989). «Lichens». En: H. Lieth y M. J. A. Werger (eds.). *Tropical rain forest ecosystems*. pp. 303-309.
- Snäll, T.; Ehrlén, J. y Rydin, H. (2005). «Dinámica de extinción de colonización de una metapoblación de epífitas en un paisaje dinámico». *Ecology*, 86: 106-115.
- Soto, E.; Lücking, R. y Bolaños, A. (2012). «Especificidad de forófito y preferencias microambientales de los líquenes cortícolas en cinco forófitos del bosque premontano de finca Zíngara, Cali, Colombia». *Revista de Biología Tropical*, 60(2), 843-856.
- Stone, D. (2017). «Species fact sheet». [www.fs.fed.us/r6/sfpnw/issssp/documents5/sfs-li-bunodophoron-melanocarpum-2017-06.doc](http://www.fs.fed.us/r6/sfpnw/issssp/documents5/sfs-li-bunodophoron-melanocarpum-2017-06.doc)
- Toivonen, J.; Gonzales-Inca, C.; Bader, M.; Ruokolainen, K. y Kessler, M. (2018). «Cambios de elevación en la posición topográfica de los bosques de *Polylepis* en los Andes del sur del Perú». *Forests*, 9: 1-10. <https://doi.org/10.3390/f9010007>.
- Valencia, B. G.; Bush, M. B.; Coe, A. L.; Orren, E. y Gosling, W. D. (2018). «La dinámica de los bosques de *Polylepis* durante los últimos 20,000 años». *Revista de Biogeografía*. 45(5), 1019-1030. <https://doi.org/10.1111/jbi.13209>.
- Vargas, A. (2012). «Calidad atmosférica del Parque Nacional Cerros de Amotape (Zona Sur) mediante el uso de líquenes epífitos». Tesis para obtener el título de biólogo en la Universidad Nacional de Piura.
- Young, S. S.; Carpenter, C. y Wang, Z. J. (1992). «A study of the structure and composition of an old growth and secondary broad-leaved forest in the Ailao Mountains of Yunnan, China». *Mountain Research and Development*, 12(3), 269-284.
- Zenteno F. S.; Villalba Vargas, D. y Moya Huanca, A. L. (2017). «Informe técnico final 'Bosques de *Polylepis* del sector de Pongo (Parque Cotapata), Puina y Keara (PN ANMI Madidi)'». Informe técnico presentado en el marco del proyecto *Polylepis* de Asociación Armonía, financiado por Critical Ecosystem Partnership Fund.
- Zutta, B. R.; Rundel, P. W.; Saatchi, S.; Casana, J. D.; Gauthier, P.; Soto, A.; Velazco, Y. y Buermann, W. (2012). «Prediciendo la distribución de *Polylepis*: bosques andinos vulnerables y cada vez más importantes». *Revista Peruana de Biología*, 19(2), 205-212.
- Zutta, B. R. y Rundel, P. W. (2017). «Modeled Shifts in *Polylepis* Species Ranges in the Andes from the Last Glacial Maximum to the Present», 1-16. <https://doi.org/10.3390/f8070232>

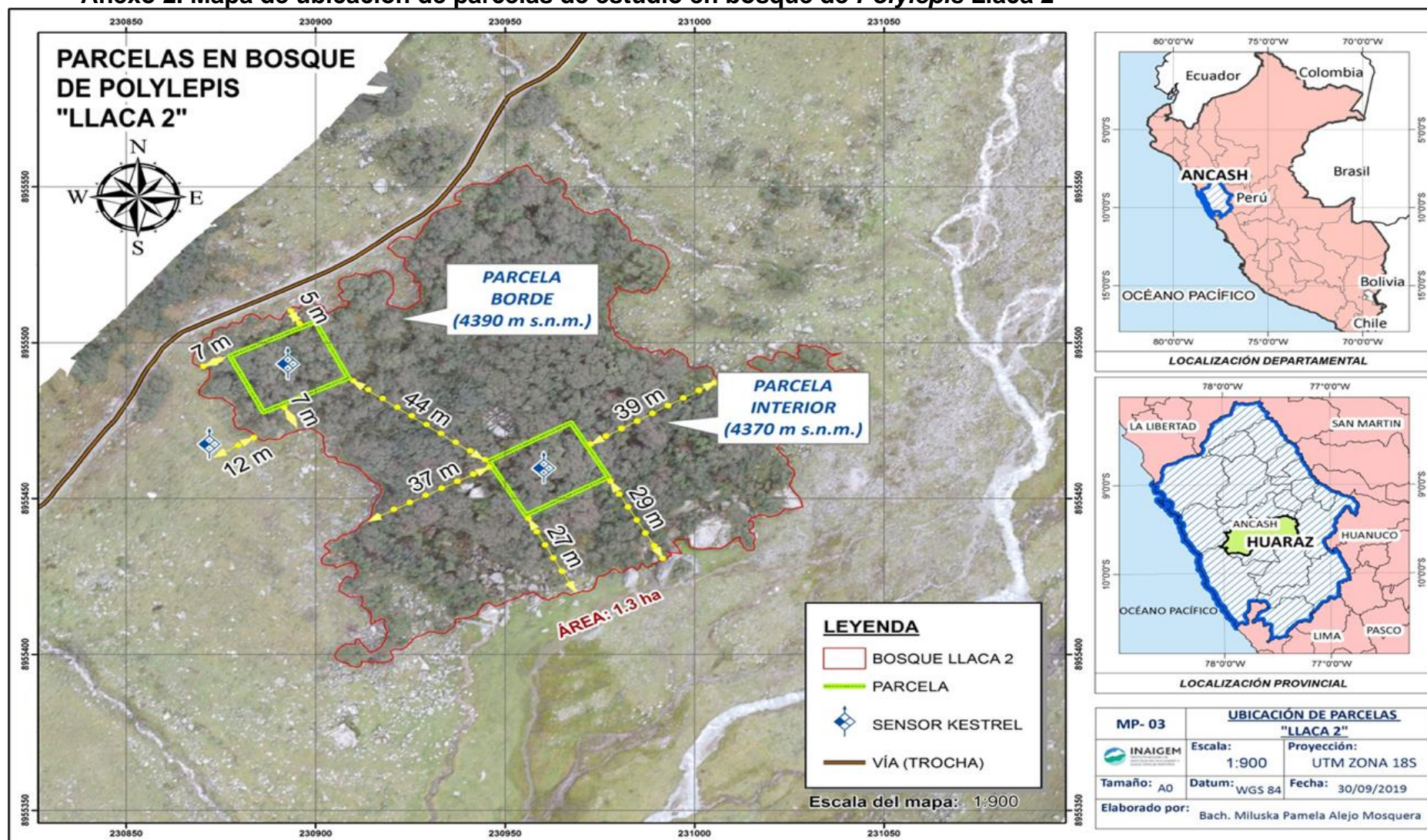
## ANEXOS

Anexo 1. Mapa de ubicación de parcelas de estudio en bosque de *Polylepis* Llaca 1



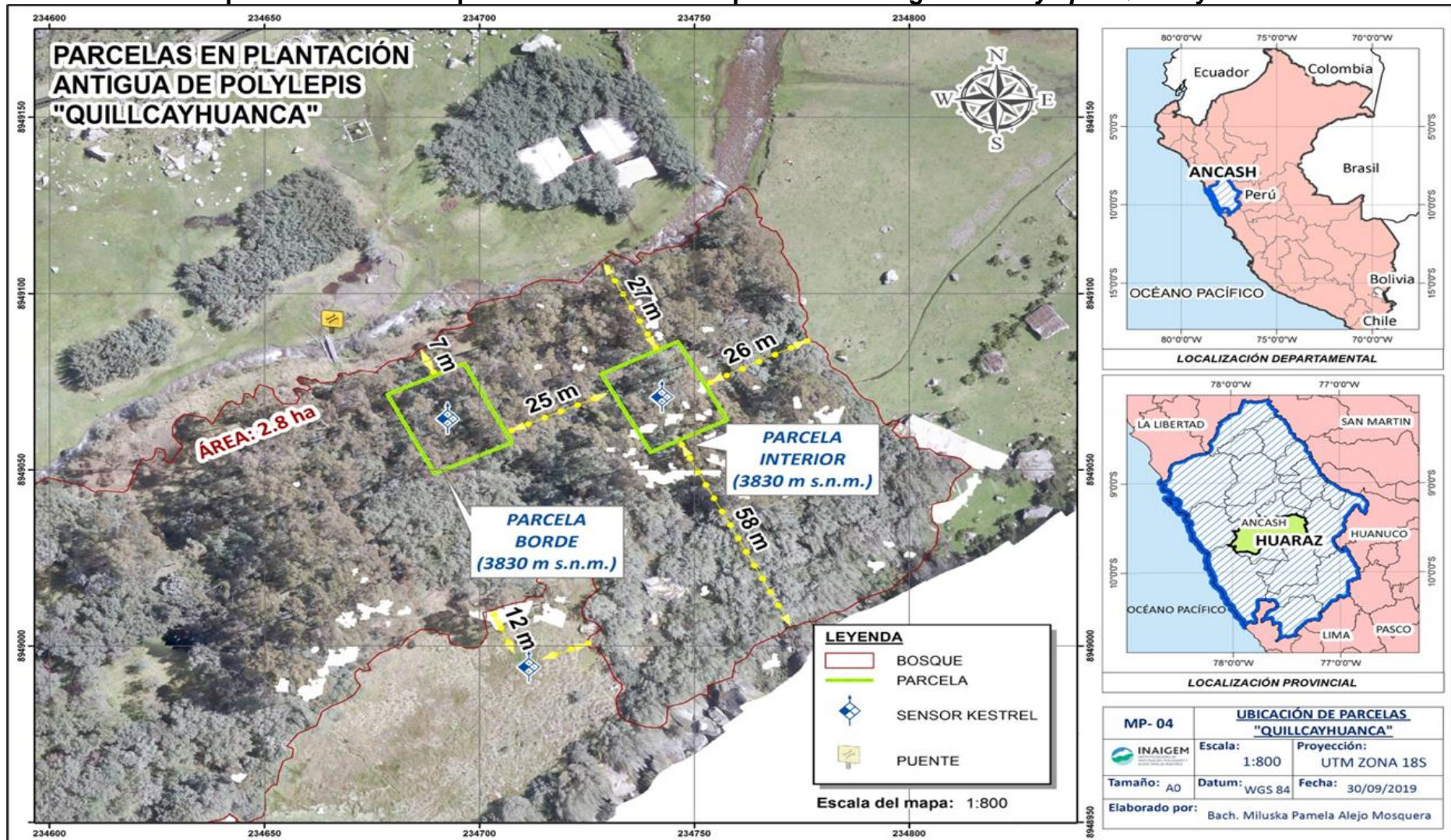


## Anexo 2. Mapa de ubicación de parcelas de estudio en bosque de *Polylepis* Llaca 2





Anexo 3. Mapa de ubicación de parcelas de estudio en plantación antigua de *Polylepis* Quillcayhuanca



## Anexo 4. Registro de morfoespecies

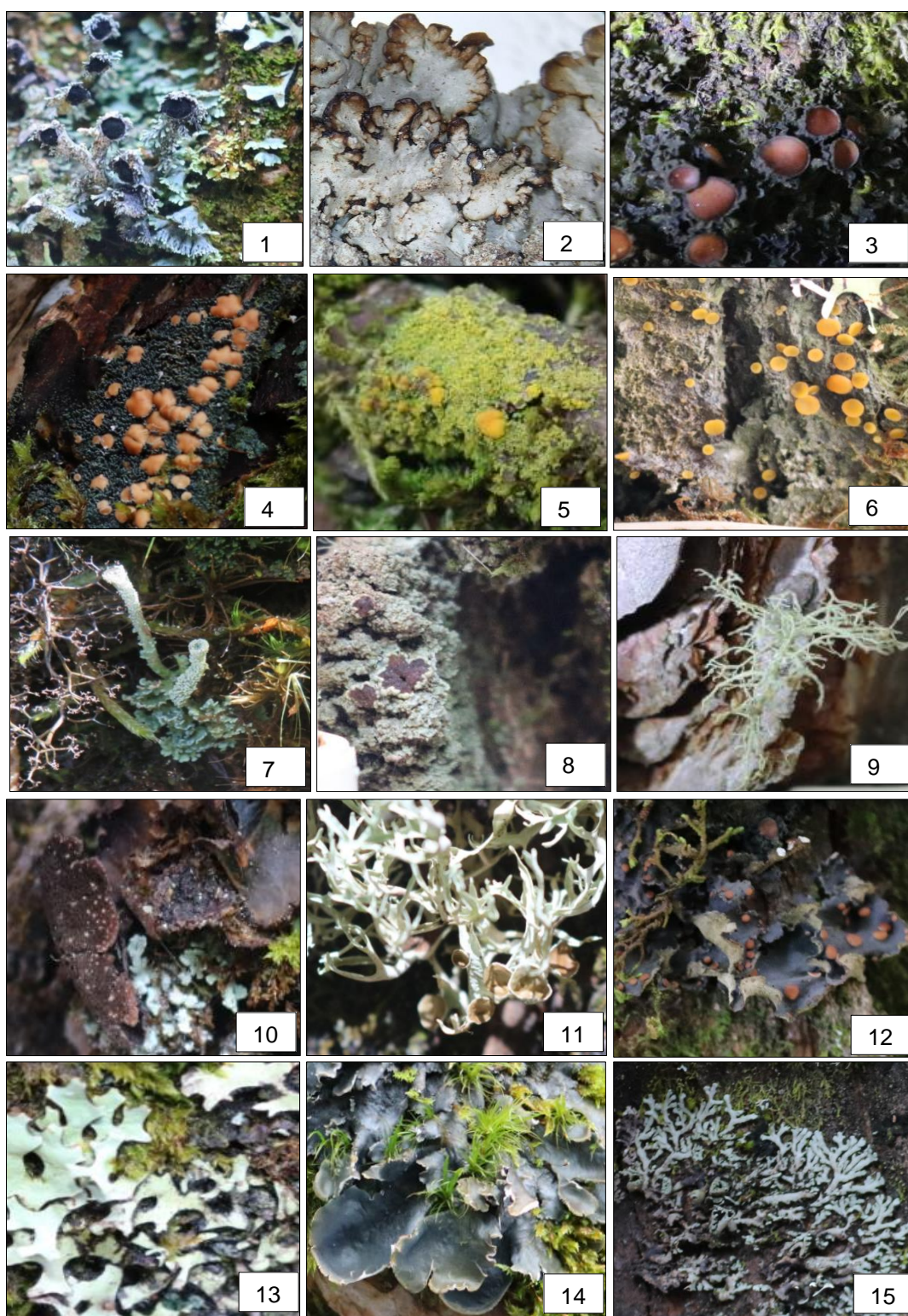
Número	Familia	Género	Especie	Formas de crecimiento	Sustrato	Código referencial	Llaca 1				Llaca 2				Quillcayhuanca			
							Parcela Borde		Parcela Interior		Parcela Borde		Parcela Interior		Parcela Borde		Parcela Interior	
							Poly	Gyno	Poly	Gyno	Poly	Gyno	Poly	Gyno	Poly	Euca	Poly	Euca
1	Sphaerophoraceae Fr.	Bunodophoron Massal.	A. <i>Bunodophoron melanocarpum</i> (Sw.) Wedin	Fruticoso	Epífito	Bun_mel	X		X	X								
2	Coenogoniaceae (Fr.) Stizenb.	Coenogonium Ehrenb.	<i>Coenogonium luteum</i> (Dicks.) Kalb & Lücking	Crustoso	Epífito	Coe_lut	X	X		X			X	X	X	X	X	X
3	Candelariaceae Hakul.	Candelariella Müll. Arg.	<i>Candelariella deppeanae</i> M. Westb.	Crustoso	Epífito	Can_dep									X	X	X	X
4	Cladoniaceae Zenker	Lepraria Ach.	-	Crustoso	Epífito	Lep_inc			X	X	X	X	X	X				
5	Cladoniaceae Zenker	Stereocaulon Hoffm.	-	Dimórfico	Epífito	Ste_sp1								X				
6	Cladoniaceae Zenker	Cladonia P. Browne; nom. cons.	-	Dimórfico	Epífito	Cla_sp1	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	
7	Cladoniaceae Zenker	Cladonia P. Browne; nom. cons.	-	Dimórfico	Epífito	Cla_sp2		X	X	X	X	X		X				
8	Verrucariaceae	Normandina Nyl.	<i>Normandina pulchella</i> (Borrer) Nyl.	Escuamuloso	Epífito	Nor_pul	X		X						X	X	X	
9	Pannariaceae Tuck.	Fuscopannaria P. M. Jørg.	<i>Fuscopannaria coralloidea</i> P. M. Jørg.	Escuamuloso	Epífito	Fus_cor	X		X									
10	Pannariaceae Tuck.	Fuscopannaria P. M. Jørg.	-	Escuamuloso	Epífito	Fus_sp1						X						
11	Collemataceae Zenker	Leptogium (Ach.) Gray	<i>Leptogium phyllocarpum</i> (Pers.) Mont.	Gelatinoso	Epífito	Lep_phy	X									X		X
12	Teloschistaceae Zahlbr.	Caloplaca Th. Fr.	<i>Caloplaca ferruginea</i> (Huds.) Th. Fr.	Crustoso	Epífito	Cal_fer										X		
13	Collemataceae Zenker	Collema F. H. Wigg.; nom. cons.	-	Gelatinoso	Epífito	Col_sp1												X
14	Collemataceae Zenker	-	-	Gelatinoso	Epífito	Col_sp2	X		X									
15	Collemataceae Zenker	-	-	Gelatinoso	Epífito	Col_sp3							X					
16	Collemataceae Zenker	Collema F. H. Wigg.; nom. cons.	<i>Collema glaucophthalmum</i> Nyl.	Gelatinoso	Epífito	Col_sp4										X		
17	Chrysothricaceae Zahlbr.	Chrysothrix Mont.	<i>Chrysothrix candelaris</i> (L.) J. R. Laundon	Crustoso	Epífito	Chr_can	X		X		X	X	X	X	X	X	X	
18	Parmeliaceae Eschw.	Anzia Stizenb.	-	Folioso	Epífito	Anz_sp1	X	X	X	X	X		X	X		X	X	X

19	Physciaceae Zahlbr.	Physcia (Schreb.) Michx.	<i>Physcia tribacia</i> (Ach.) Nyl.	Folioso	Epífito	Phy_tri										X		X	
20	Parmeliaceae Eschw.	Usnea Dill. ex Adans.	-	Fruticoso	Epífito	Usn_sp1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
21	Parmeliaceae Eschw.	Usnea Dill. ex Adans.	-	Fruticoso	Epífito	Usn_sp2											X		X
22	Parmeliaceae Eschw.	Bryoria Brodo & D. Hawksw.	-	Fruticoso	Epífito	Bry_sp1			X	X	X	X	X	X	X				
23	Collemataceae Zenker	Leptogium (Ach.) Gray	-	Gelatinoso	Epífito	Lep_sp1													X
24	Peltigeraceae Dumort.	Peltigera Willd.	-	Folioso	Epífito	Pel_sp1	X		X	X	X								
25	Peltigeraceae Dumort.	Peltigera Willd.	-	Folioso	Epífito	Sti_sp1	X	X	X				X				X		
26	Lobariaceae Chevall.	Sticta (Schreb.) Ach.	<i>Sticta fuliginosa</i> (Dicks.) Ach.	Folioso	Epífito	Sti_sp2		X	X									X	
27	Pannariaceae Tuck.	-	-	Folioso	Epífito	Eri_sp1											X	X	X
28	Caliciaceae Chevall.	Buellia De Not.; nom. cons.	-	Crustoso	Epífito	Bue_sp1	X		X		X		X	X	X	X	X	X	X
29	Physciaceae Zahlbr.	Leucodermia Kalb	<i>Leucodermia leucomelos</i> (L.) Kalb	Fruticoso	Epífito	Leu_leu											X		X
30	Physciaceae Zahlbr.	Heterodermia Trevis.	<i>Heterodermia hypoleuca</i> (Mühl.) Trevis.	Folioso	Epífito	Het_hyp											X		X
31	Physciaceae Zahlbr.	Heterodermia Trevis.	-	Folioso	Epífito	Het_sp1										X	X	X	
32	Parmeliaceae Eschw.	<i>Hypogymnia</i> (Nyl.) Nyl.	-	Folioso	Epífito	Hyg_sp1						X	X						
33	Parmeliaceae Eschw.	Hypotrachyna (Vain.) Hale	-	Folioso	Epífito	Hyt_sp1	X		X				X			X		X	
34	Parmeliaceae Eschw.	Everniastrium Hale ex Sipman	-	Fruticoso	Epífito	Evs_sp1										X		X	X
35	Parmeliaceae Eschw.	-	-	Folioso	Epífito	Par_sp1										X	X	X	X
36	Parmeliaceae Eschw.	-	-	Folioso	Epífito	Hyt_sp2		X	X	X	X	X	X	X	X				
37	Parmeliaceae Eschw.	Everniopsis Nyl.v	<i>Everniopsis trulla</i> (Ach.) Nyl.	Fruticoso	Epífito	Eve_tru													X
38	Parmeliaceae Eschw.	-	-	Fruticoso	Epífito	Par_sp2										X		X	X
39	Parmeliaceae Eschw.	Xanthoparmelia (Vain.) Hale	-	Folioso	Epífito	Xan_sp1												X	
40	Lecanoraceae Körb.	Lecanora Ach.	-	Crustoso	Epífito	Lec_sp1	X		X		X		X			X	X	X	X
41	Lecanoraceae Körb.	-	-	Crustoso	Epífito	Lec_sp2					X		X						
42	Ochrolechiaceae R. C. Harris ex	Ochrolechia A. Massal.	-	Crustoso	Epífito	Och_sp1			X		X		X			X	X		

	Lumbsch & I. Schmitt																	
43	S1	-	-	Crustoso	Epífito	Unk_sp1									X		X	
44	S2	-	-	Crustoso	Epífito	Unk_sp2			X		X		X			X		
45	S3	-	-	Crustoso	Epífito	Unk_sp3					X		X					
46	S4	-	-	Fruticoso	Epífito	Unk_sp4											X	



## Anexo 5. Muestras de morfoespecies identificadas



1. S: *Bunodophoron melanocarpum* (Sw.) Wedin.
2. G: *Hypogymnia* (Nyl.) Nyl.
3. S: *Leptogium phyllocaepum* (Pers.) Mont.
4. S: *Fuscopannaria coralloidea* P. M. Jørg.
5. S: *Candelariella deppeanae* M. Westb.

6. S: *Coenogonium luteum* (Dicks.) Kalb y Lücking.
7. G: *Cladonia* P. Browne; nom. cons.
8. G: *Fuscopannaria* P. M. Jørg.
9. G: *Usnea* Dill. ex Adans.
10. S: *Sticta fuliginosa* (Dicks.) Ach.
11. S: *Everniopsis trulla* (Ach.) Nyl.
12. G: *Leptogium* (Ach.) Gray.
13. G: *Anzia* Stizenb.
14. G: *Peltigera* Willd.
15. S: *Heterodermia hypoleuca* (Mühl.) Trevis.

## Anexo 6. Resumen de datos obtenidos en «EstimateS» para el cálculo de la completitud del muestreo

Samples	Llaca 1					Llaca 2					Quillcayhuanca				
	S(est)	Uniques Mean	Duplicates Mean	Chao 2 Mean	Bootstrap Mean	S(est)	Uniques Mean	Duplicates Mean	Chao 2 Mean	Bootstrap Mean	S(est)	Uniques Mean	Duplicates Mean	Chao 2 Mean	Bootstrap Mean
1	4.37	4.45	0	4.45	4.45	5.2	5.07	0	5.07	5.07	6.13	6.2	0	6.2	6.2
2	7.63	6.46	1.28	13.61	9.36	8.47	6.46	1.88	13.11	9.96	9.93	7.61	2.19	15.33	11.7
3	10.13	7.39	2.4	16.32	12.49	10.71	7.16	2.73	16.23	12.94	12.79	8.35	2.86	19.97	15.07
4	12.08	7.6	3.27	18.05	14.53	12.34	6.86	3.43	16.98	14.81	15.06	8.94	3.49	23.03	17.99
5	13.63	7.66	3.94	19.46	16.35	13.59	6.6	3.72	18.16	16.18	16.95	9.32	3.92	25.55	20.27
6	14.88	7.09	4.55	19.53	17.47	14.56	6.33	3.86	18.76	17.29	18.55	9.42	4.22	27.4	21.95
7	15.89	7.01	4.76	20.55	18.82	15.36	5.84	3.84	19.38	17.97	19.93	9.49	4.62	28.22	23.59
8	16.73	6.35	5.17	20.06	19.39	16.03	5.73	3.41	20.49	18.67	21.15	9.39	4.68	28.87	24.71
9	17.43	6.06	5.07	20.34	19.98	16.59	5.42	3.35	20.33	19.11	22.23	9.29	4.96	29.14	25.77
10	18.01	5.61	5.14	20.47	20.51	17.09	5.37	2.91	21.36	19.55	23.19	9.39	5.11	30.18	27.02
11	18.51	5.22	5.02	20.53	20.84	17.53	5.24	2.94	21.82	20.04	24.06	9.53	5.08	31.62	28.11
12	18.94	4.84	4.82	20.72	21.16	17.93	5.26	2.73	22.48	20.48	24.84	9.46	5.32	32.02	29.02
13	19.31	4.7	4.43	21.47	21.57	18.29	5.24	2.61	22.46	20.84	25.56	9.2	5.28	32.4	29.52
14	19.63	4.61	4.18	21.87	21.92	18.63	5.11	2.54	22.94	21.12	26.21	9.01	5.37	32.73	30.06
15	19.92	4.4	4.01	22.24	22.17	18.94	5.01	2.5	23.22	21.36	26.81	8.85	5.27	33.35	30.54
16	20.18	4.21	3.89	22.46	22.41	19.24	5.01	2.48	23.78	21.7	27.37	8.93	5.34	33.9	31.37
17	20.41	3.92	3.75	22.75	22.55	19.52	5	2.51	23.98	21.95	27.9	8.61	5.65	33.66	31.79
18	20.6	3.63	3.58	22.75	22.58	19.77	5	2.43	24.47	22.23	28.34	8.26	5.74	33.5	32.06
19	20.78	3.37	3.52	22.46	22.62	20.01	4.86	2.46	24.34	22.36	28.78	8.05	5.8	33.58	32.39
20	20.95	3.13	3.38	22.52	22.65	20.24	4.86	2.52	24.45	22.64	29.18	7.94	5.82	33.94	32.88
21	21.1	3.01	3.08	22.45	22.66	20.46	4.68	2.72	23.98	22.75	29.56	7.78	5.85	34.08	33.2
22	21.24	2.87	2.97	22.49	22.7	20.67	4.63	2.86	23.81	22.97	29.91	7.51	5.93	34.13	33.42
23	21.37	2.75	2.88	22.33	22.77	20.87	4.54	2.92	23.59	23.09	30.24	7.39	5.85	34.14	33.65
24	21.49	2.68	2.87	22.46	22.85	21.06	4.51	3.02	23.73	23.27	30.55	7.54	5.8	34.66	34.2
25	21.59	2.51	2.87	22.28	22.88	21.24	4.5	3.03	23.72	23.44	30.83	7.38	5.69	34.75	34.32
26	21.69	2.46	2.9	22.38	22.96	21.41	4.4	3.14	23.63	23.51	31.1	7.04	6.09	34.47	34.57
27	21.78	2.4	2.95	22.38	23.09	21.57	4.29	3.38	23.44	23.64	31.35	6.7	6.44	34.24	34.78
28	21.86	2.21	3	22.31	23.12	21.72	4.29	3.51	23.47	23.82	31.58	6.56	6.48	34.15	34.95
29	21.93	2.14	3	22.3	23.19	21.87	4.15	3.71	23.28	23.86	31.8	6.29	6.74	33.96	35.06
30	22	2	3	22.24	23.21	22	4	4	23.16	23.97	32	6	7	33.81	35.21



## Anexo 7. datos resultantes de variables a nivel de forófito

Número	Código de campo	Especie de forófito	DAP	PH	Riqueza líquénica epífita	Código de campo	Especie de forófito	DAP	PH	Riqueza líquénica epífita	Código de campo	Especie de forófito	DAP	PH	Riqueza líquénica epífita
01	LL1-PB-2	<i>Polylepis weberbaueri</i>	77	5.0	4	LL2-PB-1	<i>Polylepis weberbaueri</i>	43	6.8	4	Q-PB-1	<i>Polylepis sericea</i>	34	5.7	7
02	LL1-PB-3	<i>Polylepis weberbaueri</i>	31	5.3	5	LL2-PB-2	<i>Polylepis weberbaueri</i>	39	5.5	4	Q-PB-2	<i>Polylepis sericea</i>	32	6.0	4
03	LL1-PB-4	<i>Polylepis weberbaueri</i>	47	5.3	4	LL2-PB-3	<i>Polylepis weberbaueri</i>	24	5.4	5	Q-PB-4	<i>Polylepis sericea</i>	28	5.9	4
04	LL1-PB-5	<i>Polylepis weberbaueri</i>	39	5.9	4	LL2-PB-4	<i>Polylepis weberbaueri</i>	30	5.4	4	Q-PB-5	<i>Polylepis sericea</i>	29	5.7	4
05	LL1-PB-6	<i>Polylepis weberbaueri</i>	23	6.4	4	LL2-PB-5	<i>Polylepis weberbaueri</i>	29	5.6	3	Q-PB-6	<i>Polylepis sericea</i>	35	6.1	3
06	LL1-PB-8	<i>Polylepis weberbaueri</i>	30	6.0	6	LL2-PB-6	<i>Polylepis weberbaueri</i>	37	5.5	6	Q-PB-7	<i>Polylepis sericea</i>	33	5.8	4
07	LL1-PB-9	<i>Polylepis weberbaueri</i>	26	5.5	4	LL2-PB-8	<i>Polylepis weberbaueri</i>	24	5.5	2	Q-PB-8	<i>Polylepis sericea</i>	46	5.6	6
08	LL1-PB-10	<i>Polylepis weberbaueri</i>	24	6.2	4	LL2-PB-9	<i>Polylepis weberbaueri</i>	24	5.1	3	Q-PB-9	<i>Polylepis sericea</i>	34	6.1	3
09	LL1-PB-12	<i>Polylepis weberbaueri</i>	30	6.7	2	LL2-PB-11	<i>Polylepis weberbaueri</i>	48	6.3	7	Q-PB-10	<i>Polylepis sericea</i>	35	5.9	9
10	LL1-PB-13	<i>Polylepis weberbaueri</i>	20	5.9	1	LL2-PB-15	<i>Polylepis weberbaueri</i>	43	5.9	7	Q-PB-11	<i>Polylepis sericea</i>	29	5.3	6
11	LL1-PB-15	<i>Polylepis weberbaueri</i>	25	5.4	3	LL2-PI-3	<i>Polylepis weberbaueri</i>	15	5.4	9	Q-PI-1	<i>Polylepis sericea</i>	49	6.1	9
12	LL1-PI-1	<i>Polylepis weberbaueri</i>	27	5.2	4	LL2-PI-4	<i>Polylepis weberbaueri</i>	22	5.3	7	Q-PI-2	<i>Polylepis sericea</i>	48	6.1	3
13	LL1-PI-3	<i>Polylepis weberbaueri</i>	28	5.1	4	LL2-PI-6	<i>Polylepis weberbaueri</i>	70	5.6	11	Q-PI-3	<i>Polylepis sericea</i>	58	5.7	7
14	LL1-PI-4	<i>Polylepis weberbaueri</i>	38	5.0	6	LL2-PI-7	<i>Polylepis weberbaueri</i>	37	6.3	5	Q-PI-6	<i>Polylepis sericea</i>	42	5.8	5
15	LL1-PI-6	<i>Polylepis weberbaueri</i>	17	5.3	3	LL2-PI-9	<i>Polylepis weberbaueri</i>	34	5.1	7	Q-PI-8	<i>Polylepis sericea</i>	30	5.5	3
16	LL1-PI-7	<i>Polylepis weberbaueri</i>	28	4.9	6	LL2-PI-10	<i>Polylepis weberbaueri</i>	17	6.2	6	Q-PI-11	<i>Polylepis sericea</i>	29	6.1	8
17	LL1-PI-8	<i>Polylepis weberbaueri</i>	26	5.2	6	LL2-PI-12	<i>Polylepis weberbaueri</i>	52	5.0	5	Q-PI-12	<i>Polylepis sericea</i>	34	6.1	6
18	LL1-PI-10	<i>Polylepis weberbaueri</i>	48	6.0	7	LL2-PI-13	<i>Polylepis weberbaueri</i>	45	5.1	5	Q-PI-13	<i>Polylepis sericea</i>	30	5.9	6
19	LL1-PI-12	<i>Polylepis weberbaueri</i>	20	5.5	8	LL2-PI-14	<i>Polylepis weberbaueri</i>	49	5.5	8	Q-PI-14	<i>Polylepis sericea</i>	30	6.1	7
20	LL1-PI-14	<i>Polylepis weberbaueri</i>	26	5.5	7	LL2-PI-15	<i>Polylepis weberbaueri</i>	29	5.0	4	Q-PI-15	<i>Polylepis sericea</i>	22	6.1	6

21	LL1-PI-15	<i>Polylepis weberbaueri</i>	28	5.1	7	LL2-PB-7	<i>Gynoxys</i> sp.	25	4.7	3	Q-PB-3	<i>Eucalyptus</i> sp.	35	7.1	7
22	LL1-PB-1	<i>Gynoxys</i> sp.	31	4.9	5	LL2-PB-10	<i>Gynoxys</i> sp.	27	4.7	4	Q-PB-12	<i>Eucalyptus</i> sp.	32	7.0	5
23	LL1-PB-7	<i>Gynoxys</i> sp.	24	5.2	2	LL2-PB-12	<i>Gynoxys</i> sp.	26	5.1	5	Q-PB-13	<i>Eucalyptus</i> sp.	33	6.8	7
24	LL1-PB-11	<i>Gynoxys</i> sp.	31	4.7	2	LL2-PB-13	<i>Gynoxys</i> sp.	21	4.6	6	Q-PB-14	<i>Eucalyptus</i> sp.	35	7.1	8
25	LL1-PB-14	<i>Gynoxys</i> sp.	44	5.5	4	LL2-PB-14	<i>Gynoxys</i> sp.	20	4.7	5	Q-PB-15	<i>Eucalyptus</i> sp.	62	7.2	8
26	LL1-PI-2	<i>Gynoxys</i> sp.	27	4.8	3	LL2-PI-1	<i>Gynoxys</i> sp.	18	5.0	3	Q-PI-4	<i>Eucalyptus</i> sp.	28	6.6	7
27	LL1-PI-5	<i>Gynoxys</i> sp.	16	5.2	4	LL2-PI-2	<i>Gynoxys</i> sp.	16	5.6	4	Q-PI-5	<i>Eucalyptus</i> sp.	64	6.9	5
28	LL1-PI-9	<i>Gynoxys</i> sp.	17	4.9	3	LL2-PI-5	<i>Gynoxys</i> sp.	17	4.9	4	Q-PI-7	<i>Eucalyptus</i> sp.	31	6.8	7
29	LL1-PI-11	<i>Gynoxys</i> sp.	25	4.7	5	LL2-PI-8	<i>Gynoxys</i> sp.	16	5.5	3	Q-PI-9	<i>Eucalyptus</i> sp.	42	7.0	14
30	LL1-PI-13	<i>Gynoxys</i> sp.	26	5.4	4	LL2-PI-11	<i>Gynoxys</i> sp.	25	4.5	7	Q-PI-10	<i>Eucalyptus</i> sp.	36	7.0	6
*LL1: Bosque de <i>Polylepis</i> Llaca 1. *LL2: Bosque de <i>Polylepis</i> Llaca 1. *Q: Plantación antigua de <i>Polylepis</i> Quillcayhuanca. *PB: Parcela borde. *PI: Parcela interior.															



# Anexo 8. Datos resultantes de variables de microclima (\*promediado cada 10 minutos)

	Temperatura			Humedad relativa			Temperatura			Humedad relativa			Temperatura			Humedad relativa		
	LL1-PI	LL1-PB	LL1-EXT	LL1-PI	LL1-PB	LL1-EXT	LL2-PI	LL2-PB	LL2-EXT	LL2-PI	LL2-PB	LL2-EXT	Q-PI	Q-PB	Q-EXT	Q-PI	Q-PB	Q-EXT
Hora	(22/01/2020- 21/02/2020)						21/12/2019- 20/01/2020						11/07/2020- 10/08/2020					
00:00	4.2	5.1	4.0	98.9	99.2	97.9	3.6	3.5	3.4	96.4	96.7	95.5	1.9	1.5	0.0	73.5	77.1	83.9
00:10	4.2	5.1	4.0	99.0	99.0	97.6	3.6	3.5	3.3	96.4	96.9	95.6	1.8	1.4	0.1	73.7	77.6	83.2
00:20	4.2	5.0	4.0	99.0	99.1	97.7	3.5	3.4	3.3	97.0	97.4	96.2	1.7	1.3	-0.1	74.1	78.0	84.1
00:30	4.2	5.0	4.0	98.7	99.1	97.2	3.5	3.4	3.2	97.1	97.5	96.3	1.6	1.2	-0.3	75.0	78.5	85.2
00:40	4.1	5.0	3.9	99.0	99.1	97.5	3.5	3.4	3.2	97.0	97.3	95.9	1.5	1.1	-0.1	74.8	78.7	84.0
00:50	4.1	4.9	3.9	98.9	99.1	97.8	3.4	3.3	3.2	97.3	97.6	95.8	1.5	1.1	-0.2	75.0	79.1	84.6
01:00	4.1	4.9	3.8	99.0	99.1	98.2	3.3	3.3	3.1	97.3	97.5	95.9	1.5	1.0	-0.3	74.9	79.1	84.4
01:10	4.1	5.0	3.9	99.0	99.0	97.7	3.3	3.2	3.0	97.3	97.4	96.0	1.4	1.0	-0.3	75.3	79.2	84.7
01:20	4.1	4.9	3.8	99.1	99.0	97.8	3.2	3.1	2.9	97.2	97.3	95.8	1.3	0.9	-0.4	75.7	79.8	85.2
01:30	4.0	4.9	3.8	99.1	99.1	98.0	3.2	3.1	3.0	97.0	97.2	95.1	1.3	0.8	-0.4	75.7	79.8	85.5
01:40	4.0	4.8	3.8	99.1	99.2	97.8	3.2	3.1	2.9	97.1	97.3	95.4	1.2	0.8	-0.4	76.2	80.1	85.2
01:50	4.0	4.8	3.7	99.1	99.0	97.7	3.1	3.0	2.8	97.0	97.2	95.3	1.1	0.7	-0.5	76.0	80.1	85.3
02:00	3.9	4.8	3.7	99.2	99.0	97.7	3.0	3.0	2.7	96.8	97.2	95.2	1.1	0.7	-0.5	76.2	80.1	85.9
02:10	3.9	4.8	3.7	99.1	99.1	97.7	3.0	2.9	2.7	96.9	97.2	95.2	1.0	0.7	-0.4	76.7	80.4	84.9
02:20	3.9	4.7	3.7	99.0	99.0	97.6	3.0	2.9	2.8	96.8	96.9	94.5	1.0	0.6	-0.5	76.4	80.6	85.5
02:30	3.9	4.7	3.7	99.0	99.1	97.6	3.0	2.9	2.8	96.5	97.0	94.2	1.0	0.6	-0.5	76.2	80.5	85.4
02:40	3.9	4.7	3.6	99.0	99.0	97.7	3.0	2.9	2.7	96.8	97.0	94.0	0.9	0.5	-0.6	76.5	80.6	85.6
02:50	3.8	4.7	3.6	99.1	99.1	97.9	3.0	2.9	2.7	96.8	97.1	93.9	0.9	0.5	-0.6	76.6	80.9	85.3
03:00	3.8	4.7	3.6	99.1	99.1	97.7	2.9	2.8	2.7	96.7	97.0	93.9	0.9	0.4	-0.8	76.4	81.1	86.2
03:10	3.8	4.7	3.5	99.1	99.0	97.9	2.9	2.8	2.5	96.8	97.2	95.0	0.8	0.4	-0.7	76.7	81.1	85.0
03:20	3.8	4.7	3.6	98.9	99.1	97.5	2.8	2.7	2.5	96.9	97.2	94.8	0.8	0.3	-0.8	76.4	81.3	85.9
03:30	3.9	4.6	3.6	98.7	99.0	97.7	2.8	2.7	2.5	96.8	97.3	94.5	0.7	0.3	-1.0	76.6	81.0	86.4
03:40	3.8	4.6	3.6	99.0	99.0	97.5	2.8	2.7	2.5	96.9	97.1	94.2	0.7	0.3	-0.9	76.6	81.1	85.6
03:50	3.8	4.6	3.6	99.0	99.0	97.7	2.7	2.7	2.4	96.9	97.0	94.3	0.6	0.2	-1.2	76.6	81.1	87.1
04:00	3.8	4.6	3.5	99.1	99.1	98.0	2.7	2.6	2.5	96.8	96.9	93.9	0.6	0.2	-1.0	76.2	81.0	85.5
04:10	3.7	4.6	3.5	99.0	99.1	97.6	2.7	2.6	2.4	96.9	97.0	94.0	0.6	0.1	-1.3	76.4	81.0	86.6
04:20	3.7	4.5	3.5	98.9	99.1	97.5	2.7	2.6	2.4	96.8	97.0	93.9	0.5	0.0	-1.5	76.4	81.2	87.4
04:30	3.7	4.5	3.4	99.1	99.0	97.6	2.7	2.6	2.4	96.8	97.0	94.1	0.4	0.0	-1.4	76.2	81.2	86.1
04:40	3.6	4.5	3.4	99.0	99.1	97.4	2.6	2.5	2.4	96.9	97.0	93.5	0.3	-0.1	-1.5	76.4	80.9	86.7
04:50	3.6	4.4	3.3	99.1	99.1	97.4	2.6	2.5	2.3	96.9	97.2	93.5	0.2	-0.2	-1.6	76.9	81.2	86.9
05:00	3.5	4.4	3.3	99.0	99.1	97.4	2.5	2.4	2.2	96.9	97.1	93.0	0.2	-0.2	-1.6	77.0	81.2	86.2

05:10	3.5	4.3	3.2	98.9	98.9	97.4	2.4	2.4	2.2	97.0	97.1	93.1	0.1	-0.3	-1.6	76.6	81.2	85.6
05:20	3.5	4.3	3.2	98.9	98.9	97.5	2.4	2.4	2.2	96.7	96.8	92.5	0.0	-0.3	-1.7	76.7	81.0	86.1
05:30	3.5	4.3	3.2	98.8	99.0	97.6	2.4	2.4	2.1	96.0	96.3	92.7	-0.1	-0.4	-1.7	76.8	81.3	86.2
05:40	3.4	4.2	3.1	99.1	99.1	97.8	2.4	2.3	2.2	96.2	96.2	91.6	-0.1	-0.5	-1.7	76.6	81.2	85.8
05:50	3.4	4.2	3.1	99.1	99.0	97.3	2.4	2.3	2.2	96.3	95.9	91.9	-0.1	-0.6	-1.7	76.6	81.1	85.1
06:00	3.4	4.2	3.1	99.0	98.9	97.2	2.3	2.3	2.1	96.4	95.6	91.6	-0.1	-0.5	-1.7	76.2	80.7	85.1
06:10	3.3	4.2	3.0	98.8	98.9	97.0	2.3	2.3	2.1	95.9	94.9	91.6	-0.2	-0.5	-1.5	76.1	80.5	83.8
06:20	3.3	4.1	3.1	98.9	98.8	97.2	2.3	2.3	2.2	95.6	94.7	91.0	-0.2	-0.6	-1.5	76.1	80.3	83.7
06:30	3.3	4.2	3.1	98.8	98.7	96.8	2.4	2.4	2.2	95.6	94.6	91.4	-0.1	-0.5	-1.7	75.6	80.0	84.5
06:40	3.4	4.1	3.3	98.5	98.9	96.6	2.4	2.4	2.3	95.5	94.6	91.2	-0.1	-0.5	-1.7	75.3	80.1	84.3
06:50	3.5	4.2	3.3	98.5	98.9	96.9	2.4	2.4	2.4	95.3	94.5	91.3	0.0	-0.5	-1.4	74.5	79.2	83.1
07:00	3.5	4.2	3.4	98.7	98.7	97.6	2.5	2.5	2.4	94.8	94.4	91.8	0.1	-0.4	-1.5	74.4	78.7	84.0
07:10	3.6	4.3	3.5	98.6	98.7	97.8	2.6	2.6	2.6	94.6	94.3	92.0	0.2	-0.3	-1.1	74.0	78.3	81.8
07:20	3.7	4.4	3.6	98.6	98.8	97.4	2.6	2.6	2.7	94.7	94.3	92.0	0.4	-0.1	-0.8	73.5	77.8	81.8
07:30	3.7	4.5	3.7	98.7	98.9	97.5	2.7	2.7	2.8	94.8	94.3	92.1	0.6	0.1	-0.4	72.3	77.4	80.0
07:40	3.9	4.6	3.9	98.6	98.9	97.9	2.8	2.8	3.0	94.7	94.3	91.6	0.9	0.4	-0.2	71.7	76.1	79.2
07:50	4.0	4.7	4.0	98.9	98.9	98.1	2.9	2.9	3.3	94.7	93.9	90.8	1.5	0.9	0.9	70.2	75.0	76.0
08:00	4.1	4.7	4.1	98.9	99.2	98.6	3.0	3.2	3.7	94.5	93.4	89.8	3.3	1.9	4.8	65.5	72.6	68.7
08:10	4.2	4.9	4.4	98.9	99.1	98.5	3.1	4.2	7.8	94.5	91.0	84.3	4.9	2.8	7.6	60.4	68.6	58.0
08:20	4.5	5.0	4.6	99.0	99.2	98.8	3.4	4.7	9.1	93.1	92.1	85.2	5.9	3.7	9.8	57.2	65.1	51.6
08:30	4.7	5.2	5.1	99.0	99.3	98.1	4.2	5.1	9.8	91.9	91.1	82.8	6.7	4.6	10.8	55.1	62.2	47.3
08:40	5.4	5.5	6.0	98.8	99.0	95.8	5.5	5.5	10.3	91.8	91.2	82.1	7.6	5.6	11.4	52.8	59.4	45.4
08:50	5.9	5.9	7.9	98.9	98.5	92.9	6.2	6.3	9.8	90.5	88.6	81.8	8.6	6.4	11.4	50.3	58.0	45.0
09:00	6.2	6.3	8.6	98.8	97.8	93.1	6.3	7.4	9.9	90.6	87.1	82.9	9.3	7.6	11.7	47.9	54.4	42.9
09:10	6.3	6.9	8.7	98.8	97.1	93.7	6.5	7.1	10.4	89.3	88.6	81.6	10.0	8.4	12.2	45.8	52.1	41.7
09:20	6.7	7.2	9.1	98.6	97.4	93.3	6.6	6.9	10.0	89.1	89.0	81.6	10.7	9.2	12.7	43.9	48.9	40.3
09:30	7.0	7.6	9.4	98.4	96.8	93.5	6.7	6.8	10.0	89.0	89.3	80.6	11.2	10.0	13.1	41.5	46.6	38.1
09:40	7.2	7.5	9.4	98.1	97.0	93.1	6.9	7.2	10.5	89.2	89.5	80.7	11.8	10.8	13.5	39.6	43.4	36.8
09:50	7.4	7.8	9.8	97.9	96.2	91.8	7.0	7.2	10.2	89.2	89.7	78.2	12.1	11.3	14.0	38.3	41.4	35.7
10:00	7.3	7.8	9.8	98.2	96.0	91.2	7.3	7.8	10.2	88.0	88.6	78.3	12.7	12.0	14.3	36.5	39.1	34.1
10:10	7.4	7.9	9.9	98.2	95.6	91.1	7.4	8.6	10.3	86.8	86.7	77.5	13.0	12.4	14.5	34.7	36.9	32.3
10:20	7.5	8.0	10.0	98.2	95.7	91.0	7.6	8.8	10.1	86.9	85.4	78.1	13.2	12.7	14.7	34.2	36.6	32.0
10:30	7.8	8.2	10.3	98.0	95.2	90.3	7.8	8.5	10.1	86.1	86.3	78.4	13.6	12.9	14.8	33.7	35.6	31.2
10:40	7.8	8.3	9.9	98.0	95.0	91.6	8.1	8.7	10.3	85.5	85.9	78.5	13.6	13.1	14.8	33.1	35.0	31.2
10:50	7.9	8.5	10.1	98.0	94.5	90.8	8.3	8.7	10.5	84.8	86.3	77.7	14.1	13.5	15.1	32.1	33.7	30.0
11:00	8.1	8.7	10.2	97.4	94.0	89.8	8.2	8.6	10.4	84.5	86.2	76.6	14.3	13.9	15.3	31.2	32.2	29.5
11:10	8.4	8.8	10.5	97.1	93.8	88.9	8.2	8.6	10.2	84.2	86.1	76.0	14.5	14.2	15.3	30.5	31.6	28.9



11:20	8.3	9.0	10.4	97.2	93.4	88.8	8.2	8.8	10.5	84.1	86.3	75.8	15.0	14.6	15.9	29.5	31.0	28.3
11:30	8.3	9.2	10.4	97.5	92.9	88.7	8.5	9.0	10.6	83.8	85.9	75.1	15.2	14.8	16.1	29.0	30.1	28.0
11:40	8.5	9.3	10.7	97.2	92.9	88.3	8.4	8.7	10.3	83.6	86.2	74.3	15.4	15.1	16.4	28.3	29.2	26.7
11:50	8.7	9.5	10.6	96.9	92.3	88.2	8.5	8.5	10.4	84.1	86.8	74.3	15.4	15.3	16.5	27.6	28.6	26.5
12:00	9.0	9.7	10.8	96.7	91.6	87.6	8.7	8.7	10.6	83.1	86.9	73.6	15.8	15.6	16.9	27.5	27.8	25.9
12:10	9.1	9.9	10.8	96.5	91.3	86.5	8.7	8.8	10.6	83.5	86.7	73.0	15.8	15.8	16.8	26.7	27.5	25.5
12:20	9.1	9.9	11.0	96.3	90.0	85.4	8.9	9.0	10.7	83.8	86.8	72.0	16.0	16.4	17.0	26.4	26.9	25.5
12:30	9.1	10.1	11.2	96.4	90.0	83.7	8.7	8.9	10.5	84.5	87.6	72.0	16.1	16.7	17.3	26.8	26.8	25.5
12:40	9.1	10.2	11.1	96.2	90.1	83.5	8.6	8.7	10.4	83.8	86.6	70.0	15.9	16.5	16.9	26.4	26.7	25.7
12:50	9.1	10.1	11.1	96.1	89.5	83.3	8.6	8.9	10.3	83.5	86.0	69.6	15.9	16.7	16.9	26.8	26.4	26.0
13:00	9.1	10.2	11.0	95.7	89.4	83.3	9.0	9.3	10.7	82.5	85.0	69.2	15.9	17.1	16.9	26.9	26.4	26.1
13:10	9.1	10.3	10.9	95.8	89.0	83.4	9.1	9.4	10.9	82.4	85.1	68.6	16.1	17.5	16.8	27.1	25.8	26.2
13:20	9.1	10.5	11.3	96.0	88.9	82.6	9.1	9.3	10.8	82.1	85.3	68.1	16.2	17.7	17.1	26.6	25.8	25.6
13:30	9.3	10.5	11.3	95.9	88.6	82.7	9.0	9.2	10.6	82.5	85.6	69.1	16.1	18.1	16.7	26.8	25.2	26.0
13:40	9.0	10.6	11.1	95.8	88.6	83.3	8.9	9.2	10.6	82.8	85.9	70.4	16.2	18.7	16.7	26.9	24.6	26.1
13:50	9.0	10.5	11.2	95.7	88.6	83.5	8.7	8.8	10.4	83.3	86.7	70.7	16.1	19.3	16.3	27.2	24.3	26.6
14:00	9.1	10.8	10.9	95.7	87.8	82.6	8.9	8.9	10.5	82.4	86.3	69.7	15.9	18.7	16.7	27.3	24.7	26.7
14:10	9.1	10.8	10.8	95.5	88.3	82.3	8.8	8.7	10.5	82.7	86.6	69.3	15.8	18.4	16.4	27.6	25.7	27.1
14:20	9.2	11.0	11.0	95.1	86.6	81.0	8.8	8.7	10.3	82.1	86.5	68.3	15.7	17.5	16.4	27.9	26.7	27.3
14:30	8.9	10.9	10.6	94.9	86.5	81.6	8.6	8.5	10.2	82.5	86.3	68.8	15.6	16.7	16.4	27.9	27.3	27.6
14:40	8.9	11.0	10.8	94.5	85.2	80.0	8.5	8.3	10.0	83.5	86.5	68.4	15.4	16.4	16.1	28.2	27.8	27.6
14:50	8.8	10.8	10.3	94.7	85.5	80.7	8.3	8.2	9.7	83.5	86.2	70.1	15.3	16.5	16.2	28.1	27.8	27.6
15:00	8.7	10.5	10.0	94.8	85.8	81.5	8.1	7.9	9.2	83.8	86.9	71.7	15.2	16.4	15.6	28.2	28.1	27.8
15:10	8.7	10.6	9.9	93.9	86.2	81.5	7.8	7.7	9.0	83.7	86.5	72.4	15.1	16.6	15.4	28.2	27.8	27.8
15:20	8.5	10.4	10.2	95.1	87.1	81.0	7.8	7.7	9.0	83.8	86.6	72.7	15.0	16.2	15.5	28.5	28.5	28.1
15:30	8.1	10.1	9.7	95.4	87.8	81.3	7.6	7.4	8.5	83.6	86.3	74.6	14.9	16.0	15.2	28.7	29.2	28.3
15:40	7.9	9.6	9.5	95.4	89.9	82.2	7.4	7.3	8.5	84.0	86.4	75.3	14.7	15.8	15.1	28.9	28.6	28.2
15:50	7.6	9.1	8.6	96.7	90.6	84.7	7.4	7.3	8.4	84.0	86.4	75.9	14.3	15.4	14.7	29.8	29.9	29.4
16:00	7.3	8.8	8.0	96.8	91.4	87.8	7.1	6.9	7.9	84.3	87.0	78.7	13.9	14.5	14.3	30.4	30.9	30.1
16:10	7.2	8.6	7.8	96.5	92.4	88.9	6.9	6.8	7.8	84.7	87.4	78.6	13.5	14.0	13.9	30.9	32.3	30.4
16:20	7.0	8.4	7.5	96.9	93.2	90.6	6.7	6.7	7.6	84.8	87.5	79.2	13.1	13.6	13.7	31.4	32.7	31.3
16:30	6.9	8.3	7.3	96.7	93.1	90.3	6.5	6.5	7.3	85.6	88.1	80.0	12.8	13.2	13.5	32.7	33.7	32.0
16:40	6.8	8.0	7.2	96.8	93.5	90.8	6.4	6.3	7.0	86.3	87.8	81.1	12.6	12.7	13.1	32.9	34.5	32.8
16:50	6.6	7.9	6.9	96.7	93.7	91.3	6.3	6.1	6.7	86.6	87.8	81.5	12.2	12.3	12.4	34.2	36.1	34.2
17:00	6.5	7.7	6.8	96.9	94.3	92.0	6.2	6.0	6.6	86.3	87.9	81.9	11.9	11.9	11.8	35.0	37.0	35.3
17:10	6.3	7.6	6.5	96.6	94.4	92.9	6.1	5.9	6.3	86.7	88.0	83.0	11.6	11.5	11.5	35.7	37.8	36.1
17:20	6.2	7.5	6.3	96.8	94.8	93.2	6.0	5.8	6.2	87.0	88.3	83.2	11.3	11.2	11.1	36.4	38.3	37.2

17:30	6.1	7.4	6.2	97.0	94.7	93.5	5.8	5.6	5.9	88.0	89.3	84.6	11.0	10.9	10.7	37.8	39.8	38.6
17:40	6.1	7.3	6.1	97.2	95.4	93.9	5.8	5.5	5.9	88.1	89.4	84.8	10.7	10.6	10.2	39.0	40.8	40.2
17:50	5.9	7.2	5.9	97.3	95.6	94.2	5.7	5.5	5.8	88.6	89.2	86.0	10.3	10.2	9.7	40.4	41.8	41.7
18:00	5.9	7.0	5.8	97.4	96.2	94.7	5.6	5.4	5.7	89.7	90.4	87.4	10.0	9.8	9.3	41.1	43.2	43.1
18:10	5.8	6.9	5.6	97.4	96.1	95.0	5.5	5.3	5.5	90.4	91.0	88.8	9.6	9.5	8.8	42.7	44.3	45.0
18:20	5.6	6.8	5.5	97.3	96.2	95.0	5.4	5.2	5.4	90.6	91.1	89.1	9.1	9.0	8.2	44.3	46.0	46.7
18:30	5.5	6.7	5.4	97.5	96.2	95.3	5.3	5.1	5.3	90.8	91.6	89.5	8.8	8.6	7.7	44.9	47.1	48.4
18:40	5.4	6.6	5.3	97.9	96.5	95.8	5.2	5.0	5.1	91.3	92.2	90.2	8.4	8.3	7.1	46.1	48.4	50.7
18:50	5.3	6.4	5.1	97.8	97.0	96.3	5.0	4.9	4.9	92.1	92.9	90.8	8.1	7.9	6.6	47.7	49.7	52.4
19:00	5.3	6.3	5.1	97.9	97.5	96.3	4.9	4.8	4.8	92.5	92.6	90.8	7.8	7.6	6.6	48.8	51.3	53.1
19:10	5.3	6.3	5.0	97.9	97.6	96.6	4.8	4.7	4.6	93.0	93.3	91.6	7.5	7.3	6.4	50.2	53.2	54.8
19:20	5.2	6.2	4.9	97.8	97.8	96.2	4.8	4.6	4.6	93.2	93.6	91.9	7.2	7.0	6.0	51.5	53.9	56.1
19:30	5.1	6.1	4.9	97.9	97.6	96.1	4.7	4.5	4.5	93.2	93.6	92.2	7.0	6.7	5.7	52.2	55.3	57.7
19:40	5.0	6.1	4.8	98.1	98.0	96.4	4.6	4.5	4.5	93.3	94.0	92.5	6.8	6.4	5.2	53.3	56.3	59.7
19:50	5.0	6.0	4.8	98.1	98.1	96.5	4.5	4.4	4.4	94.0	94.2	92.9	6.6	6.2	5.0	54.2	57.3	60.7
20:00	5.0	5.9	4.8	98.2	98.3	96.3	4.4	4.3	4.3	94.0	94.5	92.8	6.2	5.9	4.4	56.0	58.6	63.0
20:10	4.9	5.9	4.7	98.3	98.4	97.0	4.4	4.3	4.2	94.3	95.0	93.6	6.0	5.6	4.2	56.9	59.6	64.4
20:20	4.9	5.8	4.7	98.3	98.3	96.9	4.4	4.2	4.2	94.7	95.5	94.0	5.7	5.3	3.6	58.1	61.4	66.9
20:30	4.8	5.8	4.6	98.4	98.3	97.2	4.3	4.2	4.2	95.0	95.7	94.0	5.4	5.1	3.4	59.3	62.2	67.9
20:40	4.8	5.8	4.5	98.4	98.5	97.4	4.3	4.1	4.1	95.1	95.9	94.4	5.2	4.9	3.2	60.4	63.4	69.5
20:50	4.8	5.7	4.5	98.3	98.5	97.2	4.2	4.1	4.0	95.3	96.0	94.9	4.9	4.6	2.8	61.6	64.7	70.9
21:00	4.8	5.7	4.6	98.6	98.6	97.0	4.2	4.1	4.0	95.3	96.1	94.8	4.6	4.4	2.6	62.3	65.4	72.3
21:10	4.7	5.7	4.5	98.5	98.6	97.5	4.1	4.0	3.9	95.5	96.3	95.5	4.4	4.1	2.5	63.3	66.5	72.7
21:20	4.7	5.7	4.5	98.7	98.5	97.1	4.1	4.1	3.9	95.5	96.3	95.3	4.2	3.9	2.1	64.0	67.4	74.4
21:30	4.6	5.6	4.5	98.8	98.6	97.3	4.1	4.0	3.8	95.6	96.4	95.4	4.0	3.7	1.9	64.5	67.8	75.4
21:40	4.6	5.6	4.4	98.9	98.7	97.6	4.1	4.0	3.9	95.8	96.7	95.0	3.9	3.5	1.7	65.6	68.8	76.4
21:50	4.5	5.6	4.4	99.0	98.6	97.7	4.0	4.0	3.9	95.9	96.5	94.8	3.8	3.3	1.4	65.8	69.6	77.6
22:00	4.5	5.5	4.3	98.9	98.8	97.7	4.0	4.0	3.9	95.9	96.6	94.7	3.5	3.1	1.2	66.5	70.3	77.8
22:10	4.5	5.5	4.3	98.9	98.9	97.7	4.0	3.9	3.9	95.9	96.6	95.1	3.4	2.9	0.9	66.8	70.7	79.2
22:20	4.5	5.5	4.3	98.7	98.9	97.8	4.0	3.9	3.8	95.9	96.8	95.4	3.2	2.7	0.9	67.6	71.7	79.2
22:30	4.5	5.4	4.3	98.9	98.9	97.8	4.0	3.8	3.8	96.0	96.9	95.8	3.0	2.6	0.8	68.4	72.4	79.7
22:40	4.5	5.4	4.3	99.0	98.9	97.8	4.0	3.8	3.8	96.1	96.8	95.5	2.9	2.5	0.8	68.6	72.7	79.9
22:50	4.5	5.4	4.3	99.0	99.1	97.8	3.9	3.8	3.7	96.2	96.7	95.7	2.8	2.3	0.4	69.4	73.6	81.6
23:00	4.4	5.4	4.2	99.1	99.0	98.2	3.8	3.7	3.6	96.2	96.7	95.3	2.6	2.1	0.3	70.1	74.1	82.2
23:10	4.4	5.3	4.2	99.0	99.0	98.2	3.8	3.7	3.5	96.3	96.6	95.1	2.5	2.0	0.3	70.7	74.4	81.8
23:20	4.4	5.3	4.2	99.1	99.0	97.8	3.8	3.6	3.5	96.0	96.7	95.4	2.3	2.0	0.3	71.3	74.8	82.0
23:30	4.4	5.3	4.1	99.0	98.9	98.1	3.7	3.6	3.5	96.0	96.6	95.1	2.2	1.8	0.2	71.8	75.6	82.2

23:40	4.3	5.3	4.1	99.1	99.0	97.9	3.7	3.6	3.5	96.1	96.7	95.4	2.0	1.7	0.2	72.0	76.0	82.5
23:50	4.3	5.2	4.1	99.0	99.1	97.9	3.7	3.5	3.4	96.2	96.7	95.5	2.0	1.6	0.0	72.4	76.2	83.5



## Anexo 9. Autorización de ingreso para la realización del proyecto de investigación

	<b>PERÚ</b>	<b>Ministerio del Ambiente</b>	Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado	
---	-------------	--------------------------------	---	---

**AUTORIZACION DE INGRESO AL ANP- N° 177 - 2019-SERNANP-PNH/J.**

La Jefatura del Parque Nacional Huascarán, mediante Resolución Jefatural del Parque Nacional Huascarán N° 018-2019-SERNANP-JEF, de fecha 04 de noviembre de 2019, otorga la autorización de ingreso al interior del Área Natural Protegida- PNH, con el único propósito de realizar el proyecto Investigación científica titulada "Caracterización estructural, funcional y de la diversidad de los bosques de Polylepis, en un gradiente de intervención humano, en la Cordillera Blanca", por un periodo de dos años (02) contados a partir de la fecha de emisión de la presente Resolución.



**Responsable del estudio:** Dra. Beatriz Fuentealba Durand  
Investigador

**Comprometiéndose a cumplir lo siguiente:**

1. Cumplir con la normatividad de las Áreas Naturales Protegidas por el Estado.
2. Cumplir con lo establecido en el Reglamento de Uso Turístico y Recreativo del Parque Nacional Huascarán.
3. Mantener limpia el área de uso y **RETIRAR LA BASURA FUERA DEL ÁREA NATURAL PROTEGIDA** y disponer en lugares adecuados y autorizados para tal fin.
4. No alterar bajo ninguna circunstancia los ecosistemas del Parque Nacional Huascarán.
5. No extraer especies de flora y fauna ni producir incendios.
6. Difundir la importancia del Parque Nacional Huascarán.
7. **Promocionar las actividades de conservación realizadas por el personal del Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas- SERNANP**
8. Acatar las disposiciones del Guardaparque.
9. La presente autorización no se responsabiliza de ningún accidente que pueda suscitarse, referente al objetivo del presente documento.
10. **Presentar a esta Jefatura un informe detallado de los trabajos realizados dentro del ANP- PNH.**

La Jefatura del Parque Nacional Huascarán se reserva el derecho de dejar sin efecto la presente autorización en los casos que se transgredan las normas contenidas en la Ley N° 26834 - Ley de Áreas Naturales Protegidas; D.S. N° 038-2001-AG - Reglamento de Áreas Naturales Protegidas; D.L. N° 1013, modificado por D.L. N° 1039 - Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente y el SERNANP; D.S. N° 006-2008-MINAM - Reglamento de Organización y Funciones del SERNANP; D.L. N° 1079 - Establece Medidas que Garanticen el Patrimonio de las Áreas Naturales Protegidas, y su Reglamento según D.S. N° 008-2008-MINAM; R.J. N° 196-2006-INRENA - Reglamento de Uso Turístico y Recreativo del PNH.

Huaraz, 04 de noviembre de 2019

  
**Atentamente**  
  
**Bigo. Wilfredo Martínez Finquín**  
**Jefe del Parque Nacional Huascarán**  
**SERNANP- MINAM**  
WMF/psa  
c.c. archivo

CUT: 031783-2019      TUPA: 016-2019

---

Calle Diecisiete N° 355, Urb. El Palomar- San Isidro, Lima 27 Apartado Postal 4452 Teléfono 01-2259453 LIMA - PERÚ	Jr. Federico Sol y Rivas N° 555 Teléfono: 043 - 422046 e-mail: pulhuascarani@sernanp.gob.pe HUARAZ-ANCASH
---	--