

**Universidad Católica de Santa María**  
**Escuela de Postgrado**  
**Doctorado en Ciencias Ambientales**



**Variabilidad espacial y riesgo ecológico potencial de los elementos traza  
presentes en líquenes de las lomas costeras y zonas altoandinas de la  
región de Moquegua**

Tesis presentada por el Maestro

**Valeriano Zapana, Jose Antonio**

**ORCID: 0000-0002-5571-0531**

para optar el Grado Académico de Doctor en Ciencias Ambientales

Asesor:

**Dr. Arenazas Rodríguez, Armando Jacinto**

**ORCID: 0000-0002-0940-2204**

Arequipa - Perú

2024

UCSM-ERP

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA**  
**ESCUELA DE POSTGRADO**  
**DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR DE TESIS**

Arequipa, 26 de Febrero del 2024

**Dictamen: 010427-C-EPG-2024**

Visto el borrador del expediente 010427, presentado por:

**2016005731 - VALERIANO ZAPANA JOSE ANTONIO**

Titulado:

**VARIABILIDAD ESPACIAL Y RIESGO ECOLÓGICO POTENCIAL DE LOS ELEMENTOS TRAZA  
PRESENTES EN LÍQUENES DE LAS LOMAS COSTERAS Y ZONAS ALTOANDINAS DE LA REGIÓN  
DE MOQUEGUA**

Nuestro dictamen es:

**APROBADO**

**29213630 - CARDENAS GARCIA JAIME DANTE  
DICTAMINADOR**



**29201360 - VILLANUEVA SALAS JOSE ANTONIO  
DICTAMINADOR**



**29228284 - DAVILA DEL CARPIO GONZALO HERMILIO  
DICTAMINADOR**



**29440909 - MOLINA RODRIGUEZ FREDY NICOLAS  
DICTAMINADOR**



**29262116 - DAVILA FLORES BENJAMIN JOSE  
DICTAMINADOR**



# Variabilidad espacial y riesgo ecológico potencial de los elementos traza presentes en líquenes de las lomas costeras y zonas altoandinas de la región de Moquegua

## ORIGINALITY REPORT

7%

SIMILARITY INDEX

6%

INTERNET SOURCES

3%

PUBLICATIONS

1%

STUDENT PAPERS

## PRIMARY SOURCES

1	<a href="https://rstudio-pubs-static.s3.amazonaws.com">rstudio-pubs-static.s3.amazonaws.com</a> Internet Source	2%
2	<a href="https://repositorio.unam.edu.pe">repositorio.unam.edu.pe</a> Internet Source	1%
3	<a href="https://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a> Internet Source	1%
4	J. Anderson, N. Lévesque, F. Caron, P. Beckett, G.A. Spiers. "A review on the use of lichens as a biomonitoring tool for environmental radioactivity", <i>Journal of Environmental Radioactivity</i> , 2022 Publication	1%
5	<a href="https://repositorio.uchile.cl">repositorio.uchile.cl</a> Internet Source	1%
6	GENIE GENERALE ET SURVEILLANCE S R LTDA. "MEIA del Proyecto de Ampliación de la Capacidad Productiva de la Empresa Yura-	1%

## DEDICATORIA

*Quiero dedicar la presente tesis doctoral a mis padres Fortunato y Aquilina por su apoyo incondicional, a mi esposa Milagros, por sus palabras de aliento, consejos frente a las vicisitudes de la vida. A mis hijos Gabriel, Miguel y Rafael (mis ángeles) que son mis más grandes bendiciones, que Dios me ha regalado.*

## AGRADECIMIENTO

A Dios por todas las bendiciones que me ha regalado en esta vida.

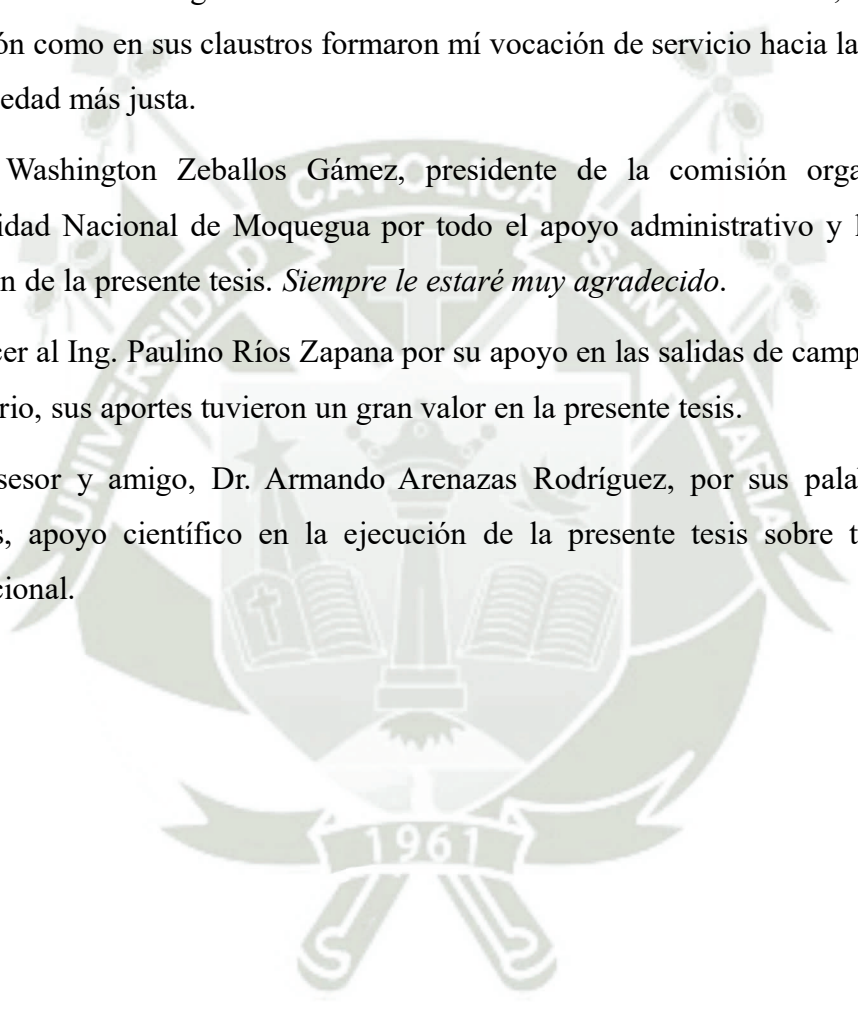
A mis padres Fortunato y Aquilina por todo su apoyo incondicional, todo lo que soy en esta vida se los debo a ustedes. *Los amo*

A la Escuela de Postgrado de Universidad Católica de Santa María, que durante mi formación como en sus claustros formaron mi vocación de servicio hacia la construcción de una sociedad más justa.

Al Dr. Washington Zeballos Gámez, presidente de la comisión organizadora de la Universidad Nacional de Moquegua por todo el apoyo administrativo y logístico para la ejecución de la presente tesis. *Siempre le estaré muy agradecido.*

Agradecer al Ing. Paulino Ríos Zapana por su apoyo en las salidas de campo y trabajo en el laboratorio, sus aportes tuvieron un gran valor en la presente tesis.

A mi asesor y amigo, Dr. Armando Arenazas Rodríguez, por sus palabras de aliento, consejos, apoyo científico en la ejecución de la presente tesis sobre todo su amistad incondicional.



## EPÍGRAFE

*«La vida es un momento. El honor, las victorias, la riqueza y la ciencia se acaban. Los encantos de la vida pasan y solo el amor eterno permanece, la causa de todo acto de bondad. El amor nos sobrevive, porque Dios es amor»*

***SAN JOSÉ MOSCATI***



## RESUMEN

Los líquenes, debido a su biología única y alta sensibilidad a los contaminantes, se han convertido en herramientas invaluable para investigar la distribución espacial de metales traza. La presente tesis tuvo como objetivo evaluar la variabilidad espacial y el riesgo ecológico potencial asociado a los elementos traza presentes en líquenes de las lomas costeras y zonas altoandinas de la región de Moquegua. La investigación abarcó una superficie de 2100 m<sup>2</sup> con 175 unidades de muestreo distribuidas en 35 estaciones. Se analizó la biodiversidad mediante los índices de Shannon-Wiener y Simpson. La cuantificación de elementos traza (Al, As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb, U, Zn) se realizó mediante la espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente, y la evaluación del riesgo ecológico se utilizaron indicadores como el factor de contaminación, riesgo ecológico y factor tóxico biológico. Los resultados mostraron un total de 267 especímenes de líquenes, distribuidas en 33 especies, 19 géneros, 8 familias, 7 órdenes y 2 clases. Se destaca una notable riqueza y abundancia de especies de la familia Parmeliaceae en el sector de Tala. En cuanto a la cobertura de especies de líquenes, el sector de Lomas de Huacaluna sobresale, con *Flavopunctelia sp.* Se evidencian diferencias significativas en los índices de biodiversidad de Shannon y Simpson entre los sectores de Charaque, Calientes y Lomas de Huacaluna. En el ecosistema de lomas costeras, Tacahuay presenta las concentraciones más altas de elementos traza, mientras que Huaca Luna destaca en Cd y Mn. En cuanto a la bioacumulación, *Physcia eurupens* lidera para As, Cu, Ni, Pb, U y Zn, *Phaeophyscia sp.* para Al y Fe, *Physcia undulata* para Cd y Mn, y *Canoparmelia sp. 1* para Hg. En el ecosistema de matorral andino, Altarani se destaca por las concentraciones elevadas de Cu y Zn, mientras que Calientes muestra la mayor presencia de As. En términos de bioacumulación, *Calogaya saxicola* exhibe altas concentraciones de As y Cr, *Squamulea subsoluta* para Al, Fe y Pb, *Placomaronea mendozae* para Mn, *Squamulea squamosa* para Cd, *Scutaria andina* para Zn, y *Psiloparmelia subcrustosa* para Cu. Finalmente, los resultados muestran que en el ecosistema de lomas costeras se evidencia un nivel crítico de "contaminación muy alta" y un consiguiente "riesgo muy alto" según el factor de contaminación y el índice de riesgo ecológico potencial. Mientras tanto, en el ecosistema de matorral andino, los sectores de Charaque y Altarani exhiben un grado preocupante de "contaminación muy alta", con un correspondiente "riesgo considerable" en los cinco sectores evaluados.

**Palabras clave:** Líquenes, elementos traza, riesgo ecológico

## ABSTRACT

Lichens, due to their unique biology and high sensitivity to pollutants, have become invaluable tools for investigating the spatial distribution of trace metals. This thesis aimed to evaluate the spatial variability and potential ecological risk associated with trace elements present in lichens from the coastal hills and high Andean zones of the Moquegua region. The research covered an area of 2100 m<sup>2</sup> with 175 sampling units distributed across 35 stations. Biodiversity was analyzed using the Shannon-Wiener and Simpson indices. Trace elements (Al, As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb, U, Zn) were quantified using inductively coupled plasma mass spectrometry, and ecological risk was assessed using indicators such as the pollution factor, ecological risk, and biological toxic factor. The results showed a total of 267 lichen specimens, distributed across 33 species, 19 genera, 8 families, 7 orders, and 2 classes. Notable richness and abundance of species from the Parmeliaceae family were highlighted in the Tala sector. Regarding the coverage of lichen species, the Lomas de Huacaluna sector stands out, featuring *Flavopunctelia* sp. Significant differences in Shannon and Simpson biodiversity indices were evident between the Charaque, Calientes, and Lomas de Huacaluna sectors. In the coastal hill ecosystem, Tacahuay exhibits the highest concentrations of trace elements, while Huaca Luna stands out in Cd and Mn. In terms of bioaccumulation, *Physcia europens* leads for As, Cu, Ni, Pb, U, and Zn; *Phaeophyscia* sp. for Al and Fe; *Physcia undulata* for Cd and Mn; and *Canoparmelia* sp.1 for Hg. In the Andean shrub ecosystem, Altarani is notable for high concentrations of Cu and Zn, while Calientes shows the highest presence of As. In terms of bioaccumulation, *Calogaya saxicola* exhibits high concentrations of As and Cr, *Squamulea subsoluta* for Al, Fe, and Pb, *Placomaronea mendozae* for Mn, *Squamulea squamosa* for Cd, *Scutaria andina* for Zn, and *Psiloparmelia subcrustosa* for Cu. Finally, the results show that in the coastal hill ecosystem, a critical level of "very high pollution" and a consequent "very high risk" is evident according to the pollution factor and potential ecological risk index. Meanwhile, in the Andean shrub ecosystem, the sectors of Charaque and Altarani exhibit a concerning degree of "very high pollution", with a corresponding "considerable risk" in the five sectors evaluated.

**Keywords:** Lichens, trace elements, ecological risk.

## ÍNDICE

**DEDICATORIA**

**AGRADECIMIENTO**

**EPÍGRAFE**

**RESUMEN**

**ABSTRACT**

<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>6</b>
<b>1. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>6</b>
1.1 Líquenes .....	7
1.1.1. Origen evolutivo de lo líquenes.....	8
1.1.2. Formación de un líquen .....	12
1.1.3. Crecimiento y clima.....	14
1.1.4. Absorción de nutrientes y metabolitos .....	15
1.1.5. Absorción de metales y elementos tóxicos.....	17
1.2 Contaminación ambiental .....	19
1.2.1. Material particulado (PM) y metales traza (MT) asociados a la contaminación a los ecosistemas .....	21
1.2.2. Material particulado (MP).....	25
1.2.3. Metales traza (MT) .....	30
1.3 Biomonitorio .....	32
1.3.1 Bioindicador ambiental.....	33
1.3.2 Líquenes como bioindicadores .....	36
1.3.3 Oligoelementos presentes en líquenes.....	37

1.4	Análisis de antecedentes investigativos. ....	38
<b>CAPÍTULO II.....</b>		<b>42</b>
<b>2.</b>	<b>METODOLOGÍA.....</b>	<b>42</b>
2.1	Ubicación espacial de la zona de estudio .....	43
2.2	Ubicación temporal .....	51
2.3	Unidades de estudio.....	51
2.4	Técnica para el análisis de biodiversidad de líquenes presentes en las lomas de Amoquinto, Huacaluna, Tacahuay y zonas altoandinas de los distritos de Torata, Carumas. 53	
2.5	Técnica para la determinación de los elementos traza en Líquenes .....	57
2.6	Técnicas para evaluar el riesgo ecológico potencial (IR <sub>E</sub> ) de los elementos traza presentes en líquenes y suelos sobre las lomas de Tacahuay. ....	59
2.7	Estrategia de recolección de datos .....	60
<b>CAPÍTULO III.....</b>		<b>64</b>
<b>3.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>64</b>
3.1.	Resultados.....	65
3.1.1	Biodiversidad de líquenes presentes en las lomas de Amoquinto, Huacaluna, Tacahuay y zonas altoandinas de los distritos de Torata, Carumas .....	65
3.1.1.1	Clasificación taxonómica de las especies de líquenes .....	65
3.1.1.2	Riqueza de especies de líquenes.....	68
3.1.1.3	Abundancia de especies de líquenes.....	72
3.1.1.4	Comparación de la riqueza para los sectores Altarani, Alto Coscore, Calientes, Charaque, Tala, Lomas de Tacahuay, Lomas Huacaluna. ....	76
3.1.1.5	Comparación de la abundancia para los sectores Altarani, Alto Coscore, Calientes, Charaque, Tala, Lomas de Tacahuay, Lomas Huacaluna. ....	77
3.1.1.6	Cobertura de especies de líquenes.....	78
3.1.1.7	Índice de biodiversidad .....	88

3.1.1.8	Análisis de clúster .....	93
3.1.2	Composición química de los elementos traza presente en los líquenes de las lomas de Amoquinto, Huacaluna, Tacahuay y zonas altoandinas de los distritos de Torata, Carumas.....	96
3.1.2.1	Bioacumulación de metales por sector .....	96
3.1.2.2	Concentración de metales por ecosistema y especie.....	96
3.1.2.3	Análisis de clúster .....	108
3.1.3	Evaluación del índice del riesgo ecológico potencial ( $IR_E$ ) de los elementos traza presente en los ecosistemas de lomas Costeras (Lomas de Huacaluna y Tacahuay) y matorral Andino (Calientes, Alto Coscore, Charaque, Altarani, Tala).....	112
3.1.3.1	Factores de contaminación (FCx) y valores de grado de contaminación (GC) para el ecosistema de lomas costeras .....	112
3.1.3.2	Riesgo ecológico (RE) y índice de riesgo ecológico potencial ( $IR_E$ ) para metales pesados presentes en líquenes del ecosistema de lomas costeras (Lomas de Huacaluna y Lomas de Tacahuay) .....	113
3.1.3.3	Factores de contaminación (FCx) y valores de grado de contaminación (GC) para el ecosistema de matorral andino .....	114
3.1.3.4	Riesgo ecológico (RE) y índice de riesgo ecológico potencial ( $IR_E$ ) para metales pesados presentes en líquenes del ecosistema matorral andino .....	115
3.1.4	Correlación del factor de respuesta tóxica (FC), riesgo ecológico ( $RE_E$ ) con el índice de biodiversidad de Shannon ( $H'$ ), Simpson (D) y Equidad de Pielou (J).....	117
3.1.4.1	Correlación del factor de respuesta tóxica (FC), riesgo ecológico ( $RE_E$ ) con el índice de biodiversidad de Shannon ( $H'$ ), Simpson (D) y Equidad de Pielou (J) para el ecosistema de lomas costeras.....	117
3.1.4.2	Correlación del factor de respuesta tóxica (FC), riesgo ecológico ( $RE_E$ ) con el índice de biodiversidad de Shannon ( $H'$ ), Simpson (D) y Equidad de Pielou (J) para el ecosistema de matorral andino .....	121
3.2.	Discusiones .....	127

3.2.1. Biodiversidad de líquenes presentes en las lomas de Amoquinto, Huacaluna, Tacahuay y zonas altoandinas de los distritos de Torata, Carumas. ....	127
3.2.2. Composición química de los elementos traza presente en los líquenes de las lomas de Amoquinto, Huacaluna, Tacahuay y zonas altoandinas de los distritos de Torata, Carumas.....	129
3.2.3. Evaluación del índice del riesgo ecológico potencial (IRE) de los elementos traza presente en los ecosistemas de lomas Costeras (Lomas de Huacaluna y Tacahuay) y matorral Andino (Calientes, Alto Coscore, Charaque, Altarani, Tala).....	131
3.2.4. Correlación del factor de respuesta tóxica (FC), riesgo ecológico (REE) con el índice de biodiversidad de Shannon (H'), Simpson (D) y Equidad de Pielou (J).....	134
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>137</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>140</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>141</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>162</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-1.</b> Rango de tasas de crecimiento de las tres formas principales de líquenes .....	15
<b>Tabla 2-1.</b> <i>Coordenadas de los puntos de monitoreo</i> .....	49
<b>Tabla 2-2.</b> Escala de abundancia-dominancia modificada de Braun-Blanquet.....	55
<b>Tabla 2-3.</b> Clases de factor de contaminación ( $FC_x$ ) y grado de contaminación (GC ) (Hakanson 1980 ; Luo et al., 2007 ) .....	59
<b>Tabla 2-4.</b> Clases de riesgo ecológico (RE) y índice del riesgo ecológico potencial (IRE) (Hakanson 1980 ; Luo et al., 2007 ) .....	60
<b>Tabla 3-1.</b> Riqueza y abundancia de especies de líquenes presentes en las estaciones de muestreo de las lomas costeras y zonas altoandinas de la región de Moquegua.....	69
<b>Tabla 3-2.</b> Riqueza de especies de líquenes distribuidos por clase, orden, familias presentes en las estaciones de muestreo de las lomas costeras y zonas altoandinas de la región de Moquegua.....	71
<b>Tabla 3-3.</b> Estadística descriptiva de la riqueza de las especies de líquenes presente en los ecosistemas y sectores de estudio de la región de Moquegua.....	71
<b>Tabla 3-4.</b> Abundancia de especies de líquenes distribuidos por clase, orden, familias presentes en las estaciones de muestreo de las lomas costeras y zonas altoandinas de la región de Moquegua .....	74
<b>Tabla 3-5.</b> Estadística descriptiva de la abundancia de las especies de líquenes presente en los ecosistemas y estaciones de estudio de la región de Moquegua.....	75
<b>Tabla 3-6.</b> Frecuencia absoluta, frecuencia relativa, cobertura absoluta, cobertura relativa y cobertura total (superficie de ocupación) de especies de líquenes encontrados en el sector de Altarani.....	79
<b>Tabla 3-7.</b> Cobertura total (superficie de ocupación) de especies de líquenes encontrados en el sector de Alto Coscore .....	80
<b>Tabla 3-8.</b> Cobertura total (superficie de ocupación) de especies de líquenes encontrados en el sector de Calientes.....	82

<b>Tabla 3-9.</b> Cobertura total (superficie de ocupación) de especies de líquenes encontrados en el sector de Charaque .....	83
<b>Tabla 3-10.</b> Cobertura total (superficie de ocupación) de especies de líquenes encontrados en el sector de Tala.....	84
<b>Tabla 3-11.</b> Cobertura total (superficie de ocupación) de especies de líquenes encontrados en el sector de Lomas de Tacahuay .....	86
<b>Tabla 3-12.</b> <i>Cobertura total (superficie de ocupación) de especies de líquenes encontrados en el sector de Lomas de Huacaluna</i> .....	87
<b>Tabla 3-13.</b> Estadística descriptiva para el índice de biodiversidad de Shannon ( $H'$ ) para los diferentes ecosistemas (Matorral andino y Lomas costeras) y sectores (Altarani, Alto Coscore, Calientes, Charaque, Tala, Lomas de tacahuay, Lomas Huacaluna) .....	88
<b>Tabla 3-14.</b> Estadística descriptiva para el índice de biodiversidad de Simpson ( $D$ ) para los diferentes ecosistemas (Matorral andino y Lomas costeras) y sectores (Altarani, Alto Coscore, Calientes, Charaque, Tala, Lomas de tacahuay, Lomas Huacaluna) .....	91
<b>Tabla 3-15.</b> Concentración de elementos traza (mg/kg) en líquenes de los sectores de Altarani, Alto Coscore, Calientes, Charaque, Tala, Lomas de Tacahuay y Lomas Huacaluna. ....	97
<b>Tabla 3-16.</b> Concentración de elementos traza (mg/kg) presente en especies de líquenes del ecosistema de lomas costeras los sectores de, Lomas de Tacahuay y Lomas Huacaluna. ....	101
<b>Tabla 3-17.</b> Concentración de elementos traza (mg/kg) presente en especies de líquenes del ecosistema Matorral andino de los sectores de Altarani, Alto Coscore, Calientes, Charaque, Tala.....	105
<b>Tabla 3-18.</b> Factores de contaminación ( $FC_x$ ) y valores de grado de contaminación ( $GC$ ) para metales pesados seleccionados en los sectores de Lomas de Huacaluna y Lomas de Tacahuay correspondiente al ecosistema de lomas costeras .....	113
<b>Tabla 3-19.</b> Valores potenciales de riesgo ecológico ( $RE$ ) y índice de riesgo ecológico potencial ( $IR_E$ ) para metales pesados presentes en líquenes de los sectores de Lomas de Huacaluna y Lomas de Tacahuay .....	114

<b>Tabla 3-20.</b> Factores de contaminación ( $FC_x$ ) y valores de grado de contaminación (GC) para metales pesados seleccionados en los sectores y estaciones de Altarani, Alto Coscore, Calientes, Charaque y Tala .....	115
<b>Tabla 3-21.</b> Valores de riesgo ecológico (RE) y índice de riesgo ecológico potencial ( $IR_E$ ) para metales pesados presentes en líquenes en los sectores y estaciones de Altarani, Alto Coscore, Calientes, Charaque y Tala .....	116
<b>Tabla 3-22.</b> Media del factor de respuesta tóxica (FC), riesgo ecológico ( $RE_E$ ), índice de biodiversidad de Shannon ( $H'$ ), Simpson (D) y Equidad de Pielou (J) del ecosistema de lomas costeras .....	117
<b>Tabla 3-23.</b> Prueba de Shapiro-Wilk (normalidad) para el factor de respuesta tóxica ( $FC_E$ ), riesgo ecológico ( $RE_E$ ), índice de biodiversidad de Shannon ( $H'$ ), Simpson (D), Equidad de Pielou (J), temperatura ( $^{\circ}C$ ) y precipitación (mm) .....	118
<b>Tabla 3-24.</b> Medias, desviaciones estándar y correlaciones con intervalos de confianza	120
<b>Tabla 3-25.</b> Media del factor de respuesta tóxica (FC), riesgo ecológico ( $RE_E$ ), índice de biodiversidad de Shannon ( $H'$ ), Simpson (D) y Equidad de Pielou (J) del ecosistema de matorral andino .....	121
<b>Tabla 3-26.</b> Prueba de Shapiro-Wilk (normalidad) para el factor de respuesta tóxica ( $FC_E$ ), riesgo ecológico ( $RE_E$ ), índice de biodiversidad de Shannon ( $H'$ ), Simpson (D), Equidad de Pielou (J), temperatura ( $^{\circ}C$ ) y precipitación (mm) .....	122
<b>Tabla 3-27.</b> Medias, desviaciones estándar y correlaciones con intervalos de confianza	124
<b>Tabla 0-1.</b> Concentración de metales presentes en el material certificado evaluado en la metodología experimental.....	180

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-1.</b> Una perspectiva de red sobre las simbiosis de líquenes (Duran-Nebreda & Valverde, 2023).....	8
<b>Figura 1-2.</b> Línea temporal que indica el momento en que se descubrieron los diferentes componentes de la asociación de líquenes. Esta figura refleja el viaje desde la consideración de los líquenes como un solo organismo hasta la compleja relación simbiótica de múltiples socios conocida hoy en día (Duran-Nebreda & Valverde, 2023).....	9
<b>Figura 1-3.</b> Árbol filogenético de los linajes de hongos que han desarrollado la forma de líquen. El linaje completo de hongos está representado en la parte rosa del árbol, donde la rama verde representa el linaje de los basidiomicetos y las partes azules representan los hongos ascomicetos (Carr et al., 2021).....	10
<b>Figura 1-4.</b> Reconstrucción 3D de la imagen confocal laser scanning Microscopy (CLSM). Colonización de bacterias en un fragmento de talo de <i>Lobaria pulmonaria</i> , con un esquema general de las contribuciones funcionales en las simbiosis de líquenes. Fotobionte, micobionte y Bacteriobionte (Grube & Berg, 2009).....	11
<b>Figura 1-5.</b> Resumen de las etapas de desarrollo de las biopelículas, representadas por <i>Candida albicans</i> (beige) y <i>Streptococcus gordonii</i> (morado), y líquenes con el micobionte <i>Xanthoria parietina</i> en amarillo y los fotobiontes en verde (algas y cianobacterias).....	13
<b>Figura 1-6.</b> Vías biosintéticas simplificadas de metabolitos secundarios en líquenes (adaptado de Ranković & Kosanić, 2019c ).....	17
<b>Figura 1-7.</b> Modelo actualizado para la absorción de radiocontaminantes en líquenes (señalado como M y M <sup>Z+</sup> ; basado en la revisión Anderson et al. 2022by en cifras de Salbu et al. 2015).....	18
<b>Figura 1-8.</b> Fuentes, transporte, transformación y destino de los contaminantes atmosféricos (Guarnieri & Balmes, 2014).....	20
<b>Figura 1-9.</b> Material particulado atmosféricos y elementos traza. La figura muestra el MP y MT asociadas que participan en el ciclo biogeoquímico terrestre de los elementos traza en varios sistemas suelo-planta, incluidos suelo urbano-árbol, suelo agrícola-cultivos, y sistemas montañosos remotos suelo-bosque (X. Luo, Bing, et al., 2019b).....	21

**Figura 1-10.** La representación esquemática mostró diferentes procesos de deposición de material particulado (PM) sobre la vegetación (deposición seca, deposición oculta y deposición húmeda). Las plantas activan distintas respuestas de defensa contra la contaminación por partículas (Mandal et al., 2023)..... 22

**Figura 1-11.** Colonización microbiana e interacciones en la parte aérea de la planta (filósfera) (Mandal et al., 2023). ..... 23

**Figura 1-12.** Interacción del PM con la filosfera y sus efectos asociados al cambio climático en la actividad funcional de la planta (Mandal et al., 2023). ..... 24

**Figura 1-13.** Representaciones con microscopía electrónica de barrido (SEM) de las partículas heterogéneas (PM) depositadas en las superficies de las hojas de *Psidium guajava* L. (A), *Mangifera indica* L. (B), *Terminalia arjuna* (Roxb. ex DC.) Wight & Arn. (C), Molino *Ziziphus jujuba* . (D, E) y *Azadirachta indica* A. Juss. (F). A, C: El bloqueo estomático por el PM afecta las actividades fisiológicas de la planta y modifica el microambiente de la superficie foliar; B, C: MP heterogénea (tanto física como química) depositada en la superficie de las hojas; C, D, E y F: diferentes crecimientos celulares y microbianos en la superficie de la hoja que interactúan con la MP depositada..... 25

**Figura 1-14.** Ejemplo de la distribución del tamaño de las partículas ambientales y sus múltiples fuentes principales con componentes (adaptado de Chow et al., 2002; y Araujo y Nel, 2009). TSP = Total de Partículas Suspendidas; UFP = Partículas Ultrafinas; NP = Nanopartículas., X. Luo, Zhao, et al. (2019)..... 26

**Figura 1-15.** Distribución global de estaciones de monitoreo y concentración media anual de PM<sub>2.5</sub> durante dos décadas (2000-2019) (Yu MPH et al., 2023)..... 27

**Figura 1-16.** Media anual de PM<sub>2.5</sub> en 2000, 2010 y 2019 y cambios en la media anual de PM<sub>2.5</sub> por década con una resolución espacial de 0.1° × 0.1° (Yu MPH et al., 2023)..... 28

**Figura 1-17.** Concentraciones medias globales de PM<sub>2.5</sub> para cada mes calendario en 2000-19 con una resolución espacial de 0.1° × 0.1° (Yu MPH et al., 2023)..... 29

**Figura 1-18.** Interacción de la deposición seca y húmeda de los metales traza (MT) (Vithanage et al., 2022)..... 30

<b>Figura 1-19.</b> Ilustración del proceso que involucra a través de la distribución, variación y señal antropogénica de los metales traza (MT) en el glaciar del Himalaya (Wu et al., 2018). .....	31
<b>Figura 1-20.</b> Diferentes tipos de respuestas de micoindicadores frente a cambios ambientales (Weerakoon et al., 2020)......	33
<b>Figura 1-21.</b> Características de los buenos bioindicadores (Warnasuriya et al., 2023).....	34
<b>Figura 1-22.</b> Diferentes tipos de micoindicadores y sus potenciales aplicaciones en la detección de la calidad ambiental (Warnasuriya et al., 2023)......	35
<b>Figura 1-23.</b> Bioacumulación de elementos traza en <i>Flavoparmelia caperata</i> . Fortuna et al. (2021)......	37
<b>Figura 2-1.</b> Mapa de ubicación de las lomas de Tacahuay – Huacaluna y Amoquinto dentro de la provincia de Ilo, región Moquegua. ....	43
<b>Figura 2-2.</b> Vista del paisaje de las lomas de Amoquinto, con flora asociada <i>Grindelia glutinosa</i> (Cav.) Mart. No se registran presencia de líquenes.....	45
<b>Figura 2-3.</b> Poblaciones con <i>Grindelia glutinosa</i> (Cav.) Mart. en vertiente de quebrada. Detalle de los capítulos y látex.....	45
<b>Figura 2-4.</b> Vista del paisaje de las lomas de Huacaluna-Tacahuay, con flora asociada <i>Grindelia glutinosa</i> (Cav.) Mart., presencia de Molle y Tara. ....	47
<b>Figura 2-5.</b> <i>Hypotrachyna flavida</i> (Zahlbr.) Hale. creciendo en ramas de <i>C. spinosa</i> (Molina) Kuntze y tallo de <i>Neoraimondia arequipensis</i> subsp. <i>roseiflora</i> (Werdermann & Backeberg) Ostolaza.....	47
<b>Figura 2-6.</b> Hábito de <i>Heliotropium krauseanum</i> Fedde. Detalle de las hojas e inflorescencia de <i>Heliotropium krauseanum</i> Fedde. ....	48
<b>Figura 2-7.</b> Mapa de ubicación de los distritos de Torata y Carumas dentro de la provincia de Mariscal Nieto, región Moquegua. ....	48
<b>Figura 2-8.</b> Ubicación de los puntos de referencia dentro del proyecto minero Anglo American Quellaveco. La figura corresponde al Informe de Monitoreo de Calidad de Aire del Proyecto Quellaveco, 2019.....	49

<b>Figura 2-9.</b> Mapa de ubicación de los puntos de muestreo sectores Altarani, Alto Coscore, Calientes, Charaque y Tala., se detalla los sectores evaluados, así como las actividades mineras cercanas. ....	50
<b>Figura 2-10.</b> Vista del paisaje del paisaje Alto andino correspondiente a los sectores Altarani, Alto Coscore, Calientes, Charaque y Tala.....	51
<b>Figura 2-11.</b> Prototipo de parcela (de 3x4 m), e implementación aleatoria de los tres cuadrantes sobre dosel (25x25 cm cada uno) y de los dos cuadrantes sobre suelo (50x50 cm). ....	52
<b>Figura 2-12.</b> Implementación de las unidades de muestreo. (A) Cuadrante sobre suelo (B) Cuadrante sobre árboles y arbustos. Fotografías: Valeriano-Zapana, J.A.....	53
<b>Figura 2-13.</b> <i>Colecta de muestras de líquenes en el sector de las lomas Huacaluna y Tacahuay</i> .....	54
<b>Figura 2-14.</b> Preparación de las muestras para la identificación taxonómica y determinación de los metales traza (MT). ....	54
<b>Figura 2-15.</b> Flujograma del proceso de digestión de las muestras de líquenes para la determinación de los elementos traza. ....	58
<b>Figura 2-16.</b> <i>Flujograma para las pruebas estadísticas de la idoneidad del modelo</i> .....	62
<b>Figura 3-1.</b> Riqueza de especies de líquenes presentes en cada estación de muestreo en las lomas costeras y zonas altoandinas de la región de Moquegua. AL=Altarani, ALC=Alto Coscore, CA=Calientes, CHA=Charaque, TA=Tala, LT=Lomas de tacahuay, LH=Lomas Huacaluna.....	68
<b>Figura 3-2.</b> Riqueza de especies de líquenes distribuidos por clase, orden, familias presentes en las estaciones de muestreo de las lomas costeras y zonas altoandinas de la región de Moquegua. AL=Altarani, ALC=Alto Coscore, CA=Calientes, CHA=Charaque, TA=Tala, LT=Lomas de tacahuay, LH=Lomas Huacaluna.....	70
<b>Figura 3-3.</b> Boxplot de la riqueza de especies de líquenes presente en los sectores de Altarani, Alto Coscore, Calientes, Charaque, Tala, Lomas de tacahuay, Lomas Huacaluna. ....	72

**Figura 3-4.** Abundancia de especies de líquenes presentes en cada estación de muestreo en las lomas costeras y zonas altoandinas de la región de Moquegua. AL=Altarani, ALC=Alto Coscore, CA=Calientes, CHA=Charaque, TA=Tala, LT=Lomas de tacahuay, LH=Lomas Huacaluna..... 73

**Figura 3-5.** Abundancia de especies de líquenes distribuidos por clase, orden, familias presentes en las estaciones de muestreo de las lomas costeras y zonas altoandinas de la región de Moquegua. .... 74

**Figura 3-6.** Boxplot de la abundancia de especies de líquenes presente en los sectores de Altarani, Alto Coscore, Calientes, Charaque, Tala, Lomas de tacahuay, Lomas Huacaluna. .... 75

**Figura 3-7.** Test No Paramétrico de Kruskal y Wallis aplicado a la riqueza de líquenes para los sectores de Altarani, Alto Coscore, Calientes, Charaque, Tala, Lomas de tacahuay, Lomas Huacaluna..... 76

**Figura 3-8.** Test No Paramétrico de Kruskal y Wallis aplicado a la abundancia de líquenes para los sectores de Altarani, Alto Coscore, Calientes, Charaque, Tala, Lomas de tacahuay, Lomas Huacaluna..... 77

**Figura 3-9.** Cobertura total (superficie de ocupación) de especies de líquenes encontrados en el sector de Altarani. .... 79

**Figura 3-10.** Cobertura total (superficie de ocupación) de especies de líquenes encontrados en el sector de Alto Coscore..... 81

**Figura 3-11.** Cobertura total (superficie de ocupación) de especies de líquenes encontrados en el sector de Calientes. .... 82

**Figura 3-12.** Cobertura total (superficie de ocupación) de especies de líquenes encontrados en el sector de Charaque. .... 83

**Figura 3-13.** Cobertura total (superficie de ocupación) de especies de líquenes encontrados en el sector de Tala. .... 85

**Figura 3-14.** Cobertura total (superficie de ocupación) de especies de líquenes encontrados en el sector de Lomas de Tacahuay..... 86

**Figura 3-15.** Cobertura total (superficie de ocupación) de especies de líquenes encontrados en el sector de Lomas de Huaca Luna. .... 87

**Figura 3-16.** Boxplot para el índice de biodiversidad de Shannon (H') para los sectores de Altarani, Alto Coscore, Calientes, Charaque, Tala, Lomas de tacahuay, Lomas Huacaluna. .... 88

**Figura 3-17.** Test no paramétrico de Kruskal y Wallis aplicado al índice de biodiversidad de Shannon (H') para los sectores de Altarani, Alto Coscore, Calientes, Charaque, Tala, Lomas de tacahuay, Lomas Huacaluna. .... 89

**Figura 3-18.** Boxplot para el índice de biodiversidad de Simpson (D) para los sectores de Altarani, Alto Coscore, Calientes, Charaque, Tala, Lomas de tacahuay, Lomas Huacaluna. .... 91

**Figura 3-19.** Test no paramétrico de Kruskal y Wallis aplicado al índice de biodiversidad de Simpson (D) para los sectores de Altarani, Alto Coscore, Calientes, Charaque, Tala, Lomas de tacahuay, Lomas Huacaluna. .... 92

**Figura 3-20.** Representación del número de conglomerados y las respectivas distancias de unión. (a) Método de distancia Intra-cluster (b) Método de la Silueta (c) Método de estadística de Brecha. .... 94

**Figura 3-21.** Cluster plot de K-medias en un análisis de componentes principales de la cobertura de especie de líquenes entre las diferentes estaciones de muestreo. AL=Altarani, ALC=Alto Coscore, CA=Calientes, CHA=Charaque, TA=Tala, LT=Lomas de tacahuay, LH=Lomas Huacaluna..... 94

**Figura 3-22.** Dendrograma de similitud de la cobertura de especie de líquenes entre las diferentes estaciones de muestreo generado en base al método Ward y distancia euclidiana. AL=Altarani, ALC=Alto Coscore, CA=Calientes, CHA=Charaque, TA=Tala, LT=Lomas de tacahuay, LH=Lomas Huacaluna..... 95

**Figura 3-23.** Box plot de elementos traza analizados de líquenes colectados de los sectores de AL=Altarani, ALC=Alto Coscore, CA=Calientes, CHA=Charaque, TA=Tala, LT=Lomas de tacahuay, LH=Lomas Huacaluna. Las unidades se expresan como mg/kg. Columnas con la misma letra indican diferencias no significativas de acuerdo con el test de Kruskal-Wallis/Holm- Bonferroni ( $p \leq 0,05$ )..... 98

**Figura 3-24.** Box plot de elementos traza (Mn, Hg, Ni, Pb, Zn) analizados de líquenes recolectados de los sectores de AL=Altarani, ALC=Alto Coscore, CA=Calientes, CHA=Charaque, TA=Tala, LT=Lomas de tacahuay, LH=Lomas Huacaluna. Las unidades se expresan como mg/kg. Columnas con la misma letra indican diferencias no significativas de acuerdo con el test de Kruskal-Wallis/ Holm- Bonferroni ( $p \leq 0,05$ )..... 99

**Figura 3-25.** Box plot de elementos traza (Mn, Hg, Ni, Pb, Zn) analizados en las diferentes especies de líquenes recolectados en las Lomas de tacahuay y Lomas Huacaluna. Las unidades se expresan como mg/kg. Columnas con la misma letra indican diferencias no significativas de acuerdo con el test de Kruskal-Wallis/ Holm- Bonferroni ( $p \leq 0,05$ ). 1=*Canoparmelia sp.1*; 2= *Canoparmelia texana*; 3= *Physcia eurupens*; 4= *Canoparmelia sp.*; 5= *Flavopunctelia flaventior*; 6= *Phaeophyscia sp.*; 7= *Parmotrema reticulatum*; 8= *Dirinaria applanata*; 9= *Physcia undulata*; 10= *Flavopunctelia sp.*; 11=*Parmotrema sp.* ..... 102

**Figura 3-26.** Box plot de elementos traza (Mn, Hg, Ni, Pb, Zn) analizados en las diferentes especies de líquenes recolectados en las Lomas de tacahuay y Lomas Huacaluna. Las unidades se expresan como mg/kg. Columnas con la misma letra indican diferencias no significativas de acuerdo con el test de Kruskal-Wallis/ Holm- Bonferroni ( $p \leq 0,05$ ). ..... 103

**Figura 3-27.** Box plot de elementos traza (Mn, Hg, Ni, Pb, Zn) analizados en las diferentes especies de líquenes recolectados en los sectores de Altarani, Alto Coscore, Calientes, Charaque, Tala. Las unidades se expresan como mg/kg. Columnas con la misma letra indican diferencias no significativas de acuerdo con el test de Kruskal-Wallis/ Holm- Bonferroni ( $p \leq 0,05$ ). 1=*Acarospora lorentzii*; 2=*Acarospora xanthophana*; 3=*Buellia sp.*; 4=*Calogaya saxicola*; 5=*Candelaria concolor* 7=*Everniopsis trulla* 8=*Lecidea sp. Physcia albata*; 9=*Physcia pachyphylla*; 10=*Placomaronea candelarioides*, 11=*Placomaronea mendozae*; 12=*Placomaronea sp.*; 13=*Psiloparmelia distincta*; 14=*Psiloparmelia subcrustosa*; 15=*Scutaria andina*; 16=*Squamulea squamosa*; 17=*Squamulea subsoluta*; 18=*Umbilicaria polyphylla*; 19=*Umbilicaria sp.*; 20=*Usnea durietzii*; 21= *Xanthoparmelia farinosa*; 22=*Xanthoparmelia flavescentireagens* ..... 106

**Figura 3-28.** Box plot de elementos traza (Mn, Hg, Ni, Pb, Zn) analizados en las diferentes especies de líquenes recolectados en los sectores de Altarani, Alto Coscore, Calientes, Charaque, Tala. Las unidades se expresan como mg/kg. Columnas con la misma letra indican

diferencias no significativas de acuerdo con el test de Kruskal-Wallis/ Holm- Bonferroni ( $p \leq 0,05$ )..... 107

**Figura 3-29.** Representación del número de conglomerados y las respectivas distancias de unión. (a) Método de distancia Intra-cluster (b) Método de la Silueta (c) Método de estadística de Brecha. .... 108

**Figura 3-30.** Cluster plot de K-medias en un análisis de componentes principales de la bioacumulación de metales traza de especie de líquenes entre los diferentes sectores de muestreo. AL=Altarani, ALC=Alto Coscore, CA=Calientes, CHA=Charaque, TA=Tala, LT=Lomas de tacahuay, LH=Lomas Huacaluna..... 109

**Figura 3-31.** Cluster plot de K-medias en un análisis de componentes principales de metales traza presente en las especies de líquenes recolectados los diferentes sectores de muestreo. AL=Altarani, ALC=Alto Coscore, CA=Calientes, CHA=Charaque, TA=Tala, LT=Lomas de tacahuay, LH=Lomas Huacaluna..... 109

**Figura 3-32.** Dendrograma de similitud de bioacumulación de metales traza por especie de líquenes entre los diferentes sectores de muestreo generado en base al método Ward y distancia euclidiana. AL=Altarani, ALC=Alto Coscore, CA=Calientes, CHA=Charaque, TA=Tala, LT=Lomas de tacahuay, LH=Lomas Huacaluna. .... 110

**Figura 3-33.** Dendrograma de similitud de concentración de metales traza por especie de líquenes entre los diferentes sectores de muestreo generado en base al método Ward y distancia euclidiana. AL=Altarani, ALC=Alto Coscore, CA=Calientes, CHA=Charaque, TA=Tala, LT=Lomas de tacahuay, LH=Lomas Huacaluna. .... 111

**Figura 3-34.** Agrupación y grado de correlación entre las variables factor de respuesta tóxica (FCE), riesgo ecológico (REE), índice de biodiversidad de Shannon ( $H'$ ), Simpson (D), Equidad de Pielou (J), temperatura ( $^{\circ}C$ ) y precipitación (mm) para el ecosistema de Lomas costeras..... 125

**Figura 3-35.** Agrupación y grado de correlación entre las variables factor de respuesta tóxica (FCE), riesgo ecológico (REE), índice de biodiversidad de Shannon ( $H'$ ), Simpson (D), Equidad de Pielou (J), temperatura ( $^{\circ}C$ ) y precipitación (mm) para el ecosistema matorral andino..... 125

**Figura 3-36.** Agrupación y grado de correlación entre las variables factor de respuesta tóxica (FCE), riesgo ecológico (REE), índice de biodiversidad de Shannon ( $H'$ ), Simpson (D), Equidad de Pielou (J), temperatura ( $^{\circ}C$ ) y precipitación (mm) para los ecosistemas de lomas costeras y matorral andino. .... 126



## INTRODUCCIÓN

El riesgo ecológico representa el riesgo que soporta el ecosistema y sus componentes, reflejando los impactos negativos de las actividades humanas y los cambios ambientales naturales al ecosistema (Ju et al., 2021). El aumento de la contaminación por material particulado (PM) y los metales pesados (MP) en el aire se ha convertido en un problema ambiental global (Baruah et al., 2021; Cheng et al., 2014; Haswani et al., 2023; X. Luo, Zhao, et al., 2019; Nirmalkar et al., 2021; Shojaee Barjoe et al., 2023) que pone en riesgo la funcionalidad de los ecosistemas altoandinos (Ccanccapa-Cartagena et al., 2023), lomas costeras (Gonzales et al., 2023; Rani et al., 2021).

Los ecosistemas altoandinos albergan una alta diversidad biológica, agrobiodiversidad y endemismo (Gonzales et al., 2023; Rolando et al., 2017), así también una gran reserva de carbono orgánico en suelos (COS) (Brück et al., 2023) y agua, que así mismo provisionan las demandas mineras, agrícolas, energéticas y urbanas (Correa et al., 2023; Vuille et al., 2008) confieren una especial relevancia ecológica a esta región. Sin embargo, los ecosistemas de gran altitud se encuentran entre los más frágiles de la Tierra, ya que muestran bajas tasas de recuperación después de una perturbación (Bierman-Lytle, 2015). La intensificación agrícola y la invasión de cultivos, el sobrepastoreo y las actividades mineras ponen en peligro la funcionalidad de sus ecosistemas y los servicios ecosistémicos (SE) que brindan (Rolando et al., 2017), por lo que son necesarios buscar estrategias de monitoreo y vigilancia.

En relación con los ecosistemas costeros, son muy importantes ya que el 40% de la población mundial vive cerca de la costa (Rani et al., 2021), el 70% de su capital industrial se concentran en zonas costeras dentro de un radio de 100 kilómetros (Zong et al., 2021). En el Perú se han registrado un promedio de 100 especies de plantas en cada loma costera (Talavera et al., 2017) con un endemismo del 30 %. A pesar de la gran cantidad de lomas costeras en todo el Perú, su diversidad taxonómica solo ha sido estudiada en 17 localidades (Gonzales et al., 2023), por lo que trabajos relacionados con el estudio de la diversidad florística en lomas son de gran relevancia. Se ha identificado que la principal causa de contaminación ambiental son actividades industriales como la minería metálica y no metálica, al contaminar la niebla marina con arsénico, aluminio, hierro y plomo (García Huazo, 2017), así como el MP emitido por las minas de cobre también puede bloquear u obstruir las estomas, afectando así los procesos fotosintéticos (Gonzales et al., 2023). A pesar

de las características excepcionales de las lomas costeras, los esfuerzos por conservarlas han sido limitados. Menos del 50% de las lomas costeras peruanas se encuentran bajo alguna categoría de protección.

El estudio de la distribución espacial de los MT y PM atmosférico es fundamental para la evaluación de la dispersión de partículas en los ecosistemas frágiles como las lomas costeras y la puna. El enfoque tradicional utilizado para la evaluación de las concentraciones de contaminantes del aire se basa generalmente en sitios de monitoreo en ubicaciones fijas, donde se dispone de un gran número de estas estaciones de vigilancia (Trzyna et al., 2023). Sin embargo, el coste muy elevado de una red de seguimiento basada en muestreadores de partículas tradicionales generalmente impide alcanzar estos objetivos. Los modelos matemáticos (Abraham et al., 2018), que a menudo revelan limitaciones como errores reducibles resultantes de entradas inadecuadas de datos sobre la calidad del aire y de dificultades de los modelos para describir un tema tan complejo (Massimi et al., 2019). Por lo tanto, existe una demanda creciente de técnicas de monitoreo de la calidad del aire de bajo costo que puedan aplicarse fácilmente con el objetivo de validar y optimizar modelos de dispersión.

Los líquenes ofrecen una oportunidad única para investigar los efectos biológicos de la contaminación del aire, proporcionando información confiable sobre la calidad y características del medio ambiente (Birke et al., 2018; Dörter et al., 2020; Forbes et al., 2015; Marié et al., 2016; Trzyna et al., 2023; Vardar et al., 2014). La falta de cutícula cerosa y estomas permite que muchos contaminantes sean absorbidos por toda la superficie del líquen (Paoli et al., 2012). Estos organismos simbióticos se han utilizado ampliamente en el biomonitoreo de la contaminación del aire, ya que se pueden usar tanto para estimar los efectos biológicos de los contaminantes midiendo los cambios de la biodiversidad a nivel de comunidad o población (riqueza de especies o abundancia total de especies) (Rocha et al., 2022), como para monitorear la acumulación de contaminantes persistentes, analizando su contenido de elementos traza (Sujetoviené et al., 2019; Vardar et al., 2014).

Esta tesis doctoral se enfocó en cuantificar los oligoelementos depositados desde la atmósfera, empleando líquenes como indicadores bioacumulativos, y en evaluar el riesgo ecológico potencial en las lomas de Amoquinto, Huacaluna, Tacahuay, así como en los distritos circundantes de Torata y Carumas, ubicados en la región de Moquegua. Destacándose como uno de los primeros trabajos que aborda la evaluación del riesgo

ecológico en ecosistemas altoandinos y de lomas costeras, este estudio demuestra concluyentemente que los líquenes son indicadores biológicos idóneos para detectar la contaminación por oligoelementos traza, ofreciendo una precisa representación de los impactos provenientes tanto de fuentes antropogénicas como naturales. Asimismo, se constata que los elementos traza identificados en los líquenes señalan predominantemente la contaminación generada por actividades industriales. Los resultados obtenidos en este trabajo son de gran relevancia para la evaluación del impacto ambiental de empresas industriales, planes de desarrollo concertado, estrategia del manejo de la biodiversidad y la anticipación de los efectos adversos de la contaminación expresados a través de la evaluación del riesgo ecológico.



## HIPÓTESIS

En los últimos años, la utilización de organismos cosmopolitas como indicadores para evaluar la calidad atmosférica ha experimentado un aumento notable. Estos organismos exhiben la capacidad de responder, reaccionar y adaptarse a los cambios en las condiciones ecológicas, ya sea a nivel individual o comunitario

Por lo que se postula:

- (i) Si los líquenes puede ser un bioindicador adecuado de la contaminación por oligoelementos que refleje los impactos multicomponentes y multifactoriales provocados por las actividades de origen antropogénico o natural en lomas costeras y matorral andino de la región de Moquegua.
- (ii) Si existe mayor riesgo ecológico potencial de los elementos traza en las zonas altoandinas de los distritos de Torata, Carumas con relación a las lomas de Amoquinto, Huacaluna, Tacahuay.

## OBJETIVOS

### Objetivo General

Determinar la variabilidad espacial y riesgo ecológico potencial de los elementos traza presentes en líquenes de las lomas costeras y zonas altoandinas de la región de Moquegua.

### Objetivos específicos

- Determinar la biodiversidad de líquenes presentes en las lomas de Amoquinto, Huacaluna, Tacahuay y zonas altoandinas de los distritos de Torata, Carumas.
- Determinar la composición química elemental de los elementos traza presente en los líquenes de las lomas de Amoquinto, Huacaluna, Tacahuay y zonas altoandinas de los distritos de Torata, Carumas.
- Evaluar el riesgo ecológico potencial de los elementos traza (Pb, Cd, Zn, Cu, Al, Fe, Ti, Ni, Cr, Mn, Hg) presente en los líquenes de las lomas de Amoquinto, Huacaluna, Tacahuay y zonas altoandinas de los distritos de Torata, Carumas.
- Analizar la correlación entre el factor de respuesta tóxica, el riesgo ecológico y el índice de biodiversidad en los ecosistemas de matorral andino y lomas costeras.



# CAPÍTULO I

## 1. MARCO TEÓRICO

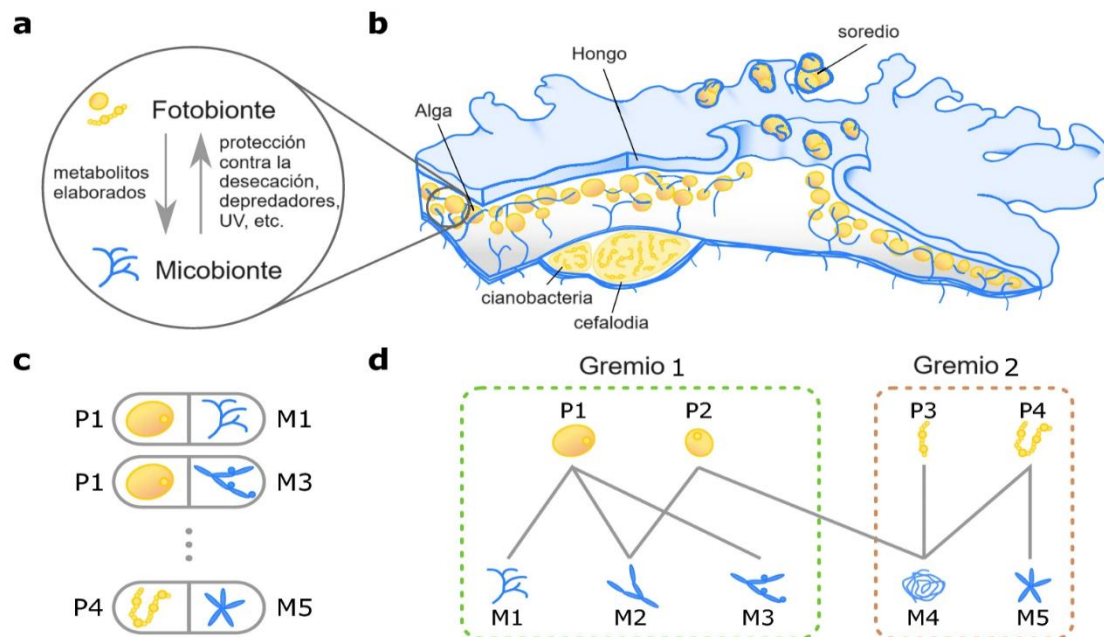
## 1.1 Líquenes

Los líquenes son una asociación simbiótica de una pareja de algas o cianobacterias (fotobionte) con un huésped fúngico (micobionte). Los líquenes crecen independientemente de los sustratos hospedantes, incluidas rocas, suelos, árboles y estructuras hechas por el hombre. Dado que carecen de un sistema de raíces, los líquenes absorben nutrientes o contaminantes principalmente a través de la deposición atmosférica, en especial por vía húmeda y seca. Su capacidad para crecer en diversos ambientes y resistir climas severos les permite capturar y retener nutrientes del aire (Anderson et al., 2022a).

Los líquenes son asociaciones simbióticas de un hongo (micobionte) y una pareja de algas o cianobacterias (fotobionte). Los hongos formadores de líquenes forman asociaciones con algas verdes eucariotas (ficobiontes), con cianobacterias procariotas (cianobiontes) o, en algunos casos, con simbiontes de algas y cianobacterias (Honegger, 1993). Los micobiontes forman el componente estructural principal de los líquenes, mientras que los fotobiontes ocupan un volumen relativamente pequeño en posiciones específicas dentro del líquen. Las hifas de la médula del micobionte que crecen hasta convertirse en una masa gelatinosa que rodea las células del fotobionte, reciben y distribuyen agua y nutrientes minerales y brindan espacio e iluminación óptima a los fotobiontes para la fotosíntesis (Ranković & Kosanić, 2019a). Las capas periféricas o “corteza” sirven como exoesqueleto para estabilización y protección. A su vez, los fotobiontes son células fotosintéticas cuya forma y función se integran con el hongo asociado: los fotobiontes proporcionan carbohidratos al huésped micobionte (Anderson et al., 2022a).

En la Figura 1-1., (a) se observa una representación esquemática de la simbiosis de líquenes a nivel ecológico. Los fotobiontes (amarillo) proporcionan fijación de energía a través de metabolitos elaborados, mientras que el micobionte (azul) comprende la mayor parte del cuerpo del líquen y brinda protección ante diversos desafíos ambientales. (b) Ejemplo de cuerpo de líquen, incluidos distintos órganos para segregar fotobiontes de algas y cianobacterias (por ejemplo, cefalodia). Aquí, la reproducción del líquen tiene lugar de forma asexual a través de soledio, que incluye tanto algas (amarillas) como hongos (azules) en cada propágulo. (c) Cada especie de líquen individual (cuadros grises) está compuesta por un micobionte (Mj) y uno o más fotobiontes (Pi). (d) El conjunto de asociaciones entre fotobiontes y micobiontes define una red bipartita, su análisis estructural puede revelar la

presencia de estructuras de mesoescala, como gremios, relacionadas con las relaciones ecológicas subyacentes y la historia evolutiva (Duran-Nebreda & Valverde, 2023).

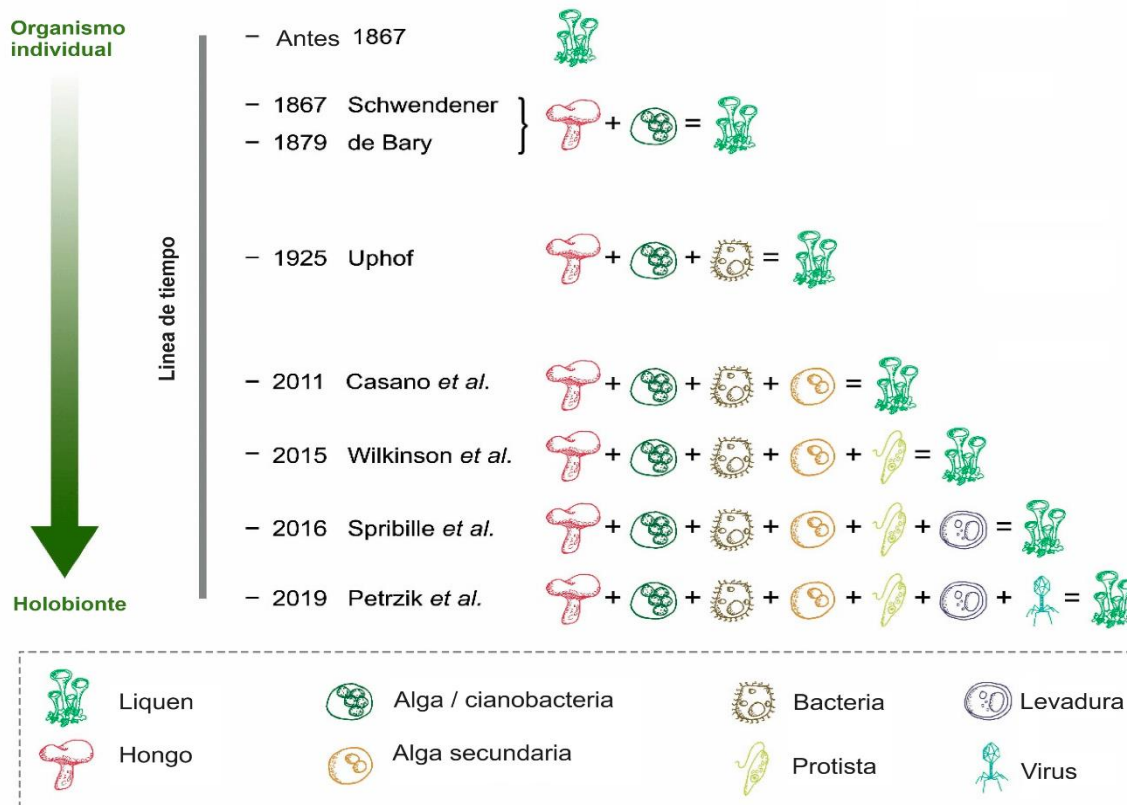


**Figura 1-1.** Una perspectiva de red sobre las simbiosis de líquenes (Duran-Nebreda & Valverde, 2023).

### 1.1.1. Origen evolutivo de los líquenes

Los líquenes han evolucionado más de diez veces de forma independiente en todo el árbol de la vida fúngico (Ametrano et al., 2022). Sus formas son un ejemplo exquisito de evolución convergente, cumpliendo funciones congruentes en linajes evolutivos no relacionados. Sin embargo, nos falta una comprensión integral de sus orígenes evolutivos y mecanicistas desde la perspectiva de todos los simbioses, incluido el hongo primario y su cohorte de socios fotosintetizadores (Allen & Lendemer, 2022). Hay más de 20.000 especies descritas de hongos líquenes que pertenecen a más de 100 familias de hongos (Lücking et al., 2016a). Estos van desde linajes muy diversos que sufren radiaciones rápidas hasta linajes antiguos menos diversos que pueden ser fósiles vivos. La riqueza de especies y la diversidad evolutiva de los socios fotosintetizadores aún no se conocen por completo, pero los avances recientes sugieren una diversidad notable y previamente subestimada en todas las escalas evolutivas (Allen & Lendemer, 2022). Sin embargo, la falta de evidencia experimental sobre el microbioma del líquen obstaculizó nuestra capacidad de revelar la red de interacciones

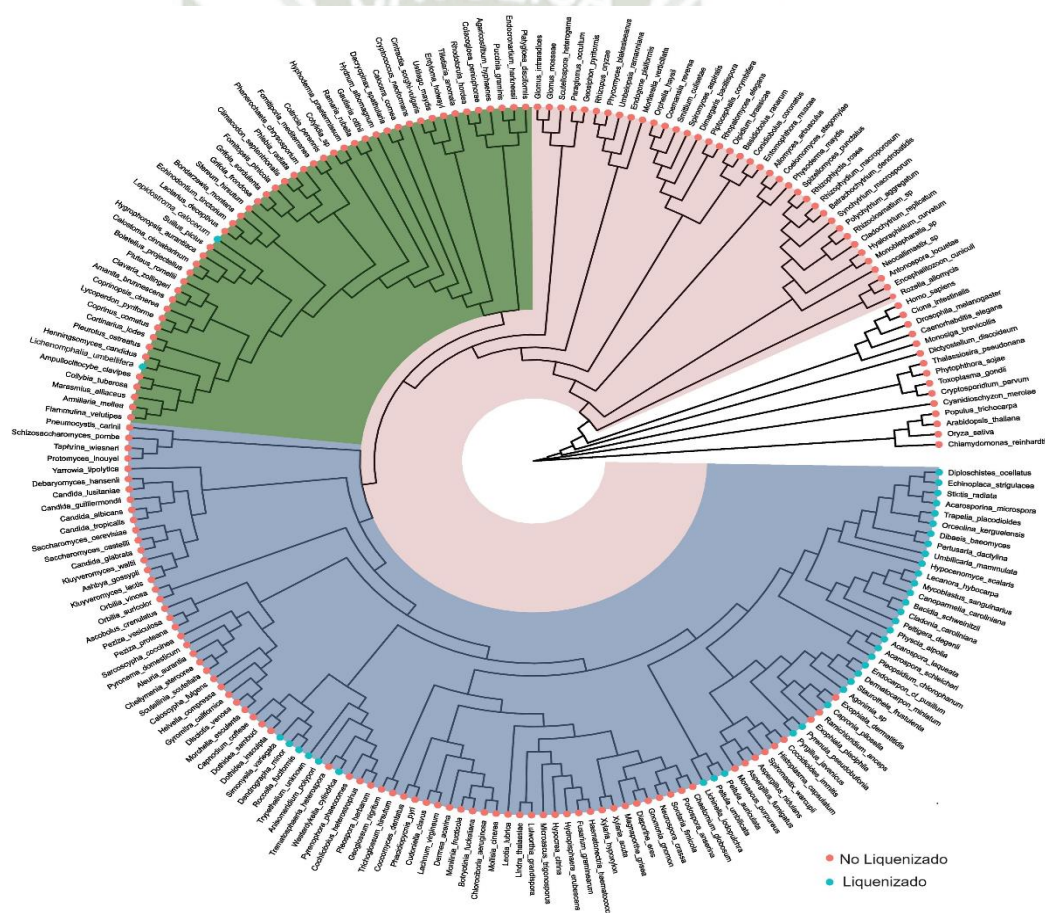
dentro de este holobionte. A diferencia de lo que se creía tradicionalmente, el fotobionte no debe limitarse a una sola cepa de algas (Casano et al., 2011) y los protistas e incluso los virus pueden formar asociaciones simbióticas con líquenes (Morillas et al., 2022) (Fig. 1 - 2).



**Figura 1-2.** Línea temporal que indica el momento en que se descubrieron los diferentes componentes de la asociación de líquenes. Esta figura refleja el viaje desde la consideración de los líquenes como un solo organismo hasta la compleja relación simbiótica de múltiples socios conocida hoy en día (Duran-Nebreda & Valverde, 2023).

Conceptualizar un líquen significa dar cuenta de una amplia gama de microorganismos relacionados, proporcionando el ejemplo ideal de un holobionte, compuesto por un micobionte dominante y un microbioma diverso (Simon et al., 2019). Esta red evolucionada de conexiones bióticas cuya morfología está determinada por el micobionte, está al servicio de la aptitud de todo el superorganismo. Hawksworth y Grube (Hawksworth & Grube, 2020) redefinieron la simbiosis de líquenes como: "un ecosistema autosostenible formado por la interacción de un hongo exhabitante, una disposición extracelular de uno o más socios fotosintéticos y un número indeterminado de otros organismos microscópicos" (Bennett et al., n.d.). El estilo de vida de los líquenes representa más de la mitad de todos los

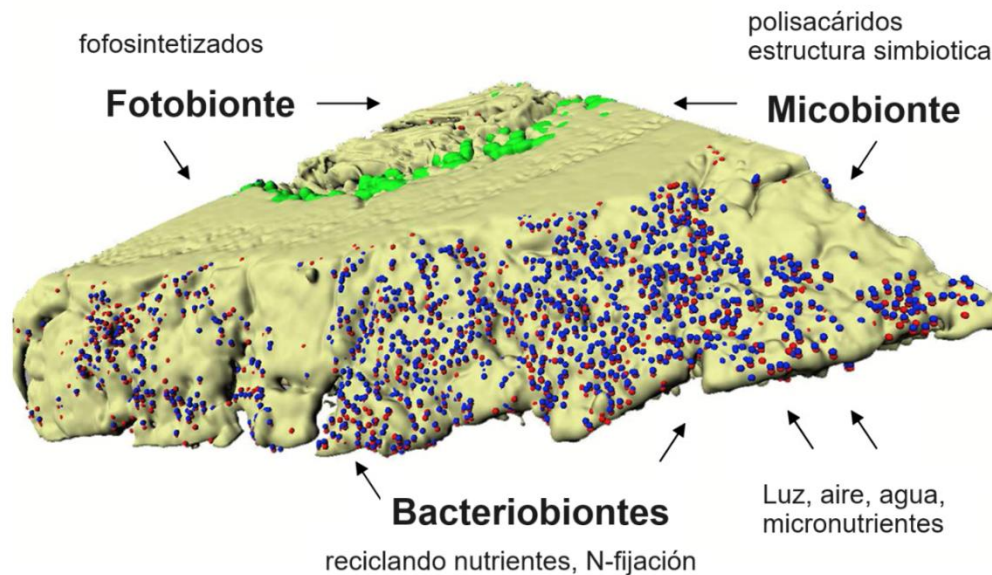
ascomicetos, con teóricamente cinco orígenes evolutivos del estilo de vida entre los hongos, lo que hace que esta forma fúngica sea una entidad muy exitosa pero aún confusa (Lutzoni & Miadlikowska, 2009)( Fig. 1-3). Los líquenes han sido observados por los científicos y utilizados con fines medicinales y colorantes desde la antigüedad; incluso fueron estudiados por Aristóteles (Carr et al., 2021). Desde su descubrimiento inicial, nuestra comprensión de los líquenes se ha alterado drásticamente y sigue cambiando en la actualidad. Los líquenes fueron originalmente descritos y reconocidos como plantas. Sin embargo, en 1867, Herman Schwendener propuso que los líquenes eran, en cambio, un conglomerado de hongos (el micobionte) y algas o cianobacterias (el fotobionte/ficobionte y cianobionte respectivamente) (Grube et al., 2015)( Fig. 1-4 ).



**Figura 1-3.** Árbol filogenético de los linajes de hongos que han desarrollado la forma de líquen. El linaje completo de hongos está representado en la parte rosa del árbol, donde la rama verde representa el linaje de los basidiomicetos y las partes azules representan los hongos ascomicetos (Carr et al., 2021).

Hasta hace poco, este era el paradigma reinante de la simbiosis de líquenes, pero con la llegada de las modernas tecnologías de secuenciación hemos modificado nuestra

comprensión de lo que constituye un líquen. Los investigadores ahora están empezando a comprender que los líquenes no contienen sólo dos organismos o “socios”, sino más bien un consorcio completo de microbios, que puede incluir incluso bacterias y arqueas (Cardinale et al., 2008; Grube et al., 2015).



**Figura 1-4.** Reconstrucción 3D de la imagen confocal laser scanning Microscopy (CLSM). Colonización de bacterias en un fragmento de talo de *Lobaria pulmonaria*, con un esquema general de las contribuciones funcionales en las simbiosis de líquenes. Fotobionte, micobionte y Bacteriobionte (Grube & Berg, 2009).

Los diversos orígenes evolutivos polifiléticos de los líquenes (Fig. 1-3), junto con la disponibilidad de múltiples posibles socios dentro de una "especie" determinada, contribuyen a su naturaleza enigmática (Lücking et al., 2016b). Los líquenes se clasifican en función de varias características, pero normalmente el taxón del fotobionte y la morfología estructural del talo proporcionan la base para la clasificación de un tipo de líquen, como *Xanthoria parietina*, que es un líquen de tipo folioso *Trebouxiod*. Mientras que el nombre de taxón que se le da al líquen también se le da al micobionte (o viceversa), por ejemplo: *Endocarpon pusillum* el líquen con la especie de micobionte *Endocarpon pusillum* y la especie de fotobionte *Diplosphaera chodatii*. La plasticidad fenotípica puede conducir entonces a una separación taxonómica innecesaria y a confusión en la comprensión de la biología y la diversidad de los líquenes (Carr et al., 2021).

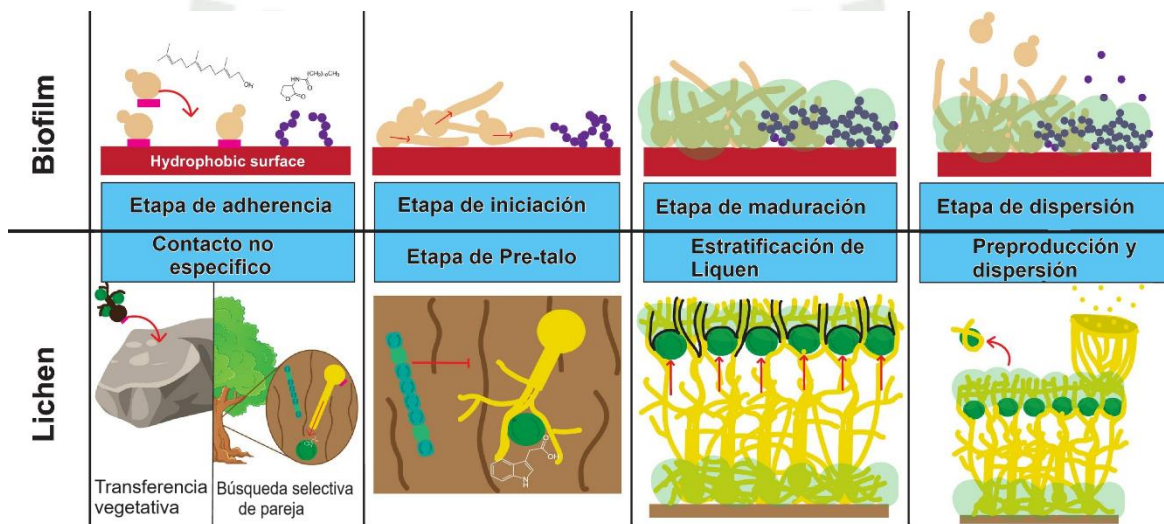
Los líquenes que contienen múltiples fotobiontes (o micobiontes) y los líquenes promiscuos que pueden elegir entre múltiples socios aumentan aún más la confusión en la nomenclatura. Ejemplos de especificidades fenotípicas que conducen a problemas de nomenclatura incluyen: indicaciones recientes de que algunos líquenes contienen múltiples socios fúngicos (ascomicetos y basidiomicetos) que son necesarios para la especiación del líquen (Tuovinen et al., 2019), micobiontes que son capaces de asociarse con una variedad de fotobiontes asociados y líquenes que pueden contener más de un fotobionte simultáneamente (Henskens et al., 2012).

En aras de la simplicidad, las características y descripciones de los líquenes a las que se hace referencia aquí serán amplias y no específicas de ningún morfotipo de líquen en particular y es posible que no representen todos los taxones de líquenes. Esta diversidad de estrategias de historia de vida también ha provocado que la comprensión de los líquenes vaya a la zaga de la de otros organismos, pero las tecnologías de secuenciación de nucleótidos más recientes han ayudado a ampliar nuestro conocimiento de estas comunidades. Para comprender la historia de vida de los líquenes es apropiado entender su biología centrándose en el hecho de que existen de manera similar a las biopelículas microbianas (Blaha et al., 2006; Piercey-Normore & DePriest, 2001).

### ***1.1.2. Formación de un líquen***

En 1993, Honegger propuso un modelo para la formación de líquenes utilizando datos morfológicos, que ha sido ampliamente adoptado. El desarrollo de biopelículas sigue cuatro etapas principales: 1) adherencia, 2) iniciación, 3) maduración y 4) dispersión (HONEGGER, 1993). Cada etapa tiene requisitos microbianos específicos e interruptores genéticos, que cambian entre las etapas de formación. Estas etapas se parecen a las del desarrollo del talo del líquen como se describe en la literatura sobre la sucesión morfológica de la liquenización. Según Honegger, las etapas de la liquenización son: 1) contacto y reconocimiento no específicos, 2) formación previa al talo, 3) estratificación del talo y 4) reproducción y dispersión del talo maduro (Fig. 3). Aunque la terminología puede diferir entre las etapas de desarrollo de biopelículas y líquenes, los procesos biológicamente significativos están alineados en las cuatro etapas. La primera etapa incluye la adherencia a la superficie o al compañero en la literatura sobre líquenes y la identificación de organismos

vecinos. La segunda etapa implica un cambio en el tipo de crecimiento celular. La tercera etapa es la diferenciación de morfotipos celulares. y formación de matrices. La etapa final es la dispersión de las células a través de esporas vegetativos o propágulos. En particular, el tiempo que tardan las células en pasar por cada etapa varía significativamente entre estas comunidades. Los líquenes tardan años en crecer, mientras que algunas biopelículas tardan sólo unas horas. Independientemente de la escala de tiempo, estas dos comunidades comparten grandes similitudes biológicas en cada etapa de su desarrollo (Fig. 1-5).



**Figura 1-5.** Resumen de las etapas de desarrollo de las biopelículas, representadas por *Candida albicans* (beige) y *Streptococcus gordonii* (morado), y líquenes con el micobionte *Xanthoria parietina* en amarillo y los fotobiontes en verde (algas y cianobacterias).

En la Figura 1-5., se describe la etapa de adherencia y contacto no específico son las primeras etapas del desarrollo de biopelículas y líquenes, respectivamente. Ambos son conocidos por la unión de células a una superficie hidrofóbica (roca, corteza o tubo de catéter) a través de varias proteínas hidrofóbicas representadas con un rectángulo rosa. Las etapas de iniciación y pre-talo son las segundas etapas de desarrollo. Esta etapa está relacionada con la diferenciación celular, donde *C. albicans* inicia el cambio al crecimiento de las hifas y los micobiontes inician la ramificación de las hifas. Las terceras etapas son la etapa de maduración y la etapa de estratificación del liquen. En estas etapas tanto las biopelículas como los líquenes crean zonas diferenciales de células y forman su matriz extracelular. Las biopelículas forman micronichos que dan lugar a microcolonias y huecos intersticiales. que permiten cierto intercambio gaseoso. Los líquenes separan en 3 secciones principales la corteza superior donde se encuentra la mayor parte de la matriz extracelular (MEC) y las

células fotobiontes se ubican justo debajo, la capa talina medular que se cree que está compuesta principalmente de aire o sustancias desconocidas (Honegger & Haisch, 2001) y la capa inferior de la corteza, que se considera que también tiene MEC y es responsable de la unión del líquen a la superficie. La etapa final es la etapa de dispersión, o reproducción y dispersión en líquenes. Esta etapa puede ser causada por reproducción o liberación vegetativa de células por perturbación externa o intencionalidad de la comunidad (Carr et al., 2021).

### 1.1.3. Crecimiento y clima

El crecimiento y los procesos metabólicos en los líquenes, como la fotosíntesis, dependen en gran medida de las condiciones climáticas y de humedad (Watkinson, 2016). Los líquenes pueden sobrevivir a períodos de desecación en estado de latencia, y pueden rehidratarse y activarse fácilmente mediante la lluvia, el deshielo, el rocío o la humedad, con restauración de la actividad metabólica (Aubert et al., 2007). Las tasas de crecimiento son relativamente rápidas en regiones húmedas y temperaturas suaves (por ejemplo, bosques tropicales templados), mientras que son mucho más lentas en ambientes secos, árticos continentales, antárticos y alpinos (Sancho et al., 2019). Las tasas de crecimiento difieren para los líquenes crustosos, foliosos y fruticosos, difieren de un año a otro. Las tasas de crecimiento también están influenciadas por las condiciones del hábitat, como el espesor de la estera, la cercanía de las capas de arbustos o la cobertura de musgo (Abdulmanova & Ektova, 2015). La Tabla 1., describe la tasa de crecimiento de los líquenes en sus tres formas.

La bibliografía detalla que en *Cladonia*, el crecimiento ocurre en tres períodos generales (Anderson et al., 2022b): hay (1) un período de acumulación, es decir, la formación de podocio, cuando la longitud del podocio aumenta. Este período puede durar de 10 a 25 años. El período de renovación (2) presenta una tasa de crecimiento igual para la parte superior en comparación con la tasa de descomposición de la base. Este período puede durar varias décadas. Finalmente, (3) el período de degeneración, cuando la tasa de descomposición excede el crecimiento desde arriba. La duración de este período es similar a la del período de acumulación. La edad de las alfombras de líquenes reportada en la literatura puede variar ampliamente, es decir, desde unos pocos a decenas de años (para líquenes foliosos y fruticosos), hasta cientos o miles de años (Armstrong, 2015a).

**Tabla 1-1.** Rango de tasas de crecimiento de las tres formas principales de líquenes

Forma de crecimiento	Tasa de crecimiento (mm año <sup>-1</sup> ) y especies	Ubicación	Referencia
<b>Crustosa</b>	(especies no especificadas) 0.25–1	N / A	Easton (1994)
	<i>Pertusaria sp.</i> : 0.5–1.20	Escocia	Garnett y Bradwell (2010)
	<i>Buellia fría</i> ; <i>Buellia tardía marginata</i> : 0.01–0.44	Antártida	Sancho et al. (2019)
<b>Foliose</b>	(especies no especificadas) 0.01–4	N / A	Easton (1994)
	(especies no especificadas) 0.01–27	N / A	Armstrong y Bradwell (2011)
<b>Fruticose</b>	(especies no especificadas) 1.6–10	N / A	Easton (1994)
	<i>Cladonia alpestris</i> : 3.4 (2.5–4.8)	Canada	Scotter (1963)
	<i>C. leve</i> : 3.6 (2.7–4.9)		
	<i>C. rangiferina</i> : 4.1 (2.7–6.0)		
	<i>C. rangiferina</i> : 5.9 (3.9–7.7)	Finlandia	Vasander (1981)
	<i>C. arbúscula</i> : 6.0 (4.6–7.5)		
	<i>Cladonia.</i> : 1.2–10.9	Rusia	Abdulmanova y Ektova (2015)

**Fuente:** (Anderson et al., 2022b)

#### 1.1.4. Absorción de nutrientes y metabolitos

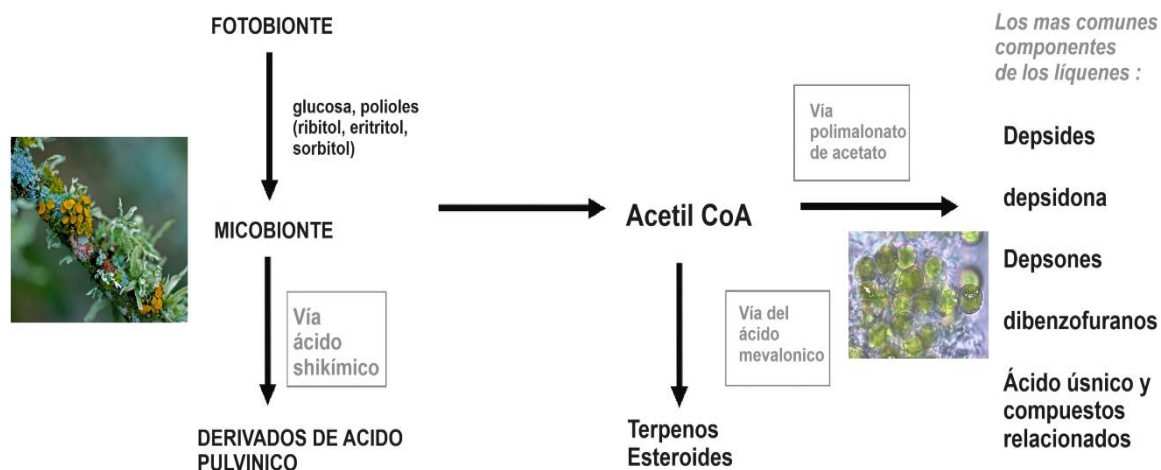
Los líquenes obtienen sus nutrientes de la precipitación húmeda, del intercambio directo de gases y de partículas secas. Las fuentes de elementos incluyen rocas de la corteza terrestre y partículas de suelo suspendidas por los vientos, material de actividad geotérmica y volcánica, sal marina en el aire, cenizas de incendios forestales y partículas cósmicas interplanetarias. Las fuentes antropogénicas incluyen actividades mineras (trituration, resuspension de

relaves), quema de carbón, procesamiento de metales y otras actividades industriales, emisiones del ciclo del combustible nuclear, pruebas de armas y accidentes nucleares (Graney et al., 2019; Mróz et al., 2018).

La absorción de agua y nutrientes minerales disueltos se produce en los líquenes a través de la corteza. Los nutrientes son posteriormente translocados dentro de los talos del líquen o en el espacio medular (Honegger, 1991). Los macronutrientes esenciales incluyen C, P, N, K, Na, Ca, Mg, mientras que los micronutrientes incluyen Zn, Cu, Co, Mo, V, Ni, Fe, (Asplund & Wardle, 2017). A su vez, algunos elementos como Pb, Hg o Cd no tienen función biológica conocida (Gupta et al., n.d.)

Los líquenes producen sustancias que pueden clasificarse en dos grupos generales: metabolitos primarios (intracelulares) y metabolitos secundarios (extracelulares). Algunos de ellos son producidos por el micobionte y otros por el fotobionte. Los metabolitos primarios incluyen proteínas, aminoácidos, polioles, carotenoides, polisacáridos y vitaminas (Ranković & Kosanić, 2019b). En general, estas sustancias son solubles en agua. La mayoría de los metabolitos primarios no son específicos de los líquenes y pueden ocurrir en hongos, algas y plantas superiores de vida libre (Elix & Stocker-Wörgötter, 2008). Los metabolitos secundarios son de origen fúngico y constituyen la mayoría de las sustancias orgánicas de los líquenes; generalmente se encuentran en las superficies de las hifas y no dentro de las células.

La mayoría de los metabolitos secundarios son exclusivos de los líquenes y no son comunes en otros hongos o plantas superiores. Estas sustancias son poco solubles en agua y muy estables (Ranković & Kosanić, 2019c). Ejemplos de metabolitos secundarios son dibenzofuranos y ácidos úsnicos, depsidas, depsidonas, depsonas, quinonas, lactonas, xantonas y derivados del ácido pulvínico. Muchos de estos metabolitos tienen capacidades quelantes y desempeñan un papel en la absorción e inmovilización de metales (Boustie & Herbette, 2015) (Fig. 3). Estos metabolitos pueden liberarse en el espacio extracelular y cristalizar en o cerca de la superficie de las hifas en la médula o en la corteza (Ranković & Kosanić, 2019c).



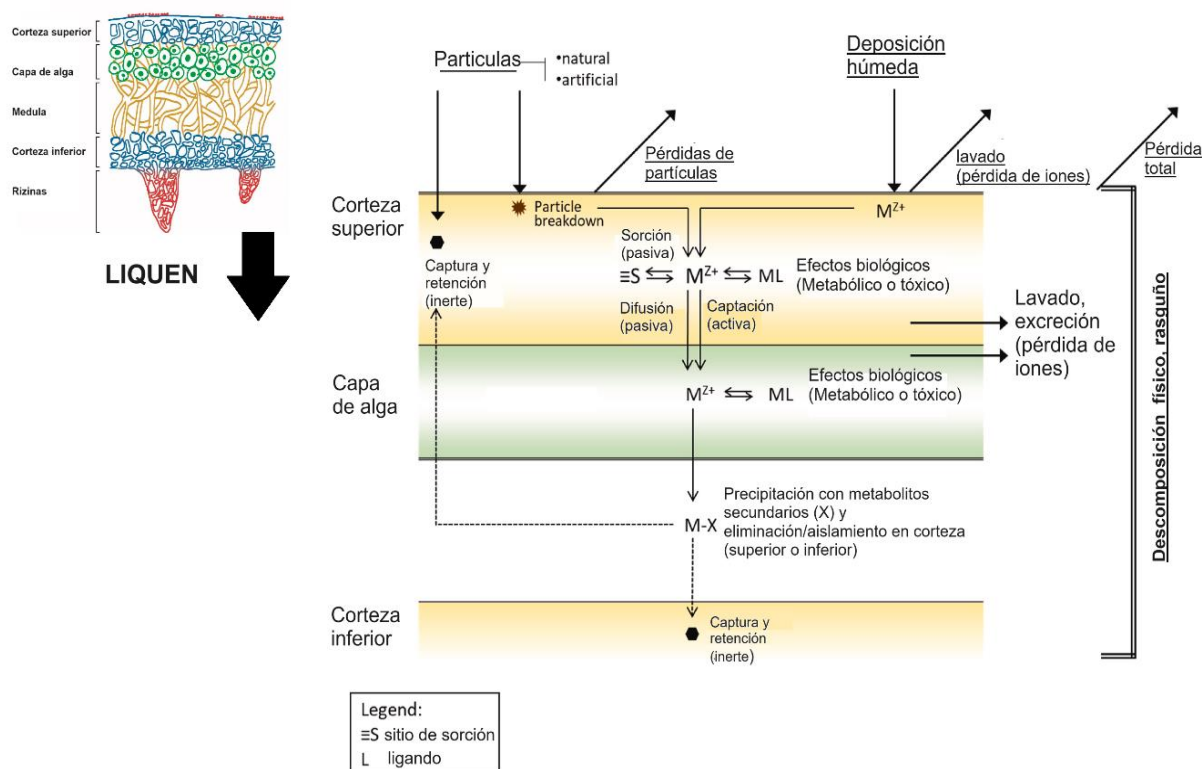
**Figura 1-6.** Vías biosintéticas simplificadas de metabolitos secundarios en líquenes (adaptado de Ranković & Kosanić, 2019c).

Los fotobiontes de líquenes fijan carbono y suministran la mayoría de los carbohidratos producidos al micobionte en forma de glucosa (cianobiontes) o como polioles como ribitol, eritritol y sorbitol. Los micobiontes los convierten en otros azúcares, como el manitol; Algunas de las especies basadas en carbono pueden desplegarse en las paredes celulares y usarse más en la síntesis de sustancias específicas de los líquenes (Daillant et al., 2004). Tanto los micobiontes como los fotobiontes pueden capturar y retener iones (macronutrientes, micronutrientes y otros metales) ya sea extra o intracelularmente (Garty, 2001a).

### 1.1.5. Absorción de metales y elementos tóxicos

La absorción y movilidad de metales esenciales y tóxicos está influenciada por la forma físico-química o "especiación" de los elementos (Branquinho et al., 1999). Los líquenes pueden absorber y acumular metales en forma disuelta y en partículas. Los líquenes pueden atrapar partículas ya formadas, generalmente en el espacio intercelular de la médula o en la corteza (Bačkor & Loppi, 2009a). También pueden modificar su mecanismo químico interno para descomponer partículas minerales que están físicamente atrapadas, haciendo así que los elementos constituyentes estén químicamente disponibles (de Vasconcelos et al., 2015). En consecuencia, es posible una disolución parcial de los metales a partir de partículas, seguida de una posterior redistribución de estos elementos dentro del líquen talo (Purvis" et al., 2000).

Los metales disueltos pueden acumularse extra o intracelularmente tanto en el micobionte como en el fotobionte (ver Fig. 1-7). La proporción del contenido de metales extra e intracelulares en los líquenes depende de la especie y del elemento; las diferencias en la proporción de estas dos formas de acumulación aún no se comprenden bien (Rola, 2020). La acumulación extracelular de metales se encuentra principalmente dentro de la corteza o dentro de la médula. La absorción de metales extracelulares puede tener lugar mediante complejación en sitios de intercambio catiónico en las paredes celulares de los líquenes (indicados como  $\equiv S$  en la Fig.1-7), como grupos funcionales hidroxilo, carboxilo, fosfato, amina o sulfhidrilo (Garty, 2001b). Los metales pueden unirse químicamente a metabolitos secundarios extracelulares que actúan como ligandos (L en la Fig. 1-7) en pigmentos de melanina, polisacáridos o podrían precipitarse como cristales de oxalato (Casano et al., 2015). Este El mecanismo de sorción es a menudo un proceso físico-químico (Bhainsa & D'Souza, 2009). Depende en gran parte de las superficies de las paredes celulares, del pH de la solución (que impacta en la superficie de la pared) y de la especiación de los metales (también influenciada por el pH).



**Figura 1-7.** Modelo actualizado para la absorción de radiocontaminantes en líquenes (señalado como M y  $M^{Z+}$ ; basado en la revisión Anderson et al. 2022by en cifras de Salbu et al. 2015).

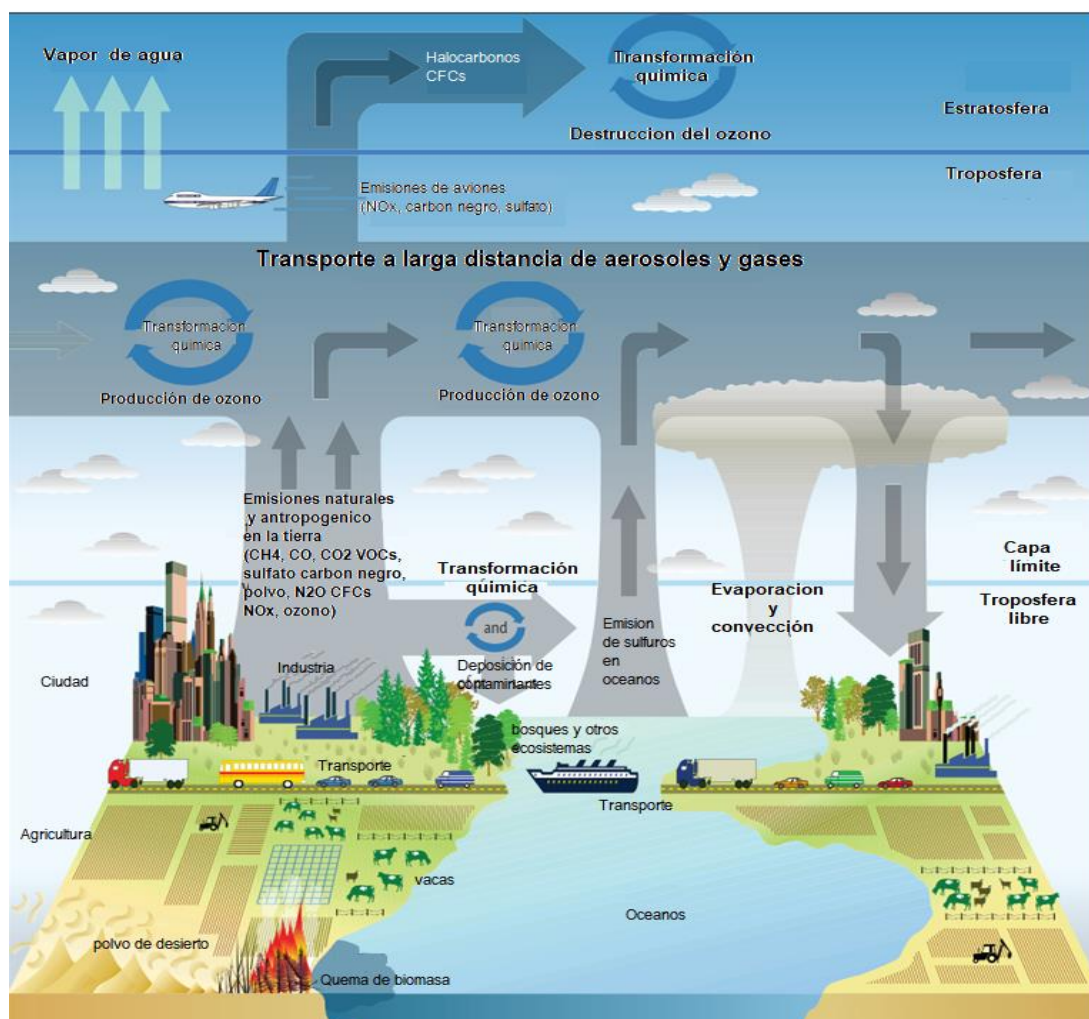
La acumulación extracelular/hifal se considera un importante mecanismo de defensa contra el exceso de metales (Bačkor & Loppi, 2009a). La absorción de metales puede tener lugar después de una etapa de sorción/desorción desde sitios en las paredes celulares u otras superficies. La absorción intracelular/hifal en el fotobionte (alga o cianobacteria) del líquen puede ocurrir a través de difusión (pasiva) o mediante bombas celulares en las paredes celulares (activas). La presencia de metales dentro de las hifas puede tener consecuencias biológicas, ya sean positivas (metabólicas) o negativas (tóxicas). El lavado por lluvia o agua y la excreción contribuyen a la pérdida de metales. Las pérdidas de metal también pueden ocurrir por medios físicos (p. ej., rotura estructural, pastoreo). Los líquenes tienden a excluir el exceso de metales mediante eflujo y compartimentación para mantener el funcionamiento metabólico normal. Por ejemplo, atrapan metales en cuerpos concéntricos y vacuolas (en micobiontes) o en cloroplastos (fotobiontes) (Bačkor & Loppi, 2009b). Se sabe que los líquenes sintetizan quelantes intracelulares como el glutatión o las fitoquelatinas formadoras de complejos metálicos. Además, diferentes especies de líquenes cambian los parámetros fisiológicos en respuesta a los contaminantes, por ejemplo, pueden cambiar la integridad de la membrana celular, la composición de los pigmentos fotosintéticos o la eficiencia de la fotosíntesis (Bačkor & Fahselt, 2004). Los fotobiontes son generalmente más sensibles que los micobiontes al estrés abiótico, incluido el estrés metálico (Sanità Di Toppi et al., 2005)

### ***1.2 Contaminación ambiental***

El medio ambiente es un sistema intrincado y heterogéneo formado por elementos tanto bióticos como abióticos. La riqueza de la biodiversidad, la salud de los ecosistemas y el bienestar de todos los organismos vivos, incluidas las personas, están directamente relacionados con la calidad ambiental. La introducción de contaminantes naturales o antropogénicos en un ecosistema determinado puede provocar cambios indeseables en las características físicas, químicas y biológicas del medio ambiente. Esto puede resultar en contaminación ambiental, que puede dañar a los seres vivos y la calidad de las composiciones abióticas en el aire, el agua y la tierra (Warnasuriya et al., 2023).

Los contaminantes ambientales suelen ser subproductos o desechos generados por procesos industriales, prácticas agrícolas, sitios contaminados, eliminación inadecuada de desechos y calamidades naturales. La mayoría de los contaminantes son contaminantes orgánicos persistentes emergentes, como los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), los hidrocarburos del petróleo (PHC), los hidrocarburos halogenados, los pesticidas, los

elementos potencialmente tóxicos (PTE) como los metales y los compuestos radiactivos. Otros factores físicos de la contaminación ambiental son los pulsos electromagnéticos, el calor, el polvo y el ruido (Warnasuriya et al., 2023).

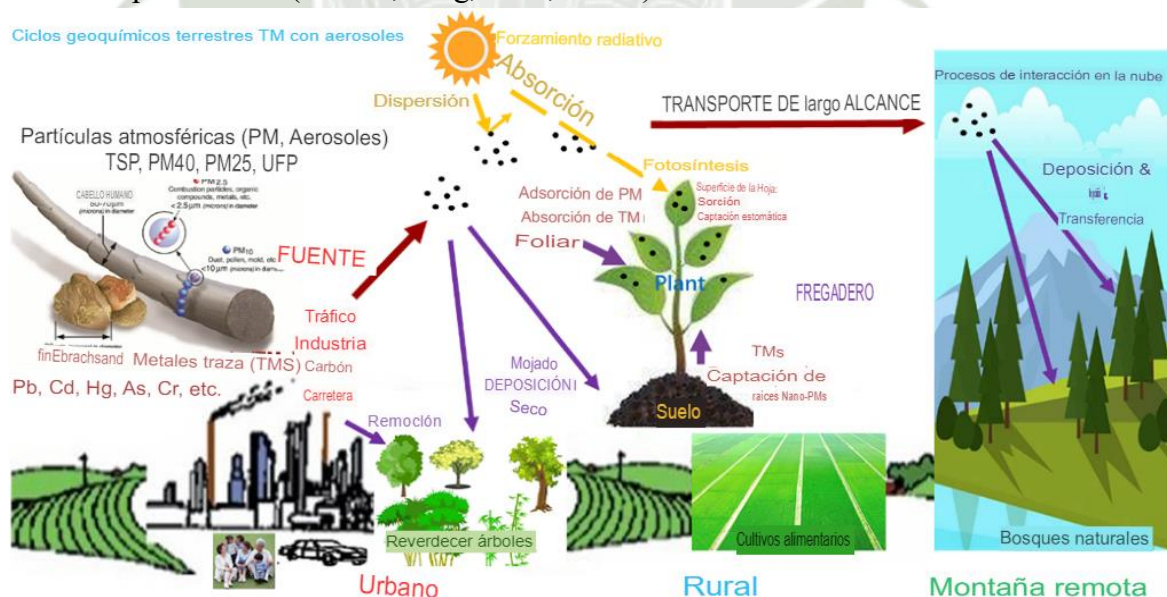


**Figura 1-8.** Fuentes, transporte, transformación y destino de los contaminantes atmosféricos (Guarnieri & Balmes, 2014).

La existencia de contaminantes en el medio ambiente, como reservorio final de la mayoría de los contaminantes, se ha convertido en un riesgo para el ecosistema (Zaghloul et al., 2020). Por lo tanto, los esfuerzos continuos para identificar, controlar y eliminar contaminantes son una de las principales preocupaciones en el campo (Fig. 1-8). Se deben identificar los orígenes y reservorios de los contaminantes ambientales y se pueden desarrollar y optimizar métodos analíticos teniendo en cuenta el riesgo potencial y el impacto económico (Caughlan & Oakley, 2001). Los esfuerzos de monitoreo exitosos deben ser ecológicamente significativos, estadísticamente confiables y rentables.

### 1.2.1. Material particulado (PM) y metales traza (MT) asociados a la contaminación a los ecosistemas

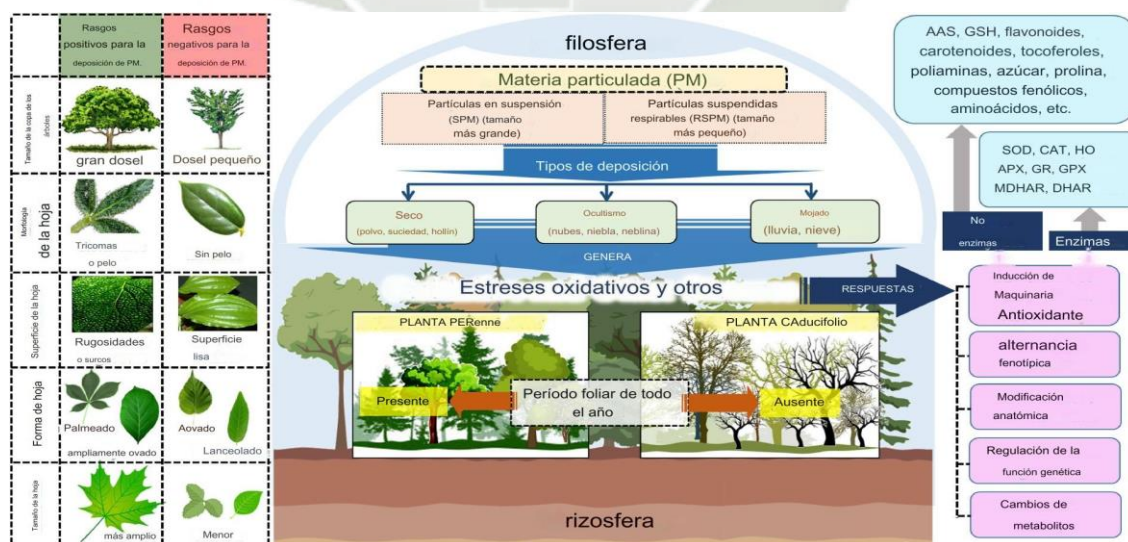
Los aportes globales de metales antropogénicos a los ecosistemas a través del aire, el agua y los suelos han aumentado sustancialmente en todo el mundo durante el último siglo, debido a las actividades humanas (Minganti et al., 2014). Uno de las fuentes principales de contaminación hacia los ecosistemas es la contaminación por partículas atmosféricas (PM) o partículas de aerosol y la contaminación por metales traza (MT) (X. Luo, Bing, et al., 2019a). Los aerosoles también pueden ejercer efectos climáticos e hidrológicos a través de la absorción y dispersión de la luz, el crecimiento higroscópico y la actividad de los núcleos de condensación de las nubes (Banerjee et al., 2016). Para el ecosistema terrestre, la contaminación por aerosoles está alterando significativamente los procesos de transferencia radiativa y, por lo tanto, está afectando potencialmente el crecimiento de las plantas a través de la fotosíntesis (Fig. 1-9). Como medios ambientales móviles y suspendidos, el PM atmosféricas con MT asociadas también podrían ser retenidas por las hojas de las plantas o ingresar al ambiente del suelo por deposición seca o húmeda, participando en los ciclos biogeoquímicos de las MT. Por lo tanto, tanto las MP como las MT en el aire influirán en el comportamiento ambiental y los efectos de las MT en los sistemas suelo-plantas a través de estas múltiples formas (X. Luo, Bing, et al., 2019a).



**Figura 1-9.** Material particulado atmosféricos y elementos traza. La figura muestra el MP y MT asociadas que participan en el ciclo biogeoquímico terrestre de los elementos traza en varios sistemas suelo-plantas, incluidos suelo urbano-árbol, suelo agrícola-cultivos, y sistemas montañosos remotos suelo-bosque (X. Luo, Bing, et al., 2019b).

A diferencia de los problemas ecológicos de los MT en la biota del entorno urbano, los MT en el sistema agrícola impactan la seguridad alimentaria en la salud humana por la contaminación de la cadena alimentaria del suelo-cultivo de las tierras agrícolas, que también está significativamente influenciada por la entrada de PM atmosféricos ricos en MT transportados desde cerca por áreas urbanas e industriales, especialmente para la agricultura periurbana (M. Luo et al., 2018).

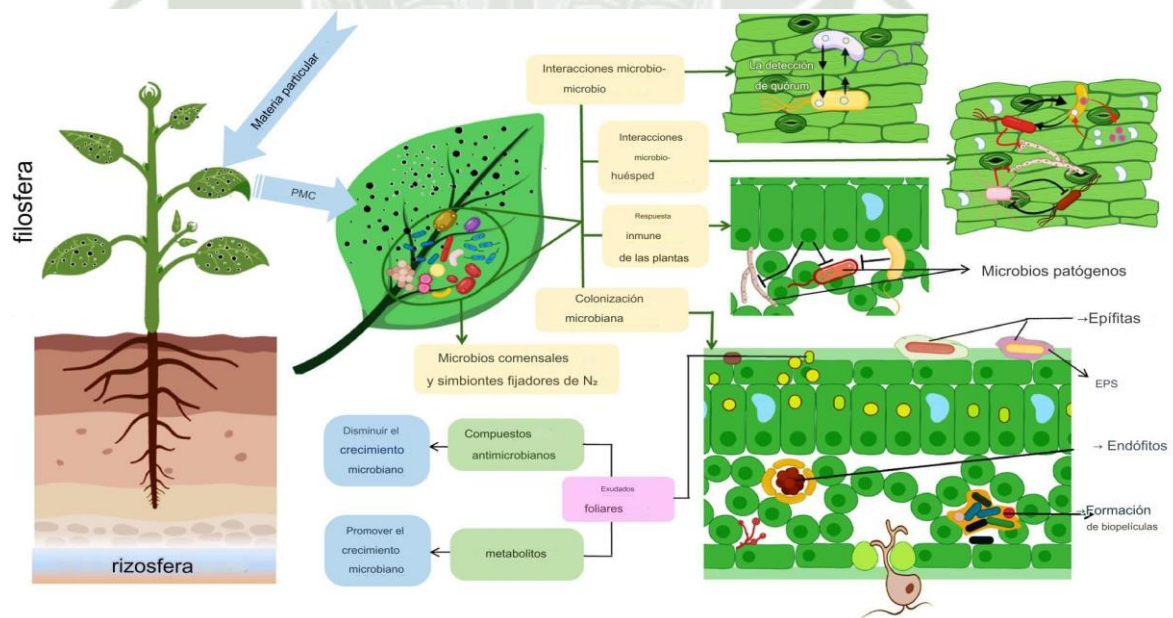
El PM atmosférico no solo aumentan el contenido de MT en los suelos por deposición, sino que también inducen algunos impactos directos o indirectos en el crecimiento de los cultivos, flora de ecosistemas naturales y la acumulación de MT por absorción foliar o efectos climáticos (X. Luo, Bing, et al., 2019b). Es importante definir que el MP es un conjunto de partículas sólidas y/o líquidas, presentes en la atmosfera, estas son directamente emitidas al aire, mediante hollín de diésel, polvo de vías y partículas de procesos productivos (Hao et al., 2019; Quijano, Mateus, Saint’Pierre, Bott, & Gioda, 2019; X. Wang & Sun, 2019). Las partículas se depositan en el aire y se depositan en la vegetación. Esta deposición puede tener tres modos diferentes: (i) deposición seca (se sedimenta desde el aire), (ii) deposición húmeda (lluvia o nevada) y (iii) deposición oculta (nubes, niebla, neblina, etc.) (Fig 1-10). Puede haber una gran diferencia en las emisiones según la época del año. orgánica secundaria La generación de PM aumenta 1.7 veces en la temporada seca en comparación con la temporada de lluvias (Grantz et al., 2003; Guo & Maghirang, 2012)



**Figura 1-10.** La representación esquemática mostró diferentes procesos de deposición de material particulado (PM) sobre la vegetación (deposición seca, deposición oculta y deposición húmeda). Las plantas activan distintas respuestas de defensa contra la contaminación por partículas (Mandal et al., 2023).

Hay dos tipos principales de lesiones directas que la contaminación por el material particulado (PM) puede causar en las plantas: lesiones agudas y crónicas. La lesión aguda resulta de la exposición a una alta concentración de gas durante un período relativamente corto y se manifiesta por síntomas claramente visibles en el follaje, a menudo en forma de lesiones necróticas. Si bien este tipo de daño es muy fácil de detectar (aunque no necesariamente de diagnosticar), el daño crónico es mucho más sutil: resulta de una exposición prolongada a concentraciones de gas más bajas y toma la forma de reducciones en el crecimiento y/o el rendimiento, a menudo sin una clara síntomas visibles (Fig. 1-11).

La filosfera, la primera línea de interacción entre las plantas y su entorno, tiene un papel fundamental en la vida vegetal. La gran cantidad de microbios en la comunidad microbiana de la planta (PMC), incluye bacterias, hongos y virus epífitos, endófitos o de vida libre, así como arqueas, protozoos y nematodos en menor número (Mansfield et al., 2012). Esta comunidad diversa puede ser beneficiosa al mejorar el rendimiento de las plantas o puede ser patógena y dañar la salud de las plantas. El PMC también puede proteger contra microbios patógenos, así como contra algunos contaminantes orgánicos (Koskella, 2013); Fig. 1-11). Las exudaciones de las plantas también influyen en gran medida en la estructura y composición microbiana de la filosfera (Shakir et al., 2021).

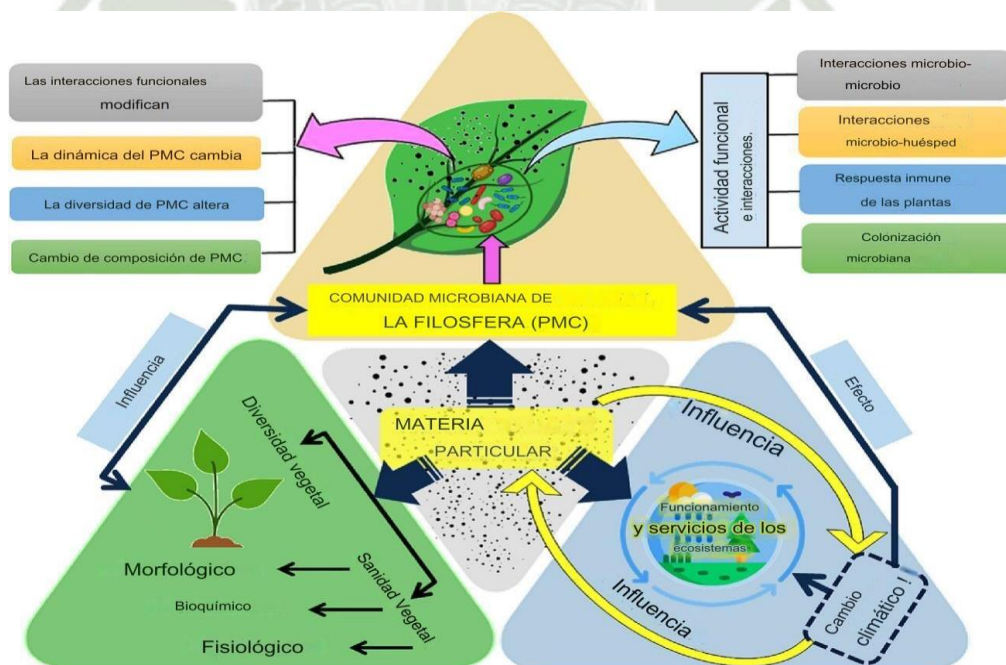


**Figura 1-11.** Colonización microbiana e interacciones en la parte aérea de la planta (filósfera) (Mandal et al., 2023).

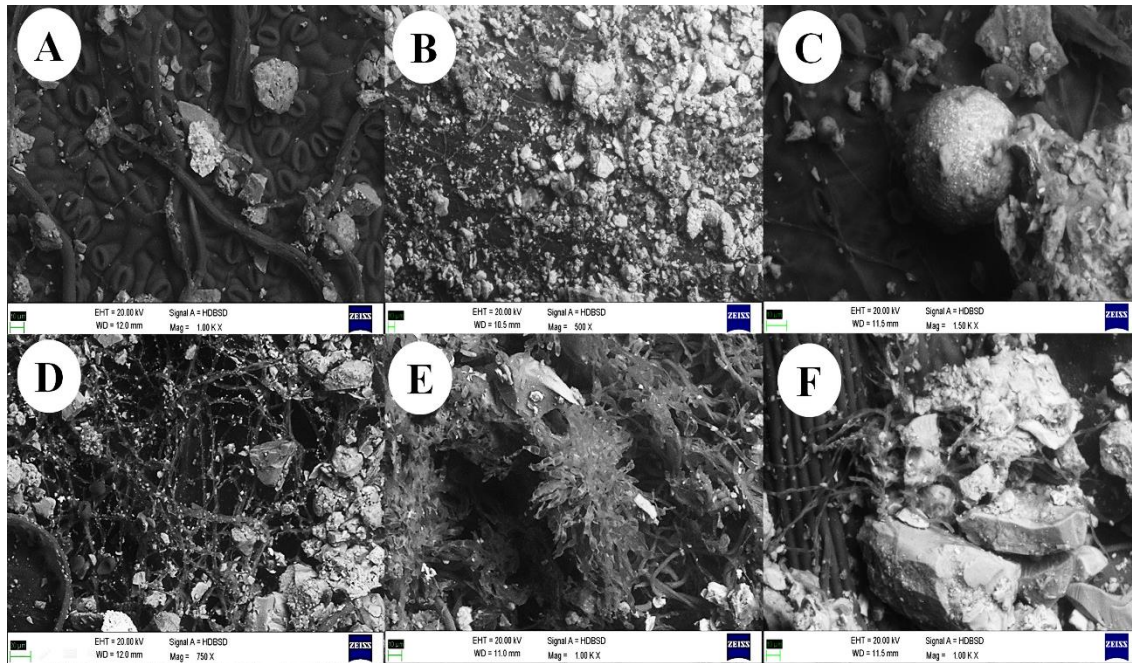
Las interacciones microbianas ocurren entre reinos y entre especies, lo que se conoce como detección de quórum. Las respuestas inmunes de las plantas son de interés específico

ya que las interacciones huésped-microbio dan forma al PMC. Los microbios patógenos colonizan las plantas hospedadoras a través de su virulencia. Sin embargo, los microbios en la filosfera del huésped pueden influir en esta interacción planta-patógeno, ya sea facilitándola o inhibiéndola. La colonización microbiana de la hoja ocurre en la superficie de la hoja (epífitas) y en la parte interna de la hoja (endófitos) y puede conducir a la formación de biopelículas exógenas intraespecies en la superficie de la hoja (Mandal et al., 2023).

Las plantas que están constantemente expuestas a contaminantes ambientales absorben, acumulan e integran estos contaminantes en sus sistemas, dependiendo de su nivel de sensibilidad, las plantas muestran cambios visibles que incluirían alteración en los procesos bioquímicos o acumulación de ciertos metabolitos (Fig. 1-12) (Rai, 2016). Los contaminantes pueden causar daño foliar, daño estomático (Fig. 1-13), senescencia prematura, disminuir la actividad fotosintética, perturbar la permeabilidad de la membrana y reducir el crecimiento y el rendimiento en especies de plantas sensibles (Tiwari et al., 2006). Las exposiciones a largo plazo y de baja concentración a la contaminación del aire producen impactos dañinos en las hojas de las plantas sin daño visible. (Aragón et al., 2019; Rai & Singh, 2015).



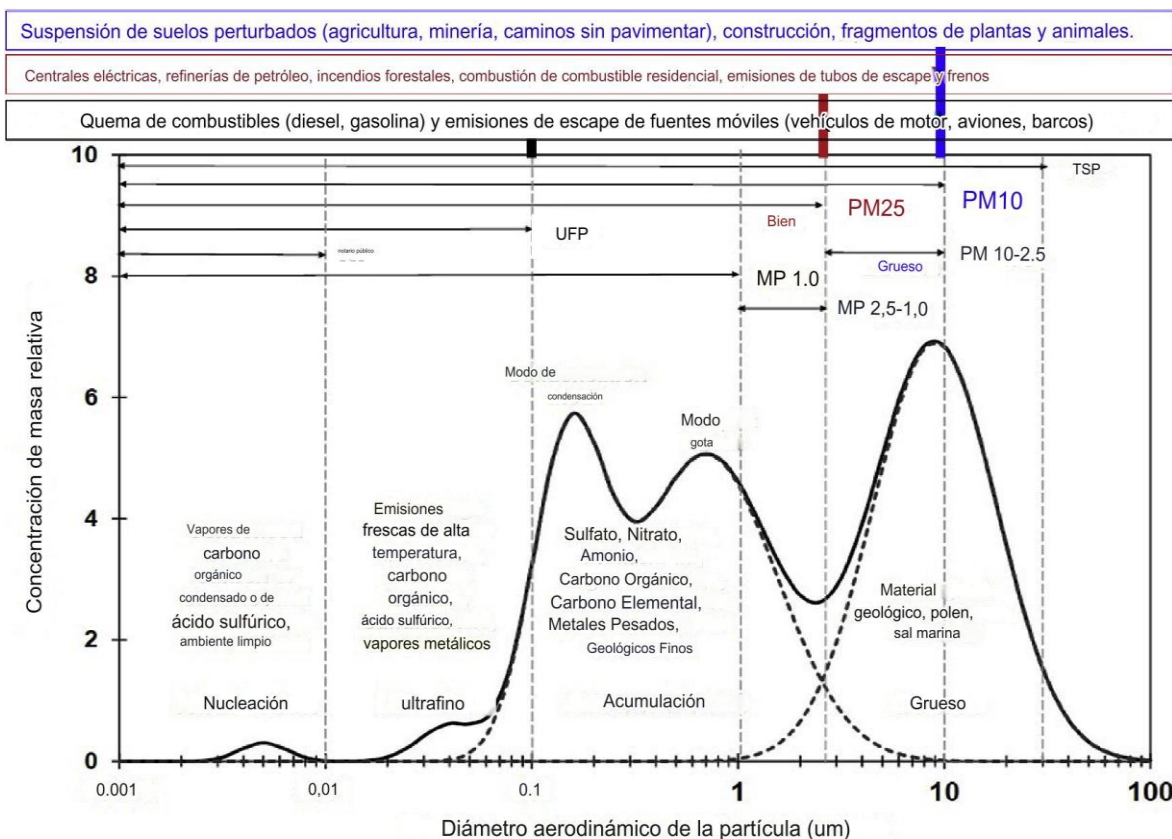
**Figura 1-12.** Interacción del PM con la filosfera y sus efectos asociados al cambio climático en la actividad funcional de la planta (Mandal et al., 2023).



**Figura 1-13.** Representaciones con microscopía electrónica de barrido (SEM) de las partículas heterogéneas (PM) depositadas en las superficies de las hojas de *Psidium guajava* L. (A), *Mangifera indica* L. (B), *Terminalia arjuna* (Roxb. ex DC.) Wight & Arn. (C), Molino *Ziziphus jujuba* . (D, E) y *Azadirachta indica* A. Juss. (F). A, C: El bloqueo estomático por el PM afecta las actividades fisiológicas de la planta y modifica el microambiente de la superficie foliar; B, C: MP heterogénea (tanto física como química) depositada en la superficie de las hojas; C, D, E y F: diferentes crecimientos celulares y microbianos en la superficie de la hoja que interactúan con la MP depositada.

### 1.2.2. Material particulado (MP)

Las partículas atmosféricas tienen diversos tamaños, fuentes, composiciones químicas y efectos correspondientes (Fig. 1-14). Como principales contribuyentes a la carga de PM ambiental urbana, las partículas antropogénicas se generan a través de la combustión de combustibles fósiles, actividades industriales, abrasión y la resuspensión de partículas naturales por el tráfico, la construcción y las actividades agrícolas circundantes (Calvo et al., 2013). Aunque la ciudad es una importante fuente antropogénica para las zonas suburbanas, rurales y remotas, la situación urbana también puede verse exacerbada por el aporte a larga distancia de partículas naturales producidas por el polvo del desierto, la espuma del mar, los volcanes, los incendios de pastizales y una variedad de fenómenos biológicos. fuentes. Generalmente se dividen en cuatro fracciones de tamaño según el diámetro aerodinámico de las PM ( $D_p$ ), incluidas las partículas suspendidas totales (TSP;  $D_p < 100 \mu m$ ), las partículas gruesas ( $PM_{10-2.5}$ ;  $2.5 < D_p < 10 \mu m$ ), las partículas finas ( $PM_{2.5}$ ;  $D_p < 2.5 \mu m$ ) y partículas ultrafinas (UFP,  $PM_{0.1}$ ;  $D_p < 0.1 \mu m$ ) (Jin et al., 2017).



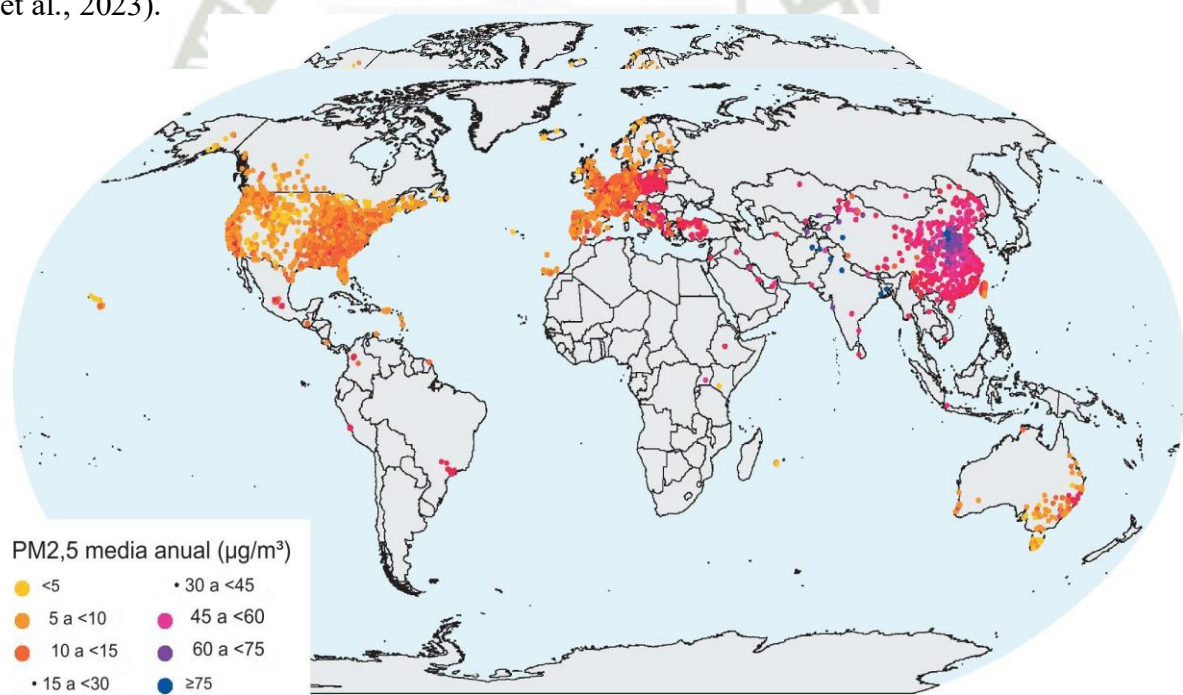
**Figura 1-14.** Ejemplo de la distribución del tamaño de las partículas ambientales y sus múltiples fuentes principales con componentes (adaptado de Chow et al., 2002; y Araujo y Nel, 2009). TSP = Total de Partículas Suspensas; UFP = Partículas Ultrafinas; NP = Nanopartículas., X. Luo, Zhao, et al. (2019).

### a) Composición química del material particulado

Los metales pesados más predominantes presentes en el material particulado son el Pb, Zn, Cd, As, Sb (Zhang et al., 2022) y los elementos hallados en ambas fracciones tanto gruesa como fina son el Na, K, Fe, V, Cr, Co, Ni, Mn, Cu, Se, Ba, Cl (J. Wang et al., 2013) finalmente los encontrados en la fracción gruesa son el Ca, Al, Ti, Mg (Barnaba et al., 2022) las concentraciones y proporciones relativas de estas especies en los diferentes rangos de tamaños dependen de los tipos de fuentes cercanas (geología del sector), y de la meteorología dominante (Alizadeh-Choobari et al., 2016).

### *b) Concentración del material particulado*

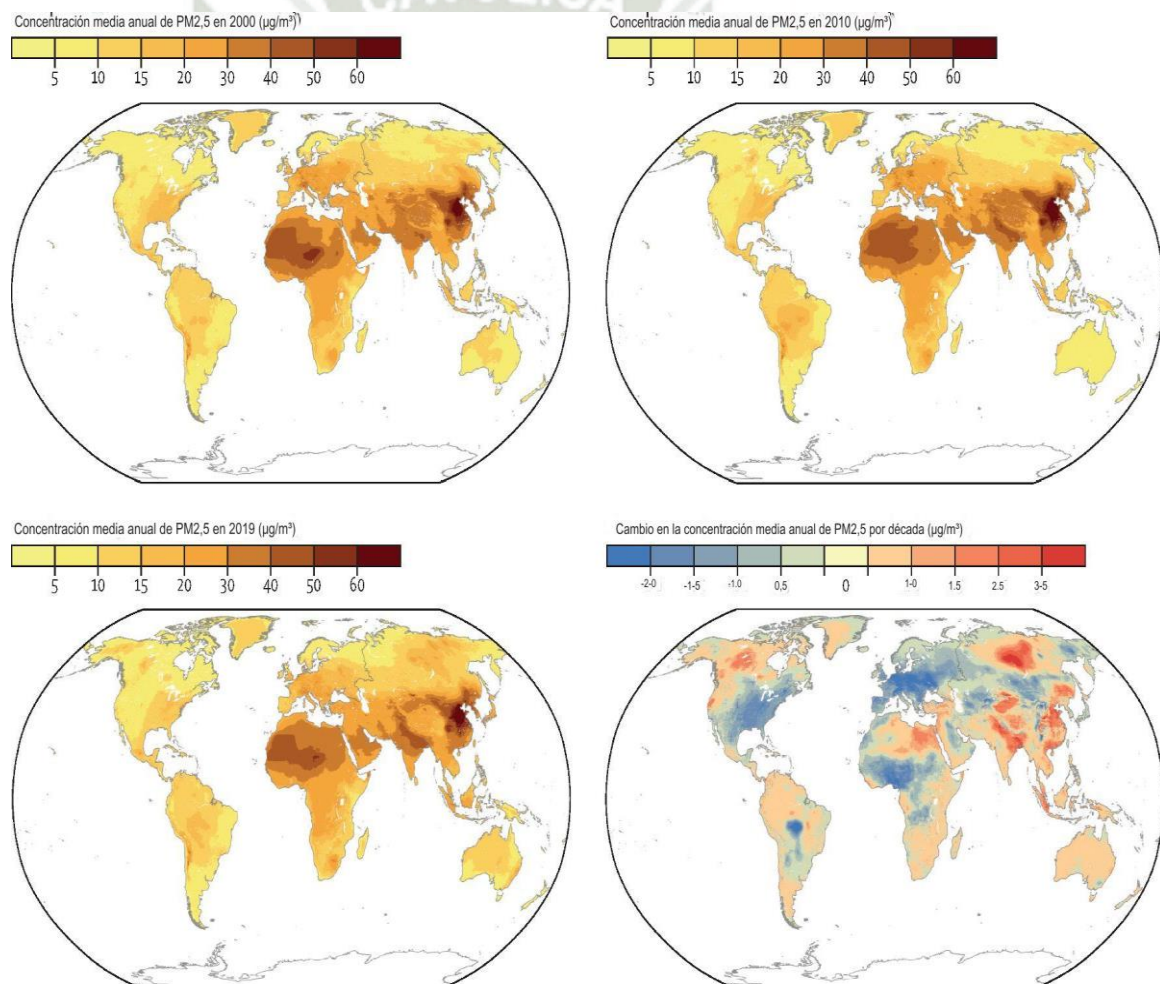
La concentración media anual de  $PM_{2.5}$  en 2019 se muestra en la Fig. 1-13 (Base de datos sobre calidad del aire de la OMS, 2022). A nivel mundial, de 2000 a 2019, la concentración media anual de  $PM_{2.5}$  fue de  $32.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $>70\%$  de los días todavía tenían concentraciones de  $PM_{2.5}$  superiores a  $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (Yu MPH et al., 2023). Estas partículas forman la neblina atmosférica, que provo una disminución significativa de la visibilidad del aire ( Rafferty, 2022 ). Las PM tienen efectos directos e indirectos en la atmósfera. Los efectos directos incluyen el descenso de la temperatura atmosférica. Los efectos indirectos incluyen la formación de nubes y cambios en los ciclos biogeoquímicos de los ecosistemas terrestres y oceánicos (Mandal et al., 2023). La Figura 1-15., muestra la distribución espacial de las 5446 estaciones de monitoreo incluidas en 65 países. Estos países cubrieron el 73% de la población mundial en 2019 según WorldPop datos, y el 56% de la superficie terrestre mundial en 2019 según datos de cobertura terrestre del producto MCD12Q1.061 (Yu MPH et al., 2023).



**Figura 1-15.** Distribución global de estaciones de monitoreo y concentración media anual de  $PM_{2.5}$  durante dos décadas (2000-2019) (Yu MPH et al., 2023).

En la Figura 1-16, se presenta la distribución espacial de la media anual estimada de  $PM_{2.5}$  en 2000, 2010 y 2019 y los cambios espaciotemporales por década en 2000-19. A pesar de las grandes diferencias entre regiones en las concentraciones de  $PM_{2.5}$ , la mayoría de las

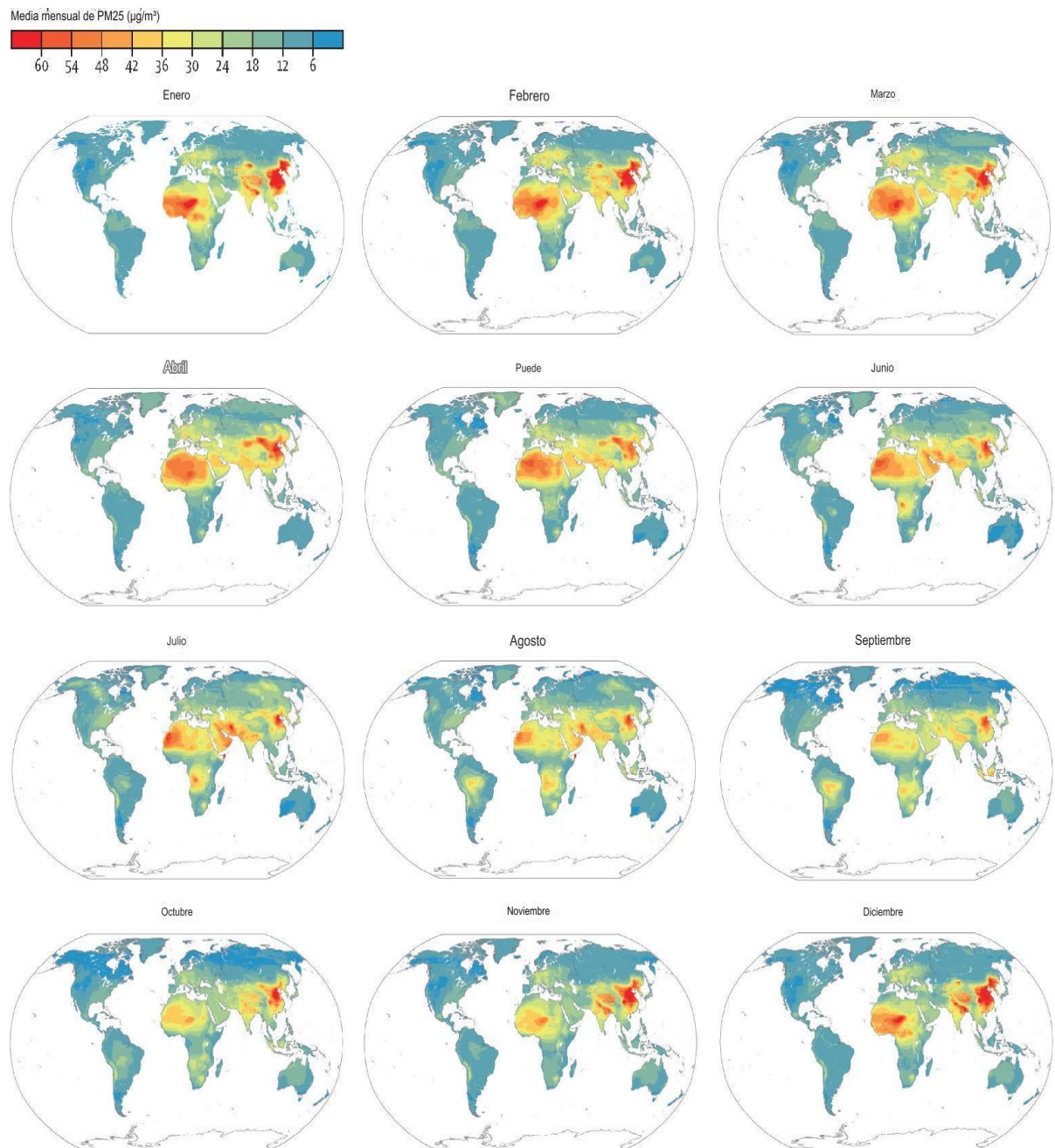
áreas con altas concentraciones de  $PM_{2.5}$  se encontraban en el este de Asia, el sur de Asia y el norte de África. La mayoría de las áreas de Asia, África septentrional y subsahariana, Oceanía y América Latina y el Caribe tuvieron aumentos en las concentraciones de  $PM_{2.5}$  durante los 20 años, mientras que se estimaron disminuciones en Europa, algunas regiones de América del Norte y algunas regiones de África (Fig. 1-14). Basado en el límite guía de la OMS de 2005, El 29.4% de la superficie terrestre mundial y el 1.8% de la población mundial estuvieron expuestos a una concentración media anual de  $PM_{2.5}$  inferior a  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en 2019. Al restringir al valor guía de la OMS de 2021 de  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , solo el 0,18% de la superficie terrestre mundial y el 0,001% de la población mundial permanecieron en una exposición anual inferior al límite guía en 2019 (Yu MPH et al., 2023).



**Figura 1-16.** Media anual de  $PM_{2.5}$  en 2000, 2010 y 2019 y cambios en la media anual de  $PM_{2.5}$  por década con una resolución espacial de  $0.1^\circ \times 0.1^\circ$  (Yu MPH et al., 2023).

Se han investigado los patrones estacionales en las concentraciones estimadas de  $PM_{2.5}$  para el período de 20 años (Fig. 1-17). Las estimaciones de  $PM_{2.5}$  mostraron marcadas

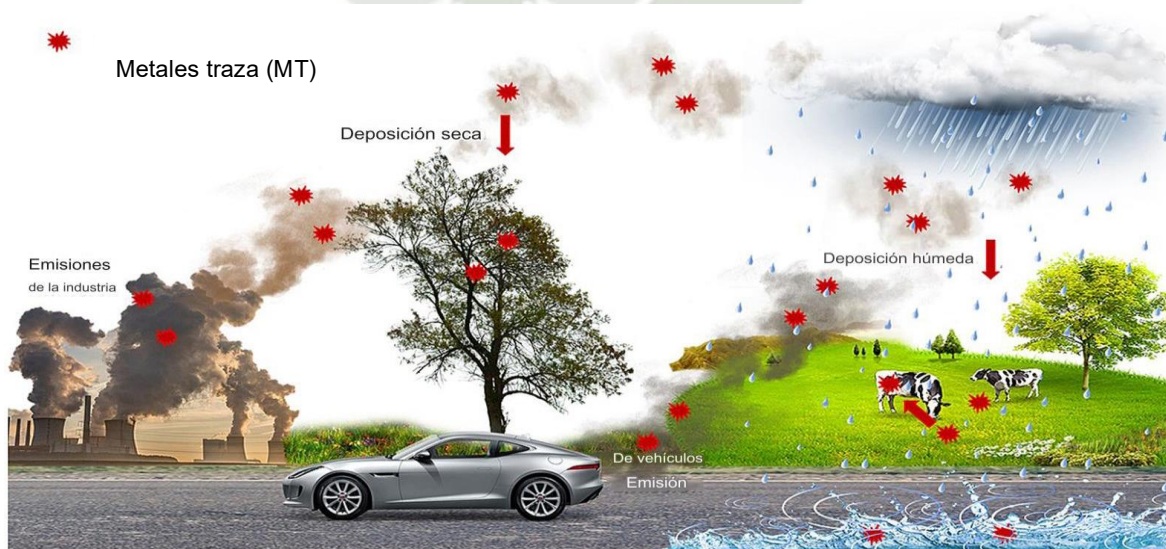
variaciones estacionales en determinadas regiones y países. Por ejemplo, el noreste de China y el norte de la India tuvieron altas concentraciones de  $PM_{2.5}$  durante los meses de invierno (diciembre, enero y febrero), mientras que las zonas orientales del norte de América tuvieron altas concentraciones de  $PM_{2.5}$  en los meses de verano (junio, julio y agosto). En agosto y septiembre se observó una contaminación atmosférica relativamente alta de  $PM_{2.5}$  en América del Sur y de junio a septiembre en el África subsahariana. (Yu MPH et al., 2023)



**Figura 1-17.** Concentraciones medias globales de  $PM_{2.5}$  para cada mes calendario en 2000-19 con una resolución espacial de  $0.1^\circ \times 0.1^\circ$  (Yu MPH et al., 2023).

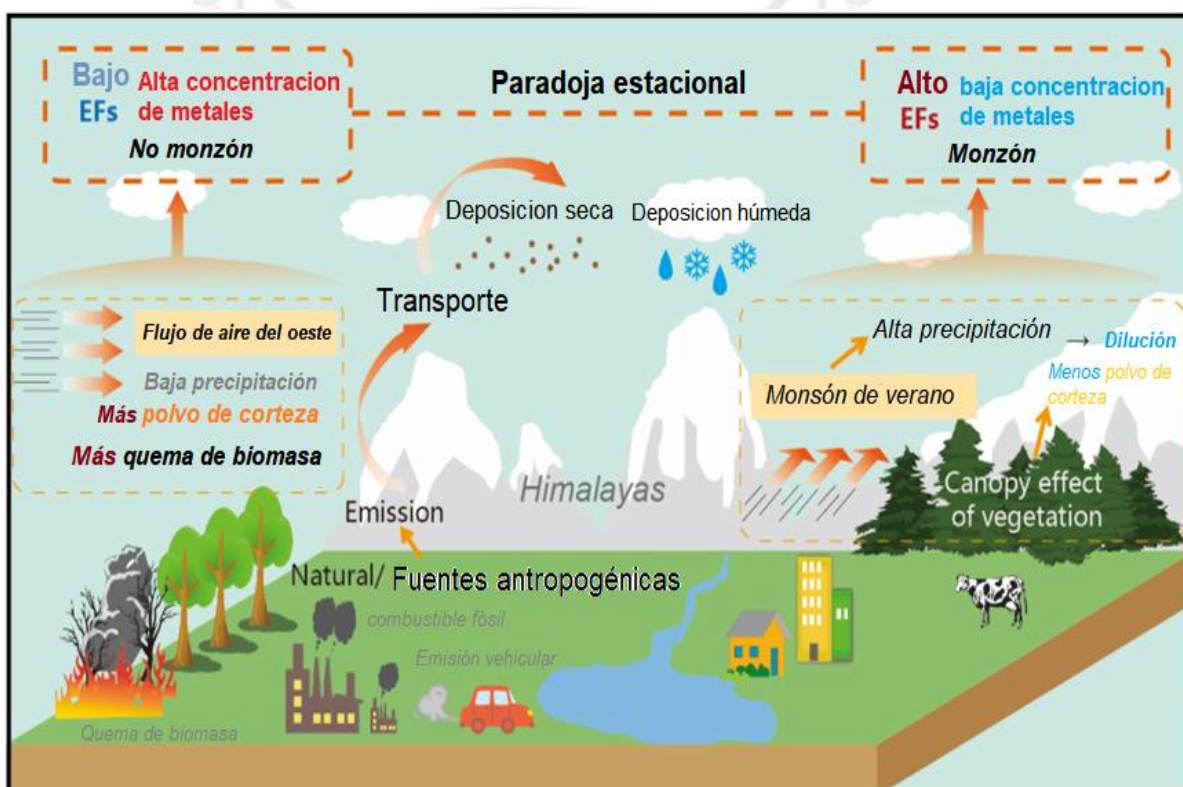
### 1.2.3. Metales traza (MT)

Las emisiones atmosféricas de MT a menudo están relacionadas con una rápida industrialización, una mayor urbanización, prácticas agrícolas inapropiadas y métodos inadecuados de eliminación de desechos (Vardhan et al., 2019). Las principales fuentes antropogénicas de TM son las actividades industriales (incluidas las operaciones mineras), la erosión de los materiales de construcción, la generación de energía y el tráfico vehicular (Mansfield et al., 2012). Aunque trazas de metales como Fe, Cu, Mn y Zn son fundamentales para la vida humana, animal y vegetal, elementos como As, Hg, Cd y Cr pueden tener un impacto nocivo en los organismos vivos, incluso en bajas concentraciones (Duruibe y Egwurugwu, 2007 ; Khan et al., 2008 ). Algunos de los efectos de las MT y los metaloides en la salud humana incluyen problemas respiratorios, enfermedades cardiovasculares, daño renal, trastornos neurológicos, lesiones cutáneas, efectos teratogénicos y varios tipos de enfermedades cancerosas (Nordberg et al., n.d.). Por lo tanto, realizar una evaluación de riesgos humanos y ecosistémicos es fundamental para predecir los impactos de la MT asociados con deposición atmosférica (Han et al., 2020; Mama et al., 2020). Los contaminantes no biodegradables, como las MT, que son persistentes en la naturaleza, se transfieren a través de los diferentes niveles tróficos mediante biomagnificación, alcanzando niveles que pueden resultar tóxicos para los organismos vivos (Popoola et al., 2018).



**Figura 1-18.** Interacción de la deposición seca y húmeda de los metales traza (MT) (Vithanage et al., 2022).

Las MT en el aire asociadas con partículas eventualmente se depositan a través de procesos de deposición húmeda y seca, lo que resulta en una acumulación de contaminantes en la tierra. Además, las MT depositadas en el suelo pueden ser arrastradas por la escorrentía de aguas pluviales y contribuir a la contaminación general de los cuerpos de agua. En consecuencia, la contaminación de MT por deposición atmosférica puede ser un factor severamente limitante para mejorar la calidad de los recursos hídricos. Estudios recientes se han centrado en los oligoelementos en la deposición atmosférica desde una perspectiva ecológica para evaluar la acumulación a corto plazo que puede conducir a una serie de eventos nocivos para la salud (Vithanage et al., 2022).



**Figura 1-19.** Ilustración del proceso que involucra a través de la distribución, variación y señal antropogénica de los metales traza (MT) en el glaciar del Himalaya (Wu et al., 2018).

En la Fig. 1-19, se observa que los metales traza (MT) ingresan a la atmósfera procedentes de fuentes naturales y antropogénicas, desempeñando un papel fundamental en el ciclo atmosférico de metales y metaloides. Las fuentes naturales de estos elementos provienen principalmente del polvo mineral, especies presentes en la corteza terrestre, la niebla de sal marina y las fuentes biogénicas marinas. Por otro lado, las fuentes

antropogénicas, que incluyen la combustión de combustibles fósiles, la incineración, las actividades industriales metalúrgicas, la producción de metales no ferrosos y las operaciones relacionadas con el tráfico, contribuyen significativamente a la presencia de elementos traza en la atmósfera. Estas emisiones de origen humano pueden dar lugar a la introducción de metales traza en áreas remotas, superando en ocasiones los niveles naturales de concentración de fondo, como se ilustra en la Figura 1-19. El análisis de registros glacioquímicos en regiones de elevada latitud y altitud se destaca como un método eficaz para identificar las influencias antropogénicas a nivel regional y global. Estos registros, al ofrecer un archivo multiparamétrico, de alta resolución y bien conservado de las deposiciones atmosféricas, se posicionan como indicadores precisos de las alteraciones causadas por actividades humanas, según señala Rawat et al. (2021).

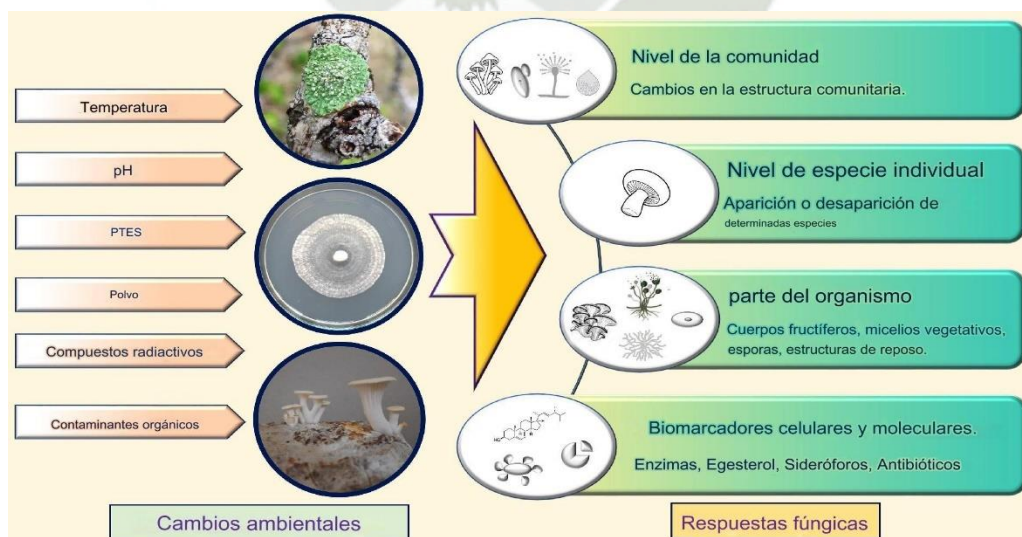
### 1.3 Biomonitorio

La investigación ecológica del impacto de ET en los parámetros morfológicos, fisiológicos y bioquímicos de las plantas ayuda a identificar los biomonitores adecuados mediante el cálculo del índice de tolerancia a la contaminación del aire (APTI) y el índice de contaminación anticipada (API). El efecto de la contaminación del aire en las plantas se puede cuantificar utilizando un parámetro, es decir, APTI. APTI es un atributo vegetal dependiente de la especie que expresa la capacidad inherente de la planta para enfrentar el estrés que emana de la contaminación. APTI fue propuesto por Singh y Rao (1983) para evaluar el poder tolerante/resistente de las plantas contra la contaminación del aire (Rai, 2016). Las herramientas de biomonitorio pueden variar desde líquenes hasta plantas superiores.

Los estudios sobre la relación entre los rasgos funcionales de las comunidades de líquenes y los impactos del uso del suelo, las perturbaciones o el cambio climático, por lo general, se relacionaron en su mayoría con los ecosistemas forestales (Lucheta et al., 2019). Dado que los líquenes se utilizan para evaluar los cambios ambientales y que la urbanización tiene una fuerte influencia en la estructura de la comunidad (Pinho et al., 2016), es importante comprender cómo las comunidades de líquenes y sus patrones funcionales (composición de rasgos e índices funcionales) responden en diferentes gradientes de urbanización con miras a su uso como indicadores ecológicos. Además, los índices de diversidad funcional aún no se probaron a lo largo de un gradiente de urbanización (Aragón et al., 2019).

### 1.3.1 Bioindicador ambiental

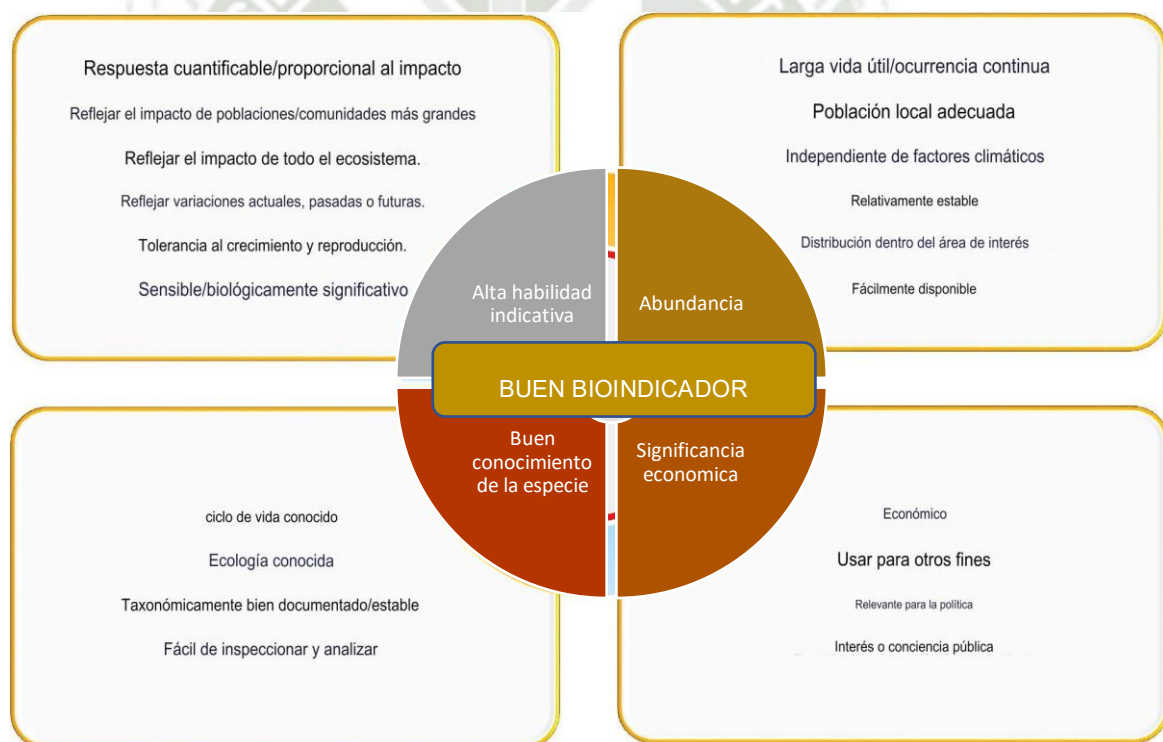
Un indicador ambiental es una especie o grupo de especies que responden de manera predecible a los cambios en el medio ambiente. Las categorías de indicadores ambientales son; (i) Centinelas: organismos sensibles introducidos en el medio ambiente, (ii) Detectores: especies que se encuentran naturalmente en el área de interés y que pueden mostrar una respuesta cuantificable al cambio ambiental (comportamiento, mortalidad y estructura de clases de edad), (iii) Explotadores: especies cuya presencia indica la probabilidad de perturbación o contaminación, (iv) Acumuladores: organismos que absorben y acumulan sustancias químicas en cantidades mensurables, (v) Organismos de bioensayo: organismos seleccionados utilizados como agentes de laboratorio para detectar la presencia y/o concentración de contaminantes, o clasificar los contaminantes en orden de toxicidad (Mcgeoch, 1998; Warnasuriya et al., 2023). El indicador ecológico responde a factores de estrés ambiental que incluyen la fragmentación y alteración del hábitat y el cambio climático. La respuesta del indicador es representativa de al menos un subconjunto de otros taxones presentes en el hábitat. El indicador de biodiversidad es un grupo de taxones (género, familia, orden o un grupo seleccionado de especies de un rango de taxones superiores), o grupo funcional, cuya diversidad refleja alguna medida de diversidad (riqueza de caracteres, riqueza de especies, nivel de diversidad) endemismo de otros taxones (estrechamente y a veces incluso lejanamente relacionados) en un hábitat o conjunto de hábitats (Fig. 1-20) (Mcgeoch, 1998)



**Figura 1-20.** Diferentes tipos de respuestas de micoindicadores frente a cambios ambientales (Weerakoon et al., 2020).

Según el objetivo de la bioindicación, enumeró tres tipos de bioindicadores; indicadores de cumplimiento, diagnóstico y alerta temprana. Los indicadores de cumplimiento se centran en cuestiones en su conjunto, como una población o una comunidad. Los indicadores de diagnóstico y alerta temprana se miden a nivel individual o suborganismo (biomarcadores), centrándose en respuestas rápidas y sensibles a la variación ambiental (Warnasuriya et al., 2023). Aunque cada entidad en un sistema biológico podría funcionar y ser adecuada para su selección como bioindicador, los científicos han reconocido recientemente un conjunto completo de criterios para indicadores biológicos (Fig. 1-21).

El bioindicador ideal debe cumplir ciertos criterios, como tener un amplio rango de tolerancia reproductiva y de crecimiento en el ecosistema particular, ser un verdadero representante de un ambiente particular y estar fácilmente disponible para su recolección, identificación y manipulación (Pulleman et al., 2012).

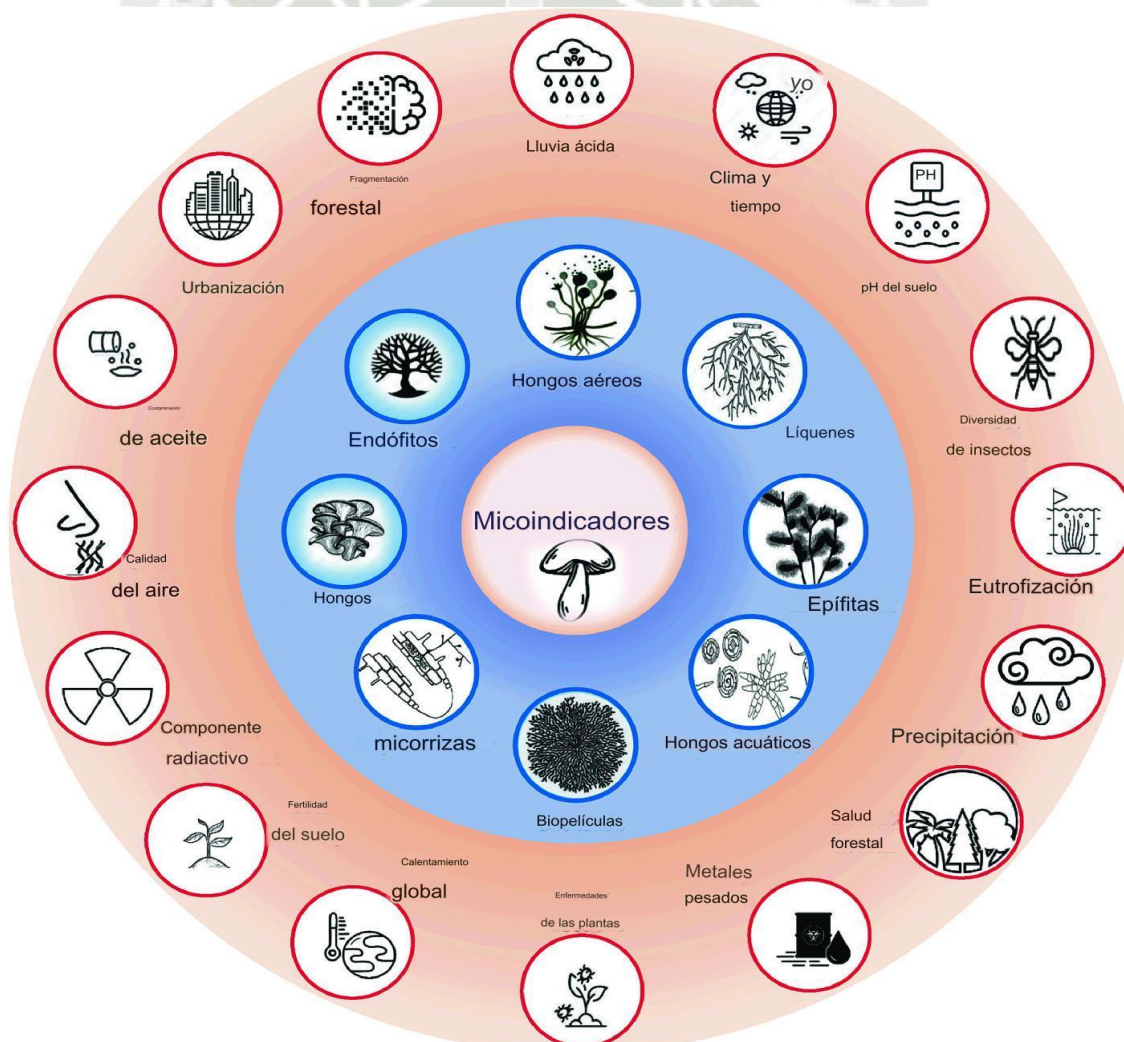


**Figura 1-21.** Características de los buenos bioindicadores (Warnasuriya et al., 2023).

Además, un buen bioindicador debe tener una vida útil suficientemente larga o una aparición continua para garantizar la identificación y el muestreo durante un período más largo. Además, los bioindicadores deben ser rentables, relevantes para las políticas y con

cobertura espaciotemporal. El uso de una combinación de bioindicadores es la tendencia, ya que un bioindicador rara vez puede cumplir todos los criterios (Warnasuriya et al., 2023)

Los hongos que se encuentran naturalmente en ecosistemas aéreos, acuáticos y terrestres tienen capacidades inherentes para sobrevivir en condiciones indeseables del medio ambiente, lo que hace que los organismos fúngicos sean importantes como bioindicadores. El término "micoindicadores" se redefine en este artículo para representar las especies individuales efectivas de hongos, comunidades de hongos, asociaciones simbióticas con un componente fúngico, biomarcadores celulares y moleculares de hongos que pueden usarse para evaluar las condiciones ambientales. La Fig. 1-22, muestra diferentes tipos de micoindicadores y sus posibles aplicaciones en la detección de la calidad ambiental (Warnasuriya et al., 2023).



**Figura 1-22.** Diferentes tipos de micoindicadores y sus potenciales aplicaciones en la detección de la calidad ambiental (Warnasuriya et al., 2023).

### 1.3.2 Líquenes como bioindicadores

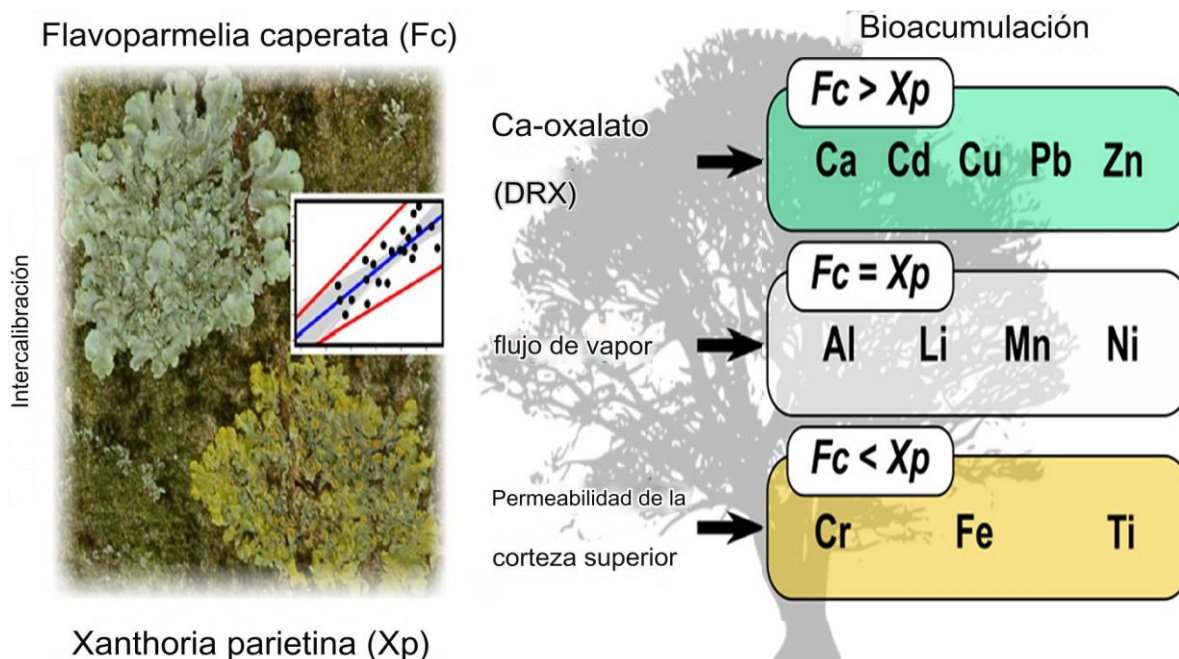
El biomonitoreo de elementos aerotransportados es una metodología rentable que se utiliza con éxito para proporcionar evaluaciones integradas en el espacio y el tiempo de los patrones de distribución de elementos aerotransportados, identificar fuentes de emisión, y validar modelos de dispersión atmosférica de emisiones de partículas (Fortuna et al., 2021) . Sin duda, los líquenes epífitos se encuentran entre los biomonitores más utilizados para tales fines (Bargagli, 2016).

Al carecer de cutícula, estomas y raíces, el talo de estos organismos tolerantes a la desecación adquiere nutrientes minerales y agua de las deposiciones húmedas y secas lo que hace que su contenido de elementos sea un indicador confiable de la composición de la atmósfera circundante (Fortuna et al., 2019). Se recomienda el uso de líquenes nativos cuando el objetivo del estudio es evaluar la emisión de elementos a largo plazo ocurrida en un área determinada. Para este propósito, generalmente se prefieren los líquenes foliáceos, porque su talo crece radialmente, extendiendo las porciones marginales (es decir, los lóbulos) unos pocos milímetros por año. Esto hace que la tasa de crecimiento anual de los talos sea fácil de estimar (Fortuna & Tretiach, 2018) lo que permite relacionar, con una buena aproximación, la composición química de los lóbulos con la de las deposiciones de elementos ocurridas en el último año antes del muestreo.

Sin embargo, dado que las actividades agrícolas, urbanas y/o industriales pueden afectar fuertemente la distribución de especies individuales, la cobertura espacial de las poblaciones nativas puede no ser lo suficientemente homogénea para garantizar una inferencia correcta y confiable de los patrones de distribución de los elementos. Para superar este problema, varios estudios compararon el rendimiento de acumulación de elementos de diferentes especies recolectadas en la misma área, pero no necesariamente en los mismos o en los mismos sitios, principalmente con el objetivo de proporcionar factores de calibración que permitan el uso intercambiable de las especies (Landis et al., 2019).

Además, la diversidad de líquenes se puede aplicar para evaluar la salud y el estado de los bosques en regiones donde otras formas de monitoreo ambiental son costosas o poco prácticas (Tripathi & Joshi, 2019; Weerakoon et al., 2020). Combinando diferentes análisis en varios niveles taxonómicos y caracteres basados en rasgos, demostraron que los líquenes cortícolas crustosos de las selvas tropicales de Sri Lanka pueden utilizarse como indicadores

de perturbaciones tanto antropogénicas como de tipo vegetal. Identificaron indicadores a nivel de especie, genérico o familiar (Weerakoon et al., 2020).



**Figura 1-23.** Bioacumulación de elementos traza en *Flavoparmelia caperata*. Fortuna et al. (2021).

### 1.3.3 Oligoelementos presentes en líquenes

Los oligoelementos pueden considerarse como elementos químicos que están presentes sólo en cantidades mínimas en una muestra o entorno particular. Los oligoelementos son micronutrientes esenciales para los organismos vivos, pero en cantidades excesivas pueden resultar peligrosos para ellos. En este estudio, se han analizado varios oligoelementos de varios tipos de áreas investigadas. Mediante el uso de técnicas de seguimiento de la flora local, se han analizado metales pesados como Cr, Ni, Cu, Zn, Cd y Pb en *Hypogymnia physodes* de zonas urbanas de la República Checa (Klůs et al., 2011) y también en *Dirinaria picta* de áreas industriales en Malasia ( Sulaiman et al., 2018 ), mientras que Cd, Cr, Fe y Ni se han analizado en *Flavoparmelia caperata* de áreas de eliminación en Italia (Paoli et al., 2015). Mediante técnicas de líquen trasplantado se han analizado Ba, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Ni, P, Pb, Sr, V y Zn utilizando el líquen *Pseudevernia furfuracea* procedente de zonas urbanas. -zonas industriales en Italia (Minganti et al., 2014). Nannoni et al. (2015) también midieron oligoelementos utilizando la misma técnica y especies de

líquenes en áreas de eliminación de Italia (Massimi et al., 2019) utilizaron *Evernia prunastri* en la técnica del líquen trasplantado para monitorear oligoelementos en áreas contaminadas del centro de Italia. líquenes trasplantados de la especie *Hypogymnia physodes* también han utilizado Ramić et al. (2019) para monitorear oligoelementos en áreas urbanas de Bosnia. Los oligoelementos suelen aparecer en exceso en áreas que involucran actividades humanas. Las fuentes de los oligoelementos suelen proceder del tráfico, las fábricas y emisiones de incineradores, y es por eso que más estudios se han centrado en áreas urbanas. La concentración y el tipo de oligoelementos pueden variar según la fuente de contaminación, por ejemplo, la contaminación del tráfico suele emitir metales pesados como Cr, Ni, Cu, Zn, Cd y Pb, mientras que la contaminación industrial emite oligoelementos mucho más complejos. incluyendo Ba, Bi, Cd, Cs, Mg, Pb, Rb y Tl, y las áreas de disposición final emiten HAP y metales pesados específicos como Co, Cr, Fe, Mn, Mo, Nb, Ni, Ti y W (Kłos et al., 2011).

#### **1.4 Análisis de antecedentes investigativos.**

El estado de salud ambiental o del ecosistema (ESE) es un enfoque integrado que podría ayudar a determinar el grado de degradación de un ecosistema específico y traducirlo en información útil para la población local y los responsables políticos de Perú (Loaiza et al., 2022). La contaminación del suelo con oligoelementos (ET) ha surgido como una preocupación importante debido a su clara importancia toxicológica (Shahid, 2021). Estos ET tienen el potencial de ejercer impactos adversos en el ecosistema, la salud de las plantas y, posteriormente, en la salud humana a medida que consumimos plantas directa o indirectamente (Hussain et al., 2021).

“Biomonitoreo de oligoelementos en la región metropolitana de los Andes peruanos utilizando el Líquen de *Flavoparmelia caperata*”

De La Cruz et al. (2018) utilizó la especie de líquen *Flavoparmelia caperata* para analizar y evaluar la capacidad de bioacumulación de metales pesados (oligoelementos) atmosféricos en el ámbito de la ciudad de Huancayo (Junín, Perú). En total, se eligieron diez sitios de muestreo y se clasificaron como zonas urbanas, periurbanas (rurales-urbanas) y rurales según el uso de la tierra. Estas áreas fueron corroboradas con áreas no contaminadas utilizados como control. Los metales pesados (oligoelementos) encontrados dentro de las áreas urbanas y periurbanas evidenciaron que 12 de los 16 oligoelementos presentan una

concentración superior que de las áreas rurales y de control ( $p < 0.05$ ). Los resultados revelaron un enriquecimiento significativo (al menos dos veces mayor que el del sitio de control) en relación con Cd, Pb, Ba, Cr, Sb, V y Zn en la mayoría de los sitios evaluados. Dichos elementos se atribuyeron a fuentes vehiculares y menos de fuentes agrícolas.

Cambios temporales en la acumulación de metales traza en partes vegetativas y generativas de tallos de *Xanthoria parietina* y sus implicaciones para los estudios de biomonitorio

Rola & Osyczka (2019) trabajaron con los cambios temporales en concentraciones seleccionadas de metales traza en partes vegetativas y generativas de *Xanthoria parietina*. Se analizaron las muestras expuestas a la contaminación urbana y se identificó la relación entre la organización anatómica y la acumulación de elementos. El material de líquenes incluía tallos reubicado en un área urbana de Cracovia (sur de Polonia) junto con sus árboles hospedadores, que previamente habían sido cultivados en un sitio caracterizado por un menor nivel de contaminación del aire. Se tomaron muestras de los tallos inmediatamente y 1, 3, 6 y 12 meses después de plantar árboles. Las concentraciones de Zn, Pb, Cd, Cu, Ni y Cr, medidas mediante espectrometría de absorción atómica de llama (FAAS), y varias características anatómicas se determinaron en el tallo vegetativo y la apotecia correspondiente.

La acumulación de Pb en el tiempo demostró una pronunciada tendencia al alza; Las relaciones calculadas de exposición a control (CE) indican 'acumulación severa' de este elemento. Se observaron diversos niveles de acumulación en diferentes partes de tallo, más altas, en los casos de Pb, Cd, Cu, Ni, Cr y más bajas, en el caso de Zn, en partes vegetativas en comparación con la apotecia. Por lo tanto, la uniformidad del muestreo es altamente deseable en los estudios de biomonitorio del aire, junto con la determinación de qué parte del tallo se designará para el análisis elemental. Los resultados también mostraron que ciertas características anatómicas están correlacionadas con las concentraciones de elementos metálicos en el tallo.

“Acumulación de metales y respuesta fisiológica de los líquenes trasplantados cerca de un vertedero en el centro de Lituania”

Sujetovienė et al. (2019) trabajaron en áreas cercanas a rellenos sanitarios tomando como bioindicadores a los líquenes de *Evernia prunastri* y *Ramalina farinacea* para controlar biológicamente los cambios en la calidad de aire en el vertedero municipal más

grande de Lituania. La acumulación de metales pesados, excepto Cd, no mostró diferencias relevantes en las muestras entre el relleno sanitario y el control. La conductividad del lixiviado y los lípidos de membrana peroxidada (TBARS) aumentó en el material de liquen trasplantado en los sitios frente al vertedero.

La Antártida un ecosistema que en los últimos años presenta la aparición gradual de ciertos contaminantes se debe a contaminantes persistentes transportados desde otras partes del mundo o puede resultar de actividades antropogénicas locales durante la expedición científica a la Antártida, la pesca y el turismo que de forma similar las lomas costeras podrían estar siendo afectadas, en el siguiente artículo se hace mención sobre el impacto de los ET.

“Elementos traza y su evaluación de riesgo potencial en el ecosistema polar de las Colinas Larsemann, Antártida Oriental”

Bhakta et al. (2022), recogieron y analizaron matrices ambientales, a saber, suelo, líquenes, briófitas y mantos epilíticos en busca de elementos principales y traza en las colinas de Larsemann, en la Antártida oriental. La comunidad biótica identificada hasta los géneros fueron algas (21), briófitas (3) y líquenes (2). La concentración promedio más baja y más alta de oligoelementos registradas fueron Hg, Cr para el suelo; Cd, Zn para liquen; Cd, Sr para briófitas y Hg, Sr para tapetes epilíticos respectivamente. El ER y el I geo indican que el Se está altamente contaminado en todos los tipos de muestras, mientras que; Hg está moderadamente enriquecido en briófitas y líquenes. Sin embargo, la fuente de contaminación es natural. Los análisis de componentes principales y el análisis de conglomerados identificaron dos fuentes naturales de contaminación por metales: oritogénica y geogénica. El índice de riesgo ecológico potencial indica un nivel moderado de contaminación por As, Cr, Cu y Zn. Los elementos Cd y Hg son motivo de preocupación por su riesgo ecológico moderado a alto en algunos sitios de la Antártida. Los índices de contaminación y riesgo ecológico son herramientas consolidadas por geocientíficos, químicos, oceanógrafos y otros profesionales involucrados en temas ambientales en la evaluación de la contaminación por elementos químicos en suelos y sedimentos en el siguiente artículo se hace mención a los principales índices de contaminación.

“Uso de índices de contaminación y riesgo ecológico en la evaluación de la contaminación por elementos químicos en suelos y sedimentos – Aspectos prácticos”

Ferreira et al. (2022), presenta una discusión que involucra aspectos prácticos de la aplicación de índices de contaminación y factores de riesgo ecológico derivados de elementos químicos en la evaluación ambiental de suelos y sedimentos. Los índices únicos e integrados: Índice de geoacumulación ( $I_{geo}$ ), Factor de enriquecimiento (EF), Factor de contaminación (CF), Índice de contaminación (PI), Factor de riesgo ecológico ( $E_{ir}$ ), Índice de carga contaminante (PLI), Grado de contaminación ( $C_{deg}$ ), Factor de Contaminación Modificado ( $mC_{deg}$ ), y el índice de riesgo ecológico potencial (PERI) fueron discutidos, y algunas aplicaciones fueron presentadas didácticamente. También se evidencia el cuidado analítico necesario para obtener índices confiables con el ecosistema estudiado. Además, se presentan las ventajas y limitaciones del uso de estos índices. Los ET tienen el potencial de ejercer impactos adversos en el ecosistema, la salud de las plantas y, posteriormente, en la salud humana a medida que consumimos plantas directa o indirectamente, en la siguiente investigación se da a conocer sobre dicho impacto.

“Distribución y evaluación del riesgo ecológico de elementos traza en el ecosistema de suelo de arroz de Punjab, Pakistán”

Natasha et al. (2022) determinaron el riesgo potencial ecológico de los suelos agrícolas por la contaminación por oligoelementos (ET), evaluaron un conjunto de datos para establecer pautas estándar para definir los niveles de peligro de varios ET potencialmente tóxicos (como As, Cd, Co, Cu, Cr, Fe, Mn, Ni, Pb, Se, Zn) en arrozales agrícolas de Punjab, Pakistán. El grado de contaminación y el índice de riesgo ecológico potencial establecidos a partir de modelos de riesgo ecológico fueron sustancialmente mayores en el 100% y el 97% de las muestras, respectivamente. El modelo de factorización de matriz positiva (PMF) reveló que la concentración elevada de ET, en particular Cd, As, Cr, Ni y Pb, en el suelo de arroz agrícola se atribuyó a las actividades antropogénicas y al riego de aguas subterráneas. Además, la concentración de estos ET en los granos de arroz superó los límites de seguridad establecidos por la FAO/OMS. Este estudio proporcionó una línea de base, aunque conocimiento crítico, sobre el impacto de los riesgos ecológicos y para la salud humana relacionados con ET en el sistema de suelo de arroz en Pakistán; y abre nuevas vías para establecer pautas de ET en zonas agroecológicas a nivel mundial, especialmente en regiones subdesarrolladas.



## **CAPÍTULO II**

### **2. METODOLOGÍA**

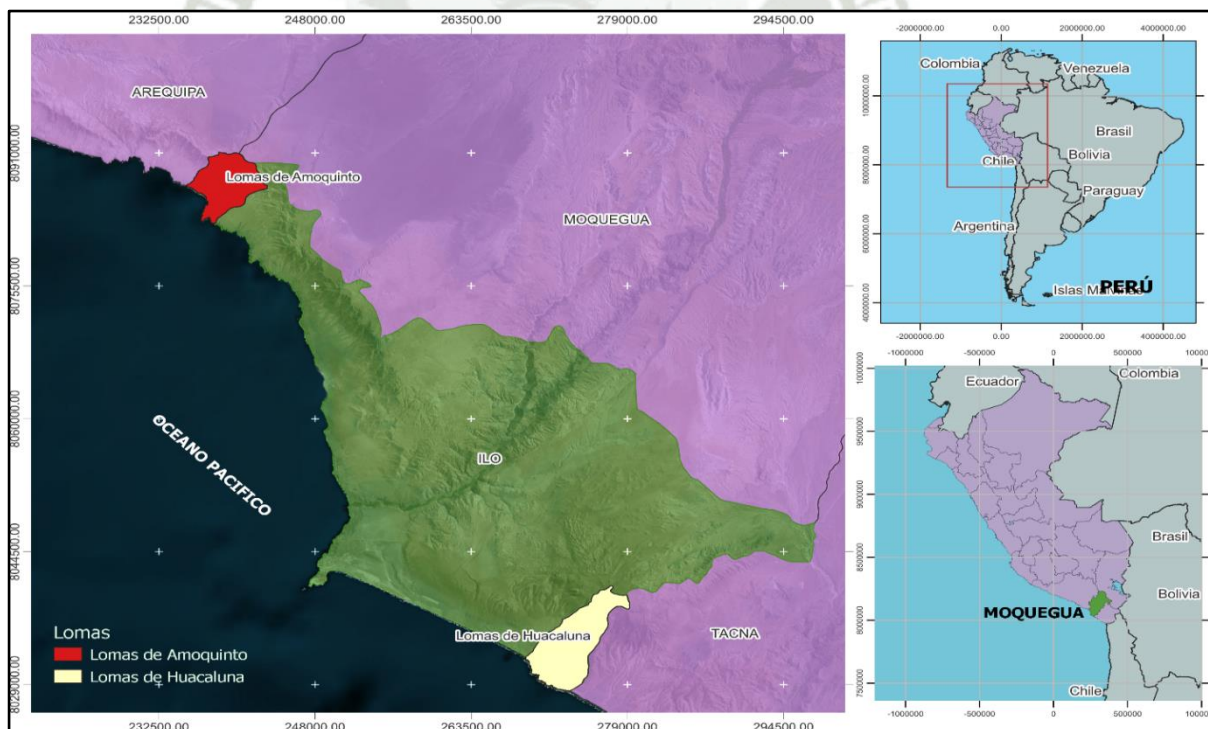
### 2.1 Ubicación espacial de la zona de estudio

El estudio se llevó a cabo en la región de Moquegua, específicamente en las provincias de Mariscal Nieto e Ilo, situadas al sur del Perú y delimitadas por las regiones de Arequipa y Tacna. La investigación se centró en dos ecosistemas: lomas costeras y matorral andino (MINAM, 2019).

#### a) Lomas costeras de la región de Moquegua

En la provincia de Ilo, se ha llevado a cabo el inventario de líquenes sobre las lomas de Amoquinto, situadas en el límite con Arequipa, así como en las lomas de Huacaluna y Tacahuay, colindantes con la región de Tacna (Figura 2.1).

Departamento : Moquegua  
 Provincia : Ilo  
 Distrito : Ilo



**Figura 2-1.** Mapa de ubicación de las lomas de Tacahuay – Huacaluna y Amoquinto dentro de la provincia de Ilo, región Moquegua.

- ***Lomas de Amoquinto***

Las lomas de Amoquinto se encuentra ubicada en el sur oeste del Perú, en la parte sur oeste de la Región de Moquegua.

- Provincia : Ilo
- Distrito : Pacocha
- Ubigeo : 180303
- Área : 35438130.99 m<sup>2</sup>
- Perímetro : 27753.81 ml

**Topografía:** La configuración topográfica es variada. Van desde zonas onduladas a semi accidentada - compuesta por laderas y colinas de relieve variable, cuyas pendientes no sobrepasan generalmente los 45° con presencia de quebradas profundas, y elevaciones que van desde 200 a 1,300 m.s.n.m.

**Clima y Meteorología:** El clima de esta zona corresponde al desierto superárido templado cálido (ds-Tc) y desierto perárido Templado cálido (dp-Tc). Las temperaturas máximas oscilan entre los 31.3 – 20.1 °C. Las precipitaciones son muy escasas o nulas, pero el medio guarda humedad media, sobre todo en los meses invierno. La precipitación total anual asciende a 2.6mm.

**Calidad visual del Paisaje.**

A. Componentes y características visuales del paisaje

- Forma del terreno. Terreno irregular, con topografía medianamente a muy pronunciada geometría irregular y percepción dimensional en la conformación del escenario con formas simples y predominancia del eje vertical.
- Suelo. Limoso, de textura fina. Poco rocoso.
- Agua. Presencia de agua por el Océano Pacífico y neblinas costeras.
- Fauna. Presencia de ganado en las inmediaciones de las lomas y ornitofauna.
- Vegetación. Presencia de especies arbustivas formando comunidades. Especies herbáceas de vida estacional favorecen la estética, variabilidad y color la zona.
- Actuación humana. Presencia física de la actuación humana en el escenario con características de pastoreo, generación de residuos sólidos, apertura de caminos y predios privados. Población de baja densidad, permanente en la zona.

- Fondo escénico. El horizonte absorbe superficie, consta de una fisiografía pronunciada que ayuda a la composición de las comunidades vegetales de lomas.

### B. Fragilidad visual del paisaje

- Disminución de la cobertura vegetal en áreas intervenidas por actividades agrícolas, pastoreo, caminos.
- Presenta relieve variado, en la mayor parte del área se tiene una pendiente de 45°.
- Accesibilidad y visualización por presencia de carretera que comunica con la costanera Arequipa-Ilo.



**Figura 2-2.** Vista del paisaje de las lomas de Amoquinto, con flora asociada *Grindelia glutinosa* (Cav.) Mart. No se registran presencia de líquenes.



**Figura 2-3.** Poblaciones con *Grindelia glutinosa* (Cav.) Mart. en vertiente de quebrada. Detalle de los capítulos y látex.

- **Lomas de Tacahuay y Huacaluna**
- **Topografía:** La configuración topográfica del área del proyecto es variada. Van desde zonas onduladas a semi accidentada - compuesta por laderas y colinas de relieve variable, cuyas pendientes no sobrepasan generalmente los 45° con presencia de quebradas profundas, y elevaciones que van desde 200 a 1,300 m.s.n.m.
- **Clima y Meteorología:** El clima de esta zona corresponde al desierto superárido templado cálido (ds-Tc) y desierto perárido Templado cálido (dp-Tc). Las temperaturas máximas oscilan entre los 31.3 – 20.1 °C. Siendo el mes de febrero 2009, el que registró un promedio mensual más alto, por darse en los meses de verano.
- Las Temperaturas mínimas oscilan entre 17.3–10.4°C; siendo el mes de Julio 2010, más frío, lo que nos indica un clima templado durante todo el año. Las precipitaciones son muy escasas o nulas, pero el medio guarda humedad media, sobre todo en los meses invierno. La precipitación total anual asciende a 2.6mm.
- **Geología regional:** La depresión o cuenca tectónica longitudinal limitada por la Cordillera de la Costa y las estribaciones de la Cordillera de los Andes Occidentales ha sido rellenada por los materiales de la formación Moquegua y los aluviales del Cuaternario. Este relleno constituye la denominada planicie o pampa costanera. La secuencia estratigráfica es la siguiente (de más antiguo a reciente): Grupo Toquepala, Formación Moquegua, Depósitos Aluviales, Depósitos Fluviales.
- **Geología Local:** En la zona afloran mayormente rocas de naturaleza andesítica y diorítica (en las partes bajas y media del proyecto), hacia las partes medias afloran sedimentos, y en la parte alta intercalaciones de sedimentos con andesitas, hacia las zonas más bajas se aprecian grandes zonas cubiertas por material cuaternario
- **Hidrología:** Algunas quebradas presentan ojos de agua. No hay ríos en el área. Las quebradas secas se activan durante fenómenos climatológicos extraordinarios.

### Aspectos biológicos

- **Flora:** Se ha identificado 51 especies de plantas vasculares y no vasculares. A pesar que la vegetación es relativamente baja en algunos sectores, en otros puede tener alta

densidad por área específica. El nivel de endemismo sobre el total de especies halladas es de 13.7%, este valor equivale a 7 especies.

- **Fauna:** En la Propuesta para el Área de Conservación Ambiental de las Lomas de Huacaluna se han identificado 58 especies, de las cuales 4 tienen categorización.



**Figura 2-4.** Vista del paisaje de las lomas de Huacaluna-Tacahuay, con flora asociada *Grindelia glutinosa* (Cav.) Mart., presencia de Molle y Tara.



**Figura 2-5.** *Hypotrachyna flavida* (Zahlbr.) Hale, creciendo en ramas de *C. spinosa* (Molina) Kuntze y tallo de *Neoraimondia arequipensis* subsp. *roseiflora* (Werdermann & Backeberg) Ostolaza.

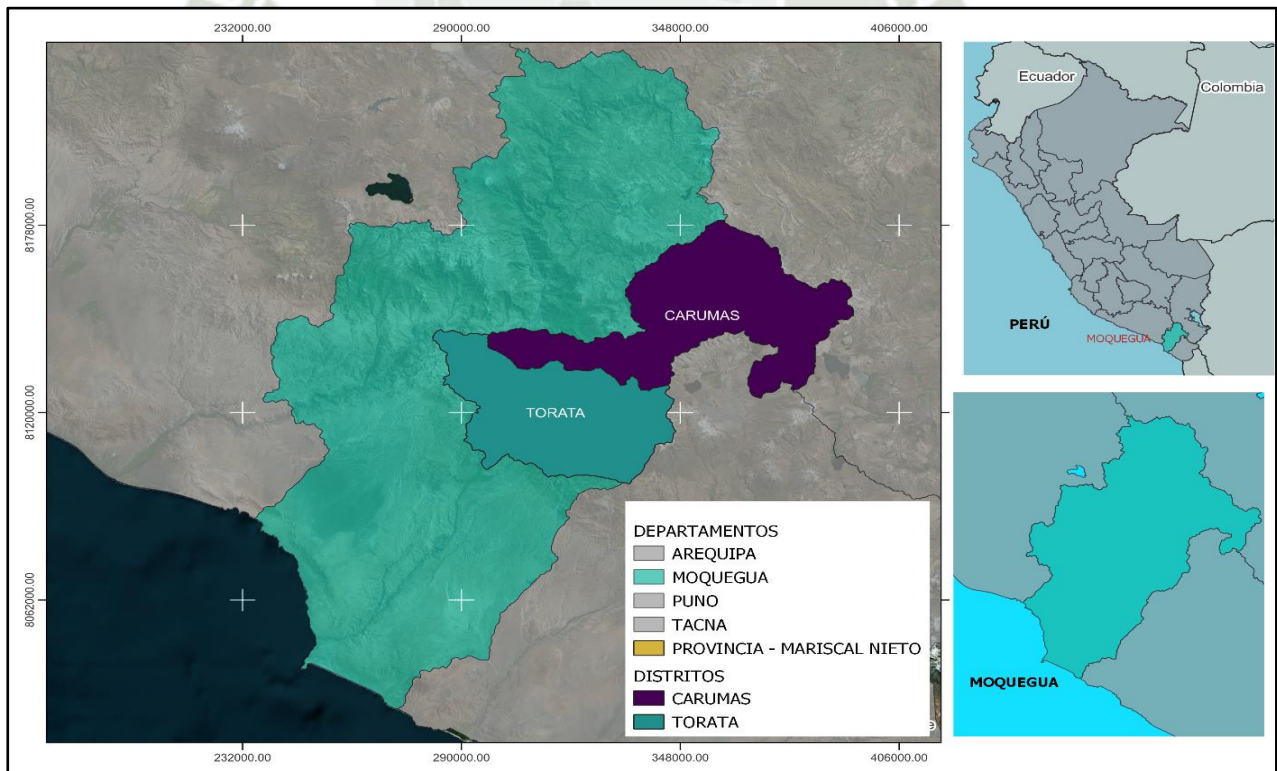


**Figura 2-6.** Hábito de *Heliotropium krauseanum* Fedde. Detalle de las hojas e inflorescencia de *Heliotropium krauseanum* Fedde.

**a) Zonas altoandinas de la región de Moquegua**

Ubicación de las zonas de estudio altoandinos de la región de Moquegua (Fig. 2-7).

Departamento : Moquegua  
 Provincia : Mariscal Nieto  
 Distrito : Torata y Carumas

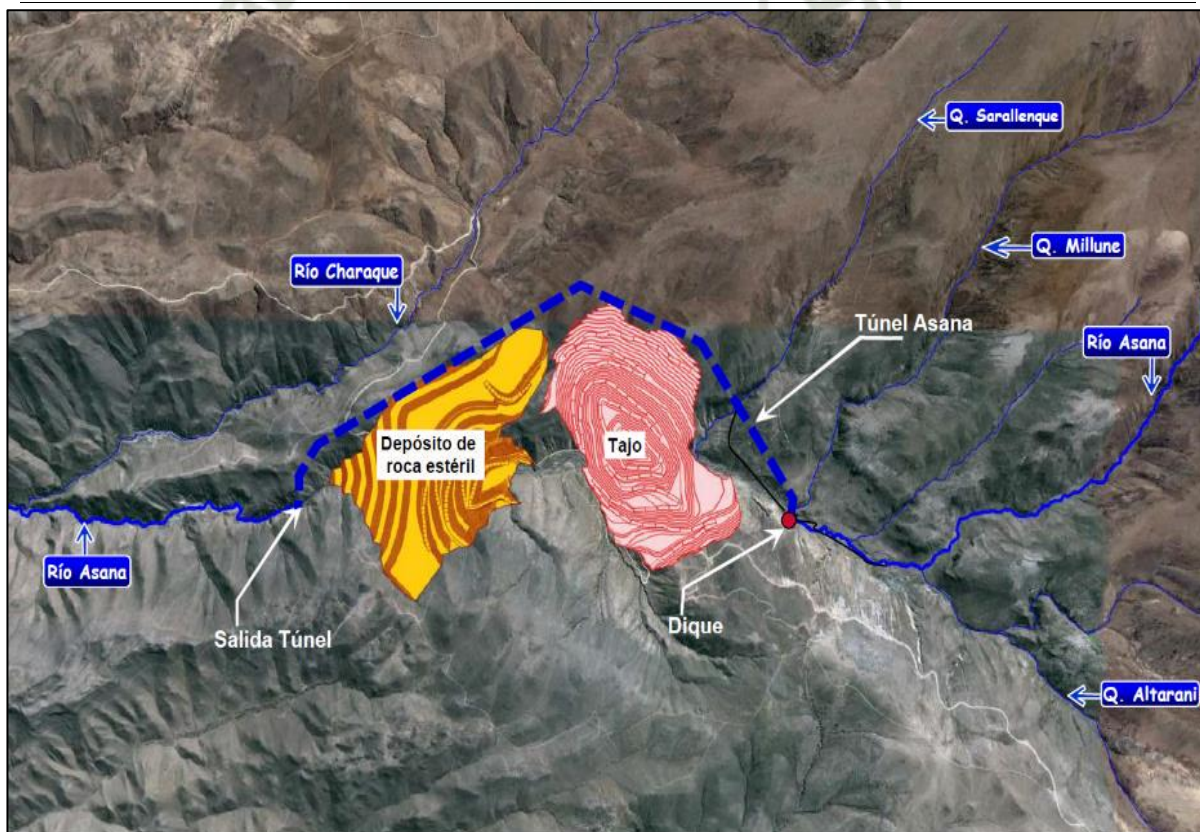


**Figura 2-7.** Mapa de ubicación de los distritos de Torata y Carumas dentro de la provincia de Mariscal Nieto, región Moquegua.

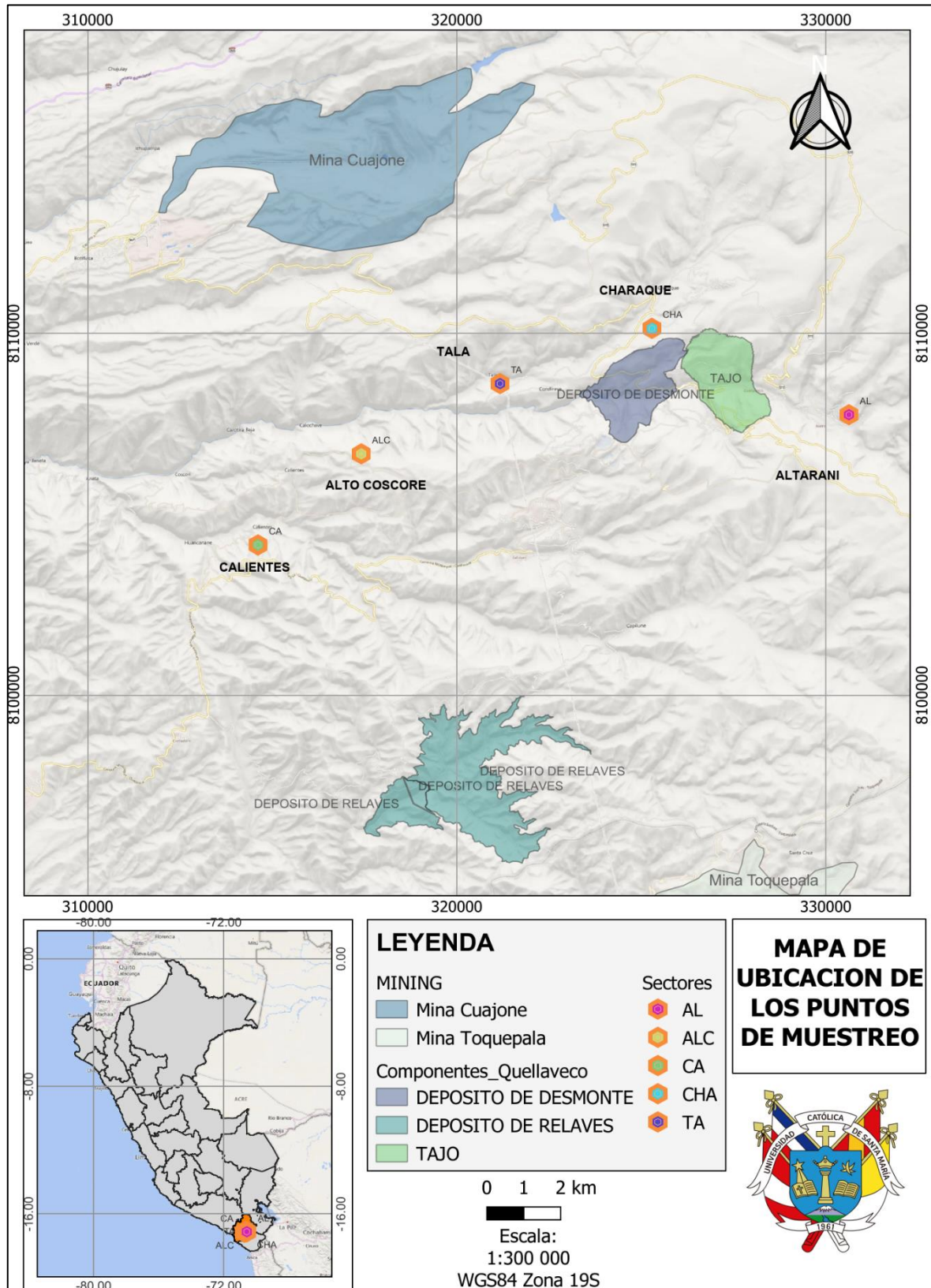
La zona de estudio corresponde a los distritos de Torata y Carumas en el ámbito del proyecto minero Anglo American Quellaveco, provincia de Mariscal Nieto, departamento de Moquegua, se presenta Tabla 2-1, los puntos de referencia para las tomas de muestras y en la Figura 2-8, se muestra en área de influencia directa del proyecto minero Anglo American Quellaveco dentro de la zona de estudio.

**Tabla 2-1.** *Coordenadas de los puntos de monitoreo*

UBICACION	COORDENADAS		ALTITUD (m.s.n.m)
	Norte	Este	
<b>Tala</b>	8 108 719	321 147	3 310
<b>Charaque</b>	8 110 104	324 782	3 655
<b>Altarani</b>	8 107 505	330 676	3 764
<b>Calientes</b>	8 104 739	314 672	2 917
<b>Alto Coscore</b>	8 106 188	315 390	3 070



**Figura 2-8.** Ubicación de los puntos de referencia dentro del proyecto minero Anglo American Quellaveco. La figura corresponde al Informe de Monitoreo de Calidad de Aire del Proyecto Quellaveco, 2019.



**Figura 2-9.** Mapa de ubicación de los puntos de muestreo sectores Altarani, Alto Coscore, Calientes, Charaque y Tala., se detalla los sectores evaluados, así como las actividades mineras cercanas.



**Figura 2-10.** Vista del paisaje del paisaje Alto andino correspondiente a los sectores Altarani, Alto Coscore, Calientes, Charaque y Tala.

## 2.2 Ubicación temporal

El presente estudio fue desarrollado en los diferentes periodos:

- ***Lomas de Amoquinto, Tacahuay y Huacaluna (2019 – 2021)***
  - Primer monitoreo: Época húmeda: Octubre - noviembre del 2019
  - Segundo monitoreo: Época seca: Enero - febrero del 2021
- ***Zonas altoandinas (Altarani, Alto Coscore, Calientes, Charaque y Tala) (2022)***
  - Primer monitoreo: Época húmeda: Abril del 2022.
  - Segundo monitoreo: Época seca: Julio 2022.

## 2.3 Unidades de estudio

### 2.3.1 Población

La población está compuesta por las diferentes especies de Líquenes en los sectores Altarani, Alto Coscore, Calientes, Charaque, Tala, Lomas de Amoquinto, Lomas de Tacahuay y Lomas Huacaluna.

### 2.3.2 Muestreo

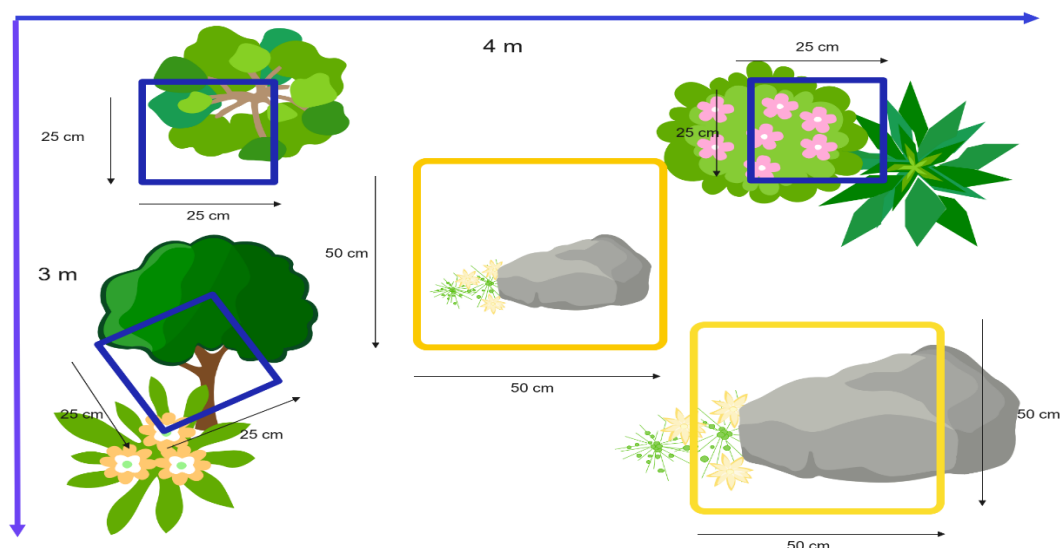
El tipo de muestreo corresponde a un muestreo no probabilístico según conveniencia del investigador (Roberto Hernández Sampieri & Collado, Carlos Fernández, 2014). Para tal caso se procedió con el establecimiento del tamaño estaciones de muestreo y de las unidades de muestreo para los sectores evaluados.

#### a) *Determinación del tamaño de las estaciones de muestreo*

Las estaciones de muestreo se dispusieron en forma rectangular de 12 m<sup>2</sup> cada una (3 x 4 m). Se marcaron con cinco estacas, colocadas en cada esquina, en el centro con el apoyo de un GPS se tomaron los puntos de referencia geográfica. Se establecieron un total de 35 estaciones de muestreo: Altarani (AL, n=5), Alto Coscore (ALC, n=5), Calientes (CA, n=5), Charaque (CHA, n=5), Tala (TA, n=5), Lomas de Tacahuay (LT, n=5) y Lomas Huacaluna (LH, n=5).

#### b) *Diseño de las unidades de muestreo*

En cada una de las estaciones de muestreo se han diseñado 5 cuadrantes (unidades de muestreo): dos cuadrantes en suelo y tres cuadrantes para muestreo sobre árboles y arbustos (Fig. 2-11 y 2-12), con el fin de medir la abundancia y diversidad de las especies de líquenes entre sitios y zonas. En total se ha tenido 175 unidades de muestreo distribuidos en las 35 estaciones correspondientes a los sectores Altarani (AL, n=5), Alto Coscore (ALC, n=5), Calientes (CA, n=5), Charaque (CHA, n=5), Tala (TA, n=5), Lomas de Tacahuay (LT, n=5) y Lomas Huacaluna (LH, n=5).



**Figura 2-11.** Prototipo de parcela (de 3x4 m), e implementación aleatoria de los tres cuadrantes sobre dosel (25x25 cm cada uno) y de los dos cuadrantes sobre suelo (50x50 cm).



**Figura 2-12.** Implementación de las unidades de muestreo. (A) Cuadrante sobre suelo (B) Cuadrante sobre árboles y arbustos. Fotografías: Valeriano-Zapana, J.A.

#### ***2.4 Técnica para el análisis de biodiversidad de líquenes presentes en las lomas de Amoquinto, Huacaluna, Tacahuay y zonas altoandinas de los distritos de Torata, Carumas.***

Para los estudios de biodiversidad se realizaron en dos etapas, en campo y gabinete siguiendo las metodologías propuestas por Ramos (2014); Vargas Castillo et al. (2017).

##### **2.4.1 Etapa de campo**

###### ***a) Selección de la zona de muestreo***

Para la selección de la zona de muestreo, se tomaron en cuenta la presencia de líquenes sobre los forofitos (árboles y arbustos) y sustratos rocosos a diferentes niveles altitudinales, siguiendo los criterios descritos por Ramos *et al.* (2013), así como lo establecido en el numeral 2.3 y 2.4.

###### **b) Colecta**

La recolección se llevó a cabo manualmente con la ayuda de instrumentos como navajas, martillos y cinceles, según fuera necesario para cortezas o rocas, siguiendo las pautas establecidas por Ramos (2014) y contando con los permisos correspondientes otorgados por SERFOR (ver Anexo 4). En total, se recopilaron 175 muestras, cada una duplicada, con un peso de 5 g por muestra, utilizado tanto para la identificación de la especie como para el análisis de metales traza. Todas las muestras fueron almacenadas y etiquetadas en sobres de papel Kraft para su posterior determinación taxonómica en el Instituto Científico Michael Owen Dillon (IMOD).



**Figura 2-13.** Colecta de muestras de líquenes en el sector de las lomas Huacaluna y Tacahuay

## 2.4.2 Etapa de gabinete

### a) Identificación

Para la identificación de las especies se tomaron las claves taxonómicas (Sipman, 2005a, b; Ramírez & Cano, 2005; Hestmark, 2009) los cuales estuvieron a cargo del Instituto Científico Michael Owen Dillon (IMOD) y las clasificaciones taxonómicas se realizaron según lo establecido por Lücking et al. (2016a).



**Figura 2-14.** Preparación de las muestras para la identificación taxonómica y determinación de los metales traça (MT).

## b) Estudio de Biodiversidad

Para los análisis de diversidad, se utilizará el programa Past versión 2.14, así como el paquete Vegan y Biodiversity de Rstudio (Anexo 11), tomando los siguientes índices de biodiversidad.

### I. Riqueza de especie

La riqueza de especies se refiere al número total de especies presentes en una determinada área o comunidad (Keke et al., 2021). Para el cálculo correspondiente, se empleó la información recopilada de las muestras recolectadas en los diferentes sectores y con el reporte de las especies identificadas (ver Anexo 1) se determinó la diversidad por clase, orden y familia. La diversidad por estación de muestreo se determinó el número de especies presentes en cada sector (Anexo 6). Además, se evaluó la diversidad promedio de las parcelas para cada ubicación y zona.

### II. Abundancia de especies

Para cuantificar la abundancia de líquenes, la evaluación más apropiada se basa en la cobertura, es decir, el porcentaje del área total de estudio ocupada por líquenes (cobertura total) o por especie (cobertura específica). Dado que resulta altamente complejo distinguir un individuo de otro en el caso de los líquenes en general, se opta por este enfoque en lugar de contar el número de individuos. La determinación de la cobertura se llevó a cabo utilizando fotografías de los cuadrantes. Se aplicó el método modificado de Braun-Blanquet (Bezuidenhout et al., 1994), empleando una escala de abundancia basada en el porcentaje de cobertura de cada especie (Tabla 2-2).

**Tabla 2-2.** Escala de abundancia-dominancia modificada de Braun-Blanquet

Índice	Porcentaje de cobertura	Porcentaje promedio de cobertura
1	20	10
2	20 a < 40	30
3	40 a < 60	50
4	60 a < 80	70
5	80 a 100	90
+	1 o 2 pequeñas colonias	1

Para el análisis estadístico de los datos, se consideró el promedio del porcentaje de cobertura para cada categoría, asignando un valor del 1% a las especies que presentaron un porcentaje muy bajo (Anexo 9).

### III. Índice de Shannon – Wiener ( $H'$ ).

Mide la diversidad de especies y su abundancia relativa. Este índice tiene valores entre 0 y 3. Si el índice es superior a 3 se tiene una diversidad alta, si esta entre 2 y 3 las especies están en equilibrio y si el valor es inferior a 2 la diversidad es baja, queda representado mediante la siguiente expresión matemática:

$$H' = \sum_{i=1}^s p_i \cdot \log_2 p_i$$

Dónde:

$H'$ : Índice de Shannon

$p_i$ : Proporción de individuos de la especie  $i$  en la muestra respecto al total de individuos.

### IV. Índice de Simpson:

Mide la riqueza de los organismos respecto a su dominancia, se cuantifica partiendo del número de organismos encontrados y su abundancia relativa, este índice tendrá valores entre 0 y 1, entre más cerca este a 1 habrá una mayor biodiversidad. Queda representado mediante la siguiente expresión:

$$D_{si} = \sum_{i=1}^s p_i^2$$

$p_i$ : Representa la abundancia proporcional de la  $i$ -ésima especie; además de ello representa la probabilidad de que un individuo de la especie  $i$  esté presente en la muestra, siendo entonces la sumatoria de  $p_i$  igual a 1.

Por otro lado:

$$p_i = \frac{n_i}{N}$$

Dónde:

- $n_i$ : Número de individuos de la especie  $i$
- $N$ : Número total de individuos

## V. Índice de Jaccard:

El Coeficiente de Similitud de Jaccard es utilizado para determinar el grado en el que dos muestras son semejantes teniendo en cuenta las especies presentes en las ellas. En el índice de Jaccard es cero cuando no hay especies compartidas entre ambas estaciones, y es uno cuando en dos estaciones en comparación tienen la misma composición de especies (REYES & TORRES, 2009). El índice de Jaccard se representa por la siguiente expresión:

$$I_j = \frac{c}{a + b - c}$$

Dónde:

a: Número de especies presentes en el sitio A, b: número de especies presentes en el sitio B y c: número de especies presentes en ambos sitios A y B.

### *2.5 Técnica para la determinación de los elementos traza en Líquenes*

#### **a) Limpieza**

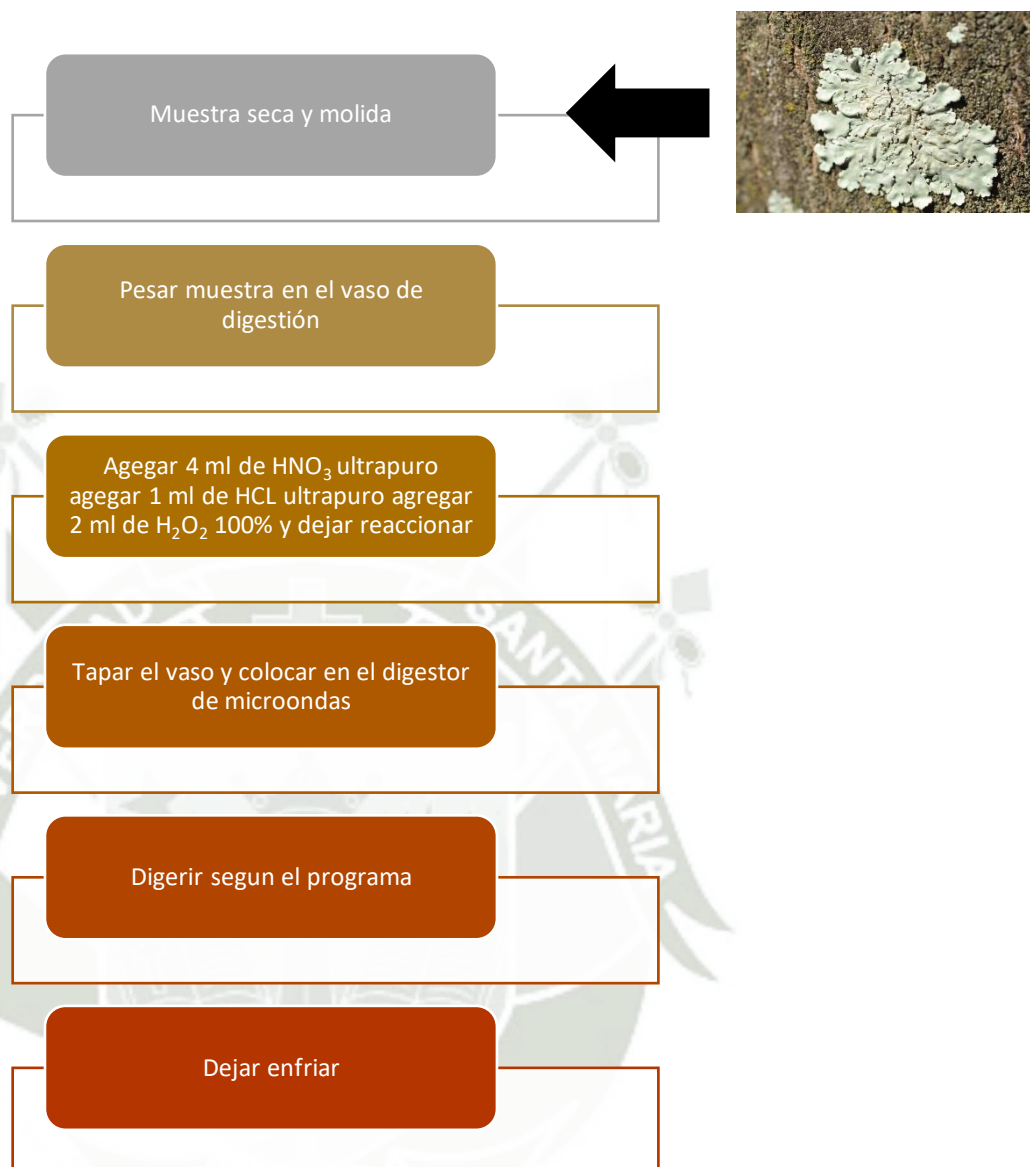
Los líquenes colectados en las zonas de estudio fueron limpiados manualmente, como tejido de líquenes muertos, sustrato de corteza u otras especies de líquenes o musgos e insectos, tomando lo criterios establecido para la limpieza y lavo de muestras de biomonitoreos (Conti & Tudino, 2016).

#### **b) Secado**

Después de la limpieza, las muestras fueron secados a 65 °C, molidos, tamizados y almacenados en tubos Falcón, aproximadamente 50 mg de cada muestra de liquen fue separado por duplicado y luego se sometió a descomposición química (Scerbo et al., 2002).

#### **c) Descomposición química**

La descomposición química se llevó a cabo utilizando 0.25 g de la muestra seca y tamizada en los tubos de digestión de microondas, se incluyó 1 blanco, 1 muestra de referencia. Luego se agregó 4 ml. de Ácido Nítrico (HNO<sub>3</sub>) ultra puro, 1 ml. de Ácido clorhídrico (HCl) ultra puro y peróxido de hidrogeno (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) ultra puro (Anexo 3), luego se tapó y coloco los tubos en el rotor de microondas asegurándose de colocar el sensor en la posición vertical, una vez acabado la digestión se retiró del rotor del interior del equipo y finalmente se dejó enfriar (De La Cruz et al., 2018; Scerbo et al., 2002).



**Figura 2-15.** Flujograma del proceso de digestión de las muestras de líquenes para la determinación de los elementos traza.

#### d) Determinación de los elementos traza

Para la determinación de los elementos traza Pb, Cd, Zn, Cu, Al, Fe, Ti, Ni, Cr, Mn, Hg en líquenes se realizaron en el laboratorio de Certificaciones del Perú (CERPER) el cual se encuentra acreditado por INACAL. Los análisis se realizaron por ICP-Masa, así mismo la metodología para la digestión de la muestra, el límite de cuantificación y el límite de detección de cada elemento traza se visualiza en los reportes técnicos (Anexo 2, 3, 4, 5 y 6)

## 2.6 Técnicas para evaluar el riesgo ecológico potencial (IR<sub>E</sub>) de los elementos traza presentes en líquenes y suelos sobre las lomas de Tacahuay.

La evaluación del riesgo ecológico potencial de los metales pesados se calculó empleando el índice de riesgo ecológico potencial (IR<sub>E</sub>) propuesto por Hakanson (1980). IR<sub>E</sub> considera integralmente la sinergia, el nivel tóxico, la concentración de los metales pesados y la sensibilidad ecológica de los metales pesados (Natasha et al., 2022; Shojaee Barjoe et al., 2023). La evaluación del riesgo ecológico potencial de los metales pesados se calculó empleando factor de contaminación (FC), riesgo ecológico (RE) y factor tóxico biológico  $T_R^i$ . El índice de riesgo ecológico potencial integral (IR<sub>E</sub>) se calcularon de acuerdo con las siguientes ecuaciones:

### 2.6.1 Cálculo del factor de contaminación (FC)

$$(1) FC_f^i = \frac{C_D^i}{C_R^i}$$

Donde:

$C_D^i$  = concentración medida de metal pesado en cada punto de muestreo

$C_R^i$  = Valor de referencia

En relación al valor de referencia  $C_R^i$  se ha considerado los valores del material certificado de referencia BCR – 482 (*Pseudevernia furfurácea*) de la “EUROPEAN COMMISSION” (Anexo 2). Para el cálculo del grado de contaminación (GC) se ha sumado los factores de contaminación para cada metal evaluado. En la Tabla 2-3., se observan la clasificación según el factor de contaminación (FC) y el grado de contaminación (GC).

**Tabla 2-3.** Clases de factor de contaminación (FC<sub>x</sub>) y grado de contaminación (GC) (Hakanson 1980 ; Luo et al., 2007 )

FC <sub>x</sub>	Grado de contaminación	GC	Grado de contaminación
FC <sub>x</sub> < 1	Baja contaminación	GC < 5	Baja contaminación
1 > FC <sub>x</sub> > 3	Contaminación moderada	5 < GC < 10	Contaminación moderada
3 > FC <sub>x</sub> > 6	Contaminación considerable	10 < GC < 20	Contaminación considerable
FC <sub>x</sub> > 6	Contaminación muy alta	GC > 20	Contaminación muy alta

### 2.6.2 Cálculo del riesgo ecológico (RE)

$$(2) RE_R^i = T_R^i \times FC_f^i$$

- $T_R^i$  = Factor tóxico biológico de un solo elemento, que se determina para: As = 10, Zn = 1, Cr = 2, Cu = Pb = Ni = 5, Cd = 30, Hg = 40 (Li et al., 2018).

### 2.6.3 Cálculo del índice del riesgo ecológico potencial (IRE)

$$(3) IRE = \sum_{i=1}^m RE_R^i$$

- $IRE$  = Índice de riesgo ecológico potencial se calcula de la suma del riesgo ecológico (RE)

En la Tabla 2-4., se observan la clasificación según el riesgo ecológico (RE) y índice del riesgo ecológico potencial (IRE).

**Tabla 2-4.** Clases de riesgo ecológico (RE) y índice del riesgo ecológico potencial (IRE) (Hakanson 1980 ; Luo et al., 2007 )

RE	Grado de riesgo ecológico	IRE	Grado de riesgo ecológico potencial
RE <40	Bajo riesgo ecológico	IRE < 65	Riesgo bajo
40 < RE <80	Riesgo ecológico moderado	65 < IRE < 130	Riesgo moderado
80 < RE <160	Riesgo ecológico considerable	130 < IRE < 260	Riesgo considerable
160 < RE <320	Alto riesgo ecológico considerable	IRE > 260	Riesgo muy alto
RE > 320	Riesgo ecológico de alto potencial significativo		

## 2.7 Estrategia de recolección de datos

### 2.7.1 Análisis de la biodiversidad de líquenes presentes en las lomas de Amoquinto, Huacaluna, Tacahuay y zonas altoandinas de los distritos de Torata, Carumas.

Los datos obtenidos en campos fueron almacenados en hojas de Excel, a través del uso de tablas dinámicas, los datos fueron ordenados para su posterior análisis. Los parámetros estadísticos descriptivos se calcularon con el software RStudio 4.2.1 y OriginPro 2021. Para el cálculo de los índices de biodiversidad se utilizó el paquete Vegan y BiodiversityR correspondiente al software RStudio 4.2.1, así como también el software Past Version 4.04, 64-bit Windows (8 MB). El análisis de conglomerados (CA) se realizó

siguiendo el método de k-medias y se utilizó la distancia euclidiana para medir la distancia entre grupos especies para los diferentes sectores evaluados.

Para determinar estadísticamente las diferencias entre los sectores en relación con la riqueza, abundancia, índices de biodiversidad, se aplicó la prueba de la normalidad de los datos se verificó preliminarmente con la prueba de Shapiro-Wilk y, como la mayoría de las variables no mostraron una distribución normal, se utilizaron pruebas no paramétricas. Finalmente, se utilizó una prueba de Kurskal-Wallis con comparación múltiple de Dunn.

### **2.7.2 Análisis de la composición química elemental de los elementos traza presente en los líquenes de las lomas de Amoquinto, Huacaluna, Tacahuay y zonas altoandinas de los distritos de Torata, Carumas.**

Los datos obtenidos del laboratorio de CERPER, fueron almacenados en hojas de Excel, a través del uso de tablas dinámicas, los datos fueron ordenados para su posterior análisis. Los parámetros estadísticos descriptivos se calcularon con el software RStudio 4.2.1 y OriginPro 2021. El análisis de conglomerados (CA) se realizó siguiendo el método de k-medias y se utilizó la distancia euclidiana para medir la distancia entre los elementos traza y sectores. Para determinar estadísticamente las diferencias entre los sectores en relación con la composición química, se aplicó la prueba de la normalidad de los datos se verificó preliminarmente con la prueba de Shapiro-Wilk y, como la mayoría de las variables no mostraron una distribución normal, se utilizaron pruebas no paramétricas. Finalmente, se utilizó una prueba de Kurskal-Wallis con comparación múltiple de Dunn.

### **2.7.3 Análisis del riesgo ecológico potencial de los elementos traza (Pb, Cd, Zn, Cu, Al, Fe, Ti, Ni, Cr, Mn, Hg) presente en los líquenes de las lomas de Amoquinto, Huacaluna, Tacahuay y zonas altoandinas de los distritos de Torata, Carumas.**

Los datos obtenidos producto del análisis de la concentración de los elementos trazan en hojas de Excel, a través del uso de tablas dinámicas, los datos fueron ordenados para su posterior análisis. Los parámetros estadísticos descriptivos se calcularon con el software RStudio 4.2.1 y OriginPro 2021.

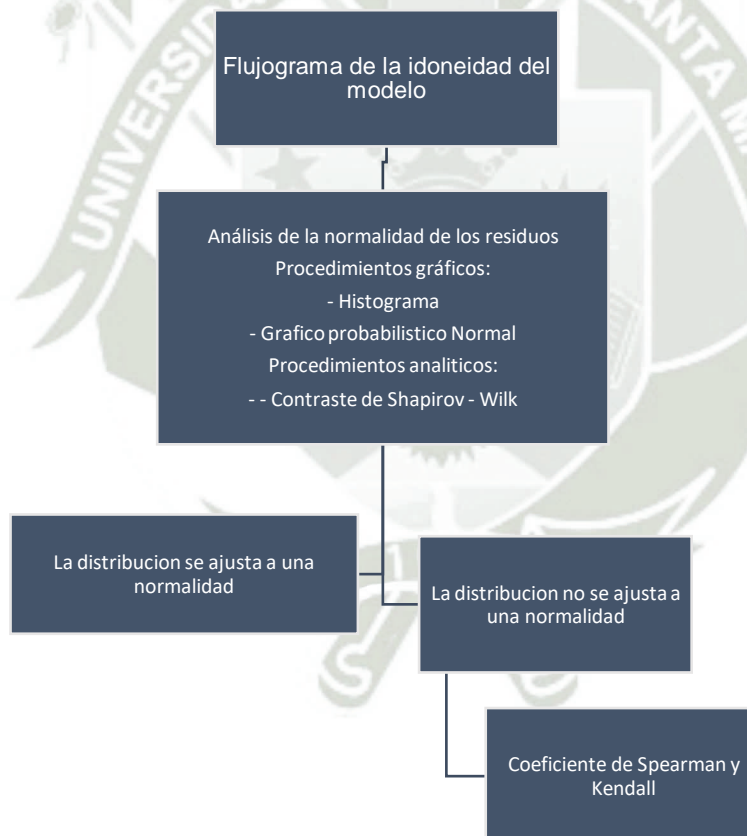
## 2.7.4 Análisis de la relación entre los índices de biodiversidad y el riesgo ecológico potencial

### a) Diseño estadístico

**Paso 1:** Para realizar el análisis estadístico, lo primero fue evaluar si los datos siguen una distribución normal para ello se aplicará la prueba de Normalidad de Shapiro-Wilk (<50 datos) (Malhotra, 2008). Para lo cual se utilizó el programa RstudioV1.4 partiendo de los siguientes supuesto:

**H<sub>0</sub>**=Los datos analizados en relación con los índices de biodiversidad y el riesgo ecológico potencial siguen una distribución Normal.

**H<sub>1</sub>**= Los datos analizados en relación con los índices de biodiversidad y el riesgo ecológico potencial no siguen una distribución Normal.



**Figura 2-16.** *Flujograma para las pruebas estadísticas de la idoneidad del modelo.*

**Paso 2:** Con los datos obtenidos se procedió a realizar un análisis estadístico descriptivo (media, mediana moda, desviación estándar) se presenta en los resultados tablas, caja de bigotes para ellos se utilizará el programa Excel para la toma de datos. Para el análisis estadístico y el desarrollo de los gráficos se usó el programa Rstudio *versión 4.2.1*.

### Paso 3: Para el análisis de la relación de la variable 1 y 2 (Diseño estadístico)

Los datos de las variables no siguen una distribución normal, para lo cual se aplicó los coeficientes de rangos ordenados de Spearman, se utilizó el programa RStudio V4.02, una vez obtenido el coeficiente de correlación se procederá a comprobar la hipótesis partiendo de los siguientes supuestos.

- $H_0$  = Existen relación entre los índices de biodiversidad y el riesgo ecológico potencial
- $H_1$  = No existen relación entre los índices de biodiversidad y el riesgo ecológico potencial

Significación estadística en p:

- Se rechaza la hipótesis nula si  $p < 0.05$
- Se acepta la hipótesis nula si  $p > 0.05$

Si el coeficiente de correlación:

- $R = \pm 0.01$  a  $\pm 0.19$  Correlación Muy Baja.
- $R = \pm 0.20$  a  $\pm 0.39$  Correlación Baja.
- $R = \pm 0.40$  a  $\pm 0.69$  Correlación Moderada.
- $R = \pm 0.70$  a  $\pm 0.89$  Correlación Alta.
- $R = \pm 0.90$  a  $\pm 0.99$  Correlación Muy Alta.
- +1 Perfecta Positiva.
- -1 Perfecta Negativa.
- 0 correlación Nula



## **3. CAPÍTULO III**

# **3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### 3.1.Resultados

#### 3.1.1 Biodiversidad de líquenes presentes en las lomas de Amoquinto, Huacaluna, Tacahuay y zonas altoandinas de los distritos de Torata, Carumas

##### 3.1.1.1 Clasificación taxonómica de las especies de líquenes

Se realizó un exhaustivo muestreo en un total de 35 estaciones, distribuidas en 7 sectores: Altarani (AL, n=5), Alto Coscore (ALC, n=5), Calientes (CA, n=5), Charaque (CHA, n=5), Tala (TA, n=5), Lomas de Tacahuay (LT, n=5) y Lomas Huacaluna (LH, n=5). En cada sector, se seleccionó 5 unidades de muestreo, acumulando así un total de 175 unidades muestréales. El análisis de estos datos evidenció un conjunto de 267 especímenes de líquenes distribuidos en 33 especies, 19 géneros, 8 familias, 7 órdenes y 2 clases. A continuación, se presenta un listado detallado que especifica la ubicación taxonómica de cada una de las especies identificadas. Esta clasificación taxonómica se llevó a cabo siguiendo las pautas establecidas por Lücking et al. (2016, 2017).

**Reino** Fungi Bartling

**Phylum** Ascomycota Caval.-Sm.

**Subphylum** Pezizomycotina O. E. Erikss. & Winka

**Clase** Lecanoromycetes O.E. Erikss. & Winka

**Subclase** Acarosporomycetidae Reeb, Lutzoni & Cl.Roux

**Orden** Acarosporales Reeb, Lutzoni & Cl. Roux

**Familia** Acarosporaceae Zahlbr.

**Género** *Acarospora* A. Massal.

**Especie** *Acarospora lorentzii* (Müll. Arg.) Hue

**Especie** *Acarospora xanthophana* (Nyl.) Jatta

**Subclase** Lecanoromycetidae P. M. Kirk, P. F. Cannon, J.

C. David & Stalpers ex Miadl., Lutzoni & Lumbsch

**Orden** Caliciales Bessey

**Familia** Caliciaceae Chevall.

**Género** *Buellia* De Not.

**Especie** *Buellia* sp.

**Género** *Dirinaria* (Tuck.)

**Especie** *Dirinaria applanata* (Fée) D.D. Awasthi

**Familia** Physciaceae Zahlbr.

**Género** *Physcia* (Schreb.) Michaux

**Especie** *Physcia eurumpens* Moberg

**Especie** *Physcia albata* (F. Wilson) Hale

**Especie** *Physcia undulata* Moberg

**Especie** *Physcia pachyphylla* Müll. Arg.

**Género** *Phaeophyscia* Mob.

**Especie** *Phaeophyscia* sp.

**Orden** Lecanorales Nannf.

**Familia** Parmeliaceae Zenker

**Género** *Canoparmelia* Elix & Hale

**Especie** *Canoparmelia* sp.

**Especie** *Canoparmelia* sp.1

**Especie** *Canoparmelia texana* (Tuck.) Elix & Hale

**Género** *Everniopsis* Nyl.

**Especie** *Everniopsis trulla* (Ach.) Nyl.

**Género** *Flavopunctelia* Hale

**Especie** *Flavopunctelia flaventior* (Stirt.) Hale

**Especie** *Flavopunctelia* sp.

**Género** *Parmotrema* A.Massal.

**Especie** *Parmotrema reticulatum* (Taylor) M. Choisy

**Especie** *Parmotrema* sp.

**Género** *Usnea* Dill. ex Adans.

**Especie** *Usnea durietzii* Motyka

**Género** *Psiloparmelia* Hale

**Especie** *Psiloparmelia distincta* (Nyl.) Hale

**Especie** *Psiloparmelia subcrustosa* Elix & T.H. Nash

**Género** *Xanthoparmelia* (Vain.)

**Especie** *Xanthoparmelia farinosa* (Vain.) T.H. Nash, Elix & J. Johnst.

**Especie** *Xanthoparmelia flavescentireagens* (Gyelnik) D. Galloway

**Orden** Lecideales Vain.

**Familia** Lecideaceae Chevall.

**Género** *Lecidea* Ach.

**Especie** *Lecidea* sp.

**Orden** Teloschistales D.Hawksw. & O.E.Erikss.

**Familia** Teloschistaceae Zahlbr.

**Subfamilia** Xanthorioideae Arup, Søchting & Frödén

**Género** Calogaya Arup, Frödén & Søchting

**Especie** *Calogaya saxicola* (Hoffm.) Vondrák

**Género** Squamulea Arup, Frödén & Søchting

**Especie** *Squamulea squamosa* (B. de Lesd.) Arup, Søchting & Frödén

**Especie** *Squamulea subsoluta* (Nyl.) Arup, Søchting & Frödén

**Subfamilia** Teloschistoideae Arup, Søchting & Frödén

**Género** Scutaria Søchting, Arup & Frödén

**Especie** *Scutaria andina* (Räsänen) Søchting, Frödén & Arup

**Subclase** Candelariomycetidae Mia, dl. et al. ex Timdal & M. Westb.

**Orden** Candelariales Mia, dl., Lutzoni & Lumbsch

**Familia** Candelariaceae Hakul.

**Género** Candelaria A. Massal.

**Especie** *Candelaria concolor* (Dicks.) Arnold

**Género** Placomaronea Räsänen

**Especie** *Placomaronea candelarioides* Räsänen

**Especie** *Placomaronea mendozae* (Räsänen) M. Westb.

**Especie** *Placomaronea* sp.

**Subclase** Umbilicariomycetidae Bendiksby, Hestmark & Timdal

**Orden** Umbilicariales Lumbsch, Hestmark & Lutzoni

**Familia** Umbilicariaceae Chevall.

**Género** Umbilicaria Hoffm.

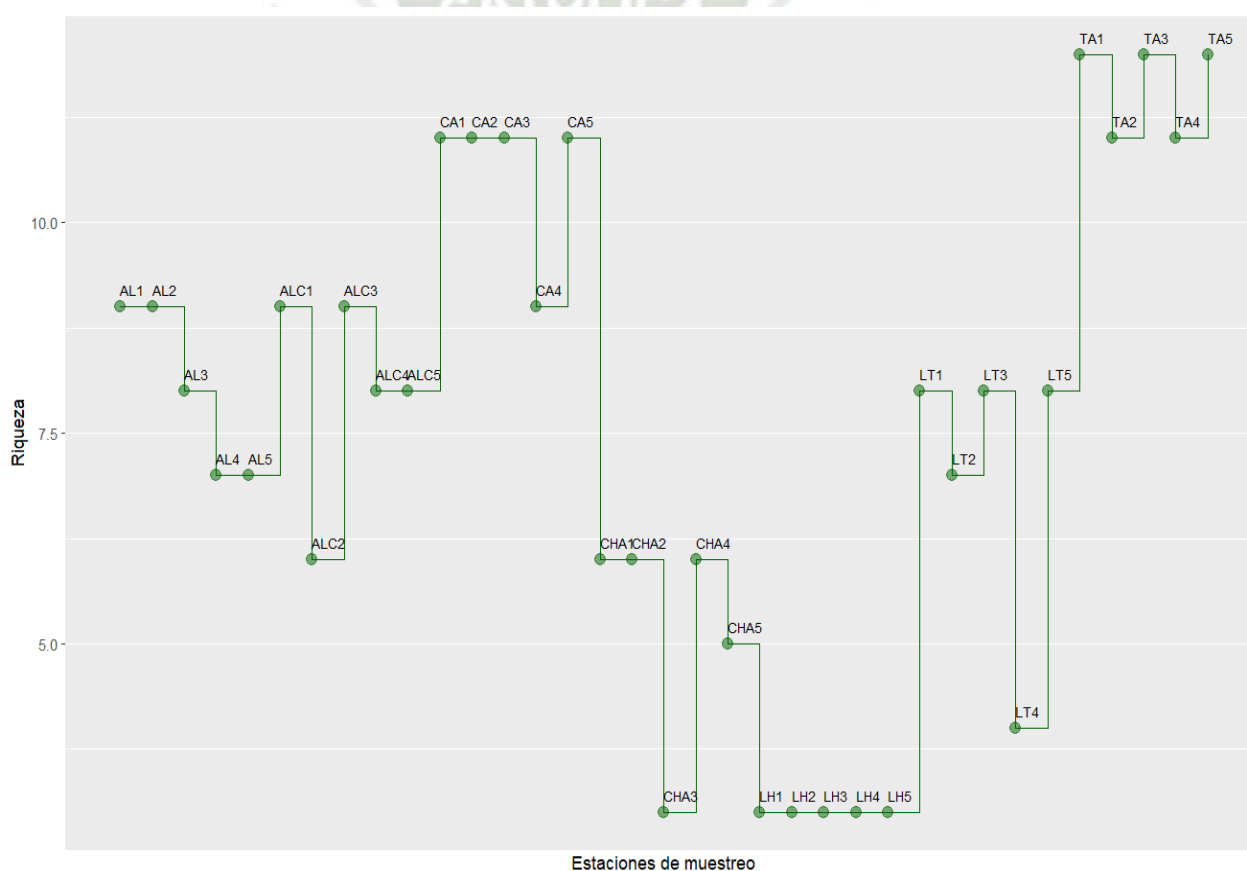
**Especie** *Umbilicaria polyphylla* (L.) Baumg.

**Especie** *Umbilicaria* sp.

### 3.1.1.2 Riqueza de especies de líquenes

#### a) Riqueza de especies de líquenes por cada estación de muestreo

En la Figura 3-1 y la Tabla 3-1, se presenta la riqueza de especies de líquenes en las distintas estaciones de muestreo. En el sector de Tala, presentó la mayor riqueza de especies en las estaciones TA1 a TA5, con un rango de 12 a 11 especies, seguido por el sector de Calientes, con las estaciones CA1, CA2, CA3 y CA5, que cuentan con 11 especies. Los sectores de Altarani, Alto Coscore, Charaque y Lomas de Tacahuay exhibieron diferencias, que varían de 4 a 9 especies. La menor diversidad de especies se encontró en el sector de Lomas Huacaluna (LH1 a LH5) y Charaque (CHA3) con 3 especies.



**Figura 0-1.** Riqueza de especies de líquenes presentes en cada estación de muestreo en las lomas costeras y zonas altoandinas de la región de Moquegua. AL=Altarani, ALC=Alto Coscore, CA=Calientes, CHA=Charaque, TA=Tala, LT=Lomas de tacahuay, LH=Lomas Huacaluna.

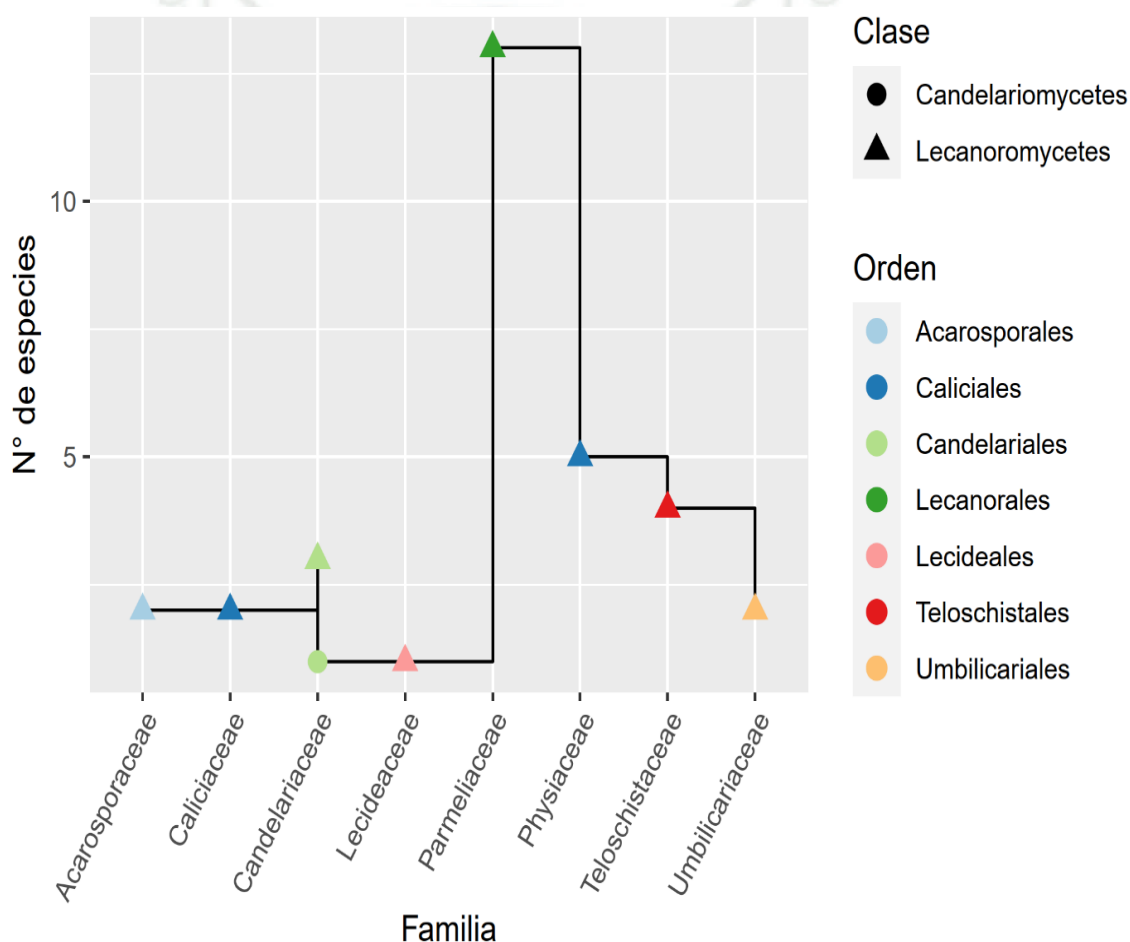
**Tabla 0-1.** Riqueza y abundancia de especies de líquenes presentes en las estaciones de muestreo de las lomas costeras y zonas altoandinas de la región de Moquegua

EM	Riqueza	Abundancia
TA1	12	93.2
TA3	12	85
TA5	12	62
CA1	11	46
CA2	11	44
CA3	11	38.6
CA5	11	51.6
TA2	11	56.4
TA4	11	58
AL1	9	50.8
AL2	9	43.2
ALC1	9	35
ALC3	9	41
CA4	9	27.6
AL3	8	35.6
ALC4	8	31.2
ALC5	8	44.8
LT1	8	106.4
LT3	8	36.4
LT5	8	44.2
AL4	7	27.6
AL5	7	27.6
LT2	7	68
ALC2	6	22.2
CHA1	6	15.2
CHA2	6	21.4
CHA4	6	20.6
CHA5	5	24.4
LT4	4	12.2
CHA3	3	12
LH1	3	64
LH2	3	40
LH3	3	46
LH4	3	10
LH5	3	64

Nota. EM= Estación de muestreo, AL=Altarani, ALC=Alto Coscore, CA=Calientes, CHA=Charaque, TA=Tala, LT=Lomas de tacahuay, LH=Lomas Huacaluna

**b) Riqueza de especies de líquenes por taxones**

En la Figura 3-2 y la Tabla 3-2, se detalla la diversidad de especies de líquenes distribuidas según su clasificación en clases, órdenes y familias en las estaciones de muestreo de las lomas costeras y zonas altoandinas. La familia Parmeliaceae, perteneciente a la orden Lecanorales de la clase Lecanoromycetes, exhibió la mayor diversidad de especies (n=13), mientras que las familias Candelariaceae (orden Candelariales, Clase Candelariomycetes) y Lecideaceae (orden Lecideales, clase Lecanoromycetes) presentaron la menor diversidad, con una especie cada una (n=1).



**Figura 0-2.** Riqueza de especies de líquenes distribuidos por clase, orden, familias presentes en las estaciones de muestreo de las lomas costeras y zonas altoandinas de la región de Moquegua. AL=Altarani, ALC=Alto Coscore, CA=Calientes, CHA=Charaque, TA=Tala, LT=Lomas de tacahuay, LH=Lomas Huacaluna.

**Tabla 0-2.** Riqueza de especies de líquenes distribuidos por clase, orden, familias presentes en las estaciones de muestreo de las lomas costeras y zonas altoandinas de la región de Moquegua

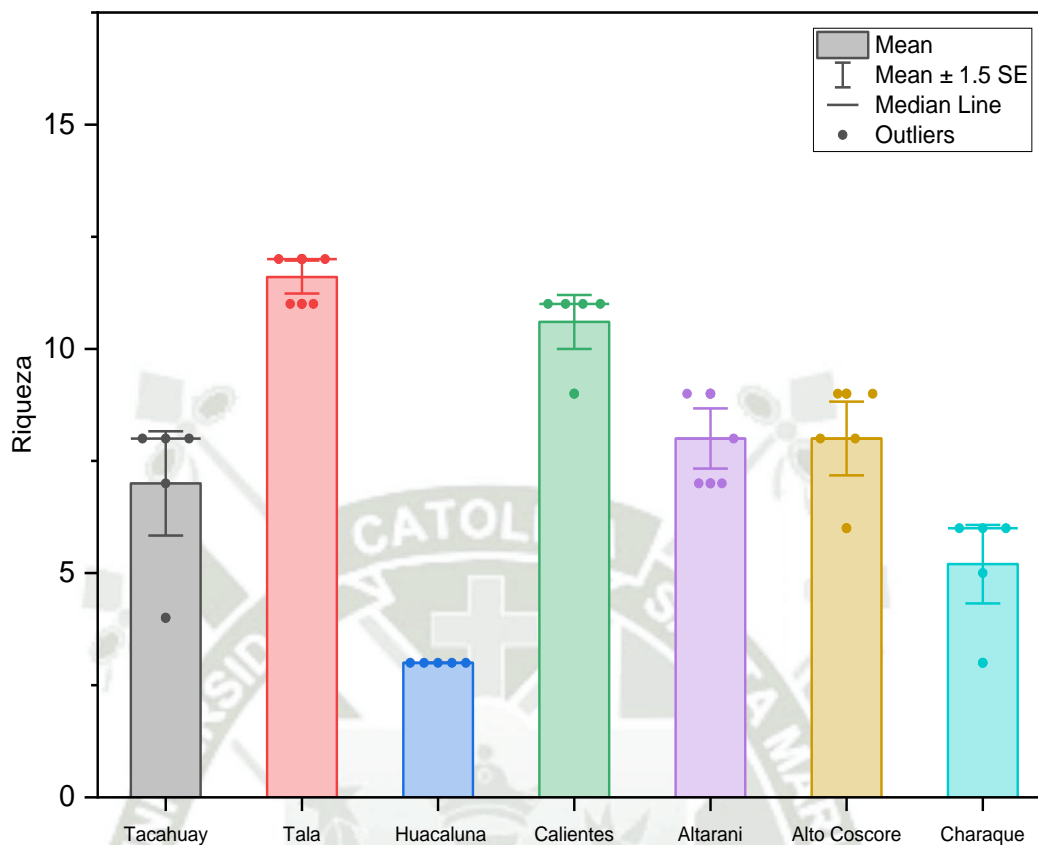
Clase	Orden	Familia	Nº Especie (n)
Lecanoromycetes	Lecanorales	Parmeliaceae	13
Lecanoromycetes	Caliciales	Physiaceae	5
Lecanoromycetes	Teloschistales	Teloschistaceae	4
Lecanoromycetes	Candelariales	Candelariaceae	3
Lecanoromycetes	Acarosporales	Acarosporaceae	2
Lecanoromycetes	Caliciales	Caliciaceae	2
Lecanoromycetes	Umbilicariales	Umbilicariaceae	2
Candelariomycetes	Candelariales	Candelariaceae	1
Lecanoromycetes	Lecideales	Lecideaceae	1

**c) Riqueza de especies de líquenes por sectores**

En la Tabla 3-3 y Figura 3-3, se presenta la estadística descriptiva de la riqueza de líquenes en los diversos ecosistemas y sectores de la región de Moquegua. Destacó el sector de Lomas de Tacahuay con el mayor promedio de riqueza de especies en el ecosistema de lomas costeras ( $7 \pm 1.73$ ). Por otro lado, el sector de Tala en el ecosistema matorral andino, presentó el mayor promedio de riqueza de especies ( $11.6 \pm 0.55$ ), mientras que Charaque presentó el menor promedio ( $5.2 \pm 1.3$ ) en este mismo ecosistema. Notablemente, el sector de Lomas de Huacaluna mostró el menor promedio de riqueza en ambos ecosistemas, registrando 3 especies en promedio.

**Tabla 0-3.** Estadística descriptiva de la riqueza de las especies de líquenes presente en los ecosistemas y sectores de estudio de la región de Moquegua

Ecosistema	Sector	n	min	max	median	q1	q3	mean	sd
Lomas costeras	Lomas de Tacahuay	5	4	8	8	7	8	7	1.73
	Lomas de Huacaluna	5	3	3	3	3	3	3	0.01
	Tala	5	11	12	12	11	12	11.6	0.55
Matorral andino	Calientes	5	9	11	11	11	11	10.6	0.89
	Altarani	5	7	9	8	7	9	8	1
	Alto Coscore	5	6	9	8	8	9	8	1.23
	Charaque	5	3	6	6	5	6	5.2	1.30

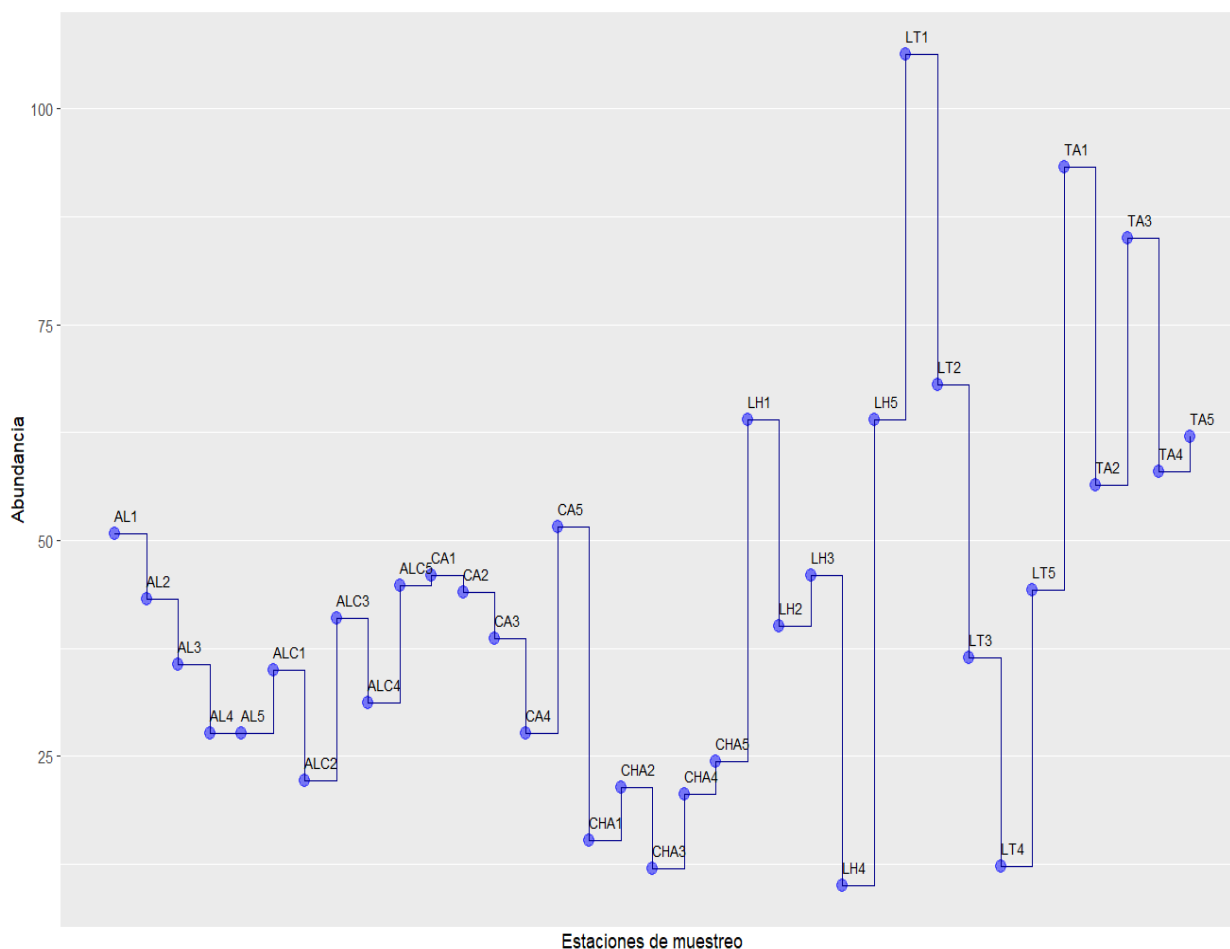


**Figura 0-3.** Boxplot de la riqueza de especies de líquenes presente en los sectores de Altarani, Alto Coscore, Calientes, Charaque, Tala, Lomas de tacahuay, Lomas Huacaluna.

### 3.1.1.3 Abundancia de especies de líquenes

#### a) Abundancia de las especies de líquenes por cada estación de muestreo

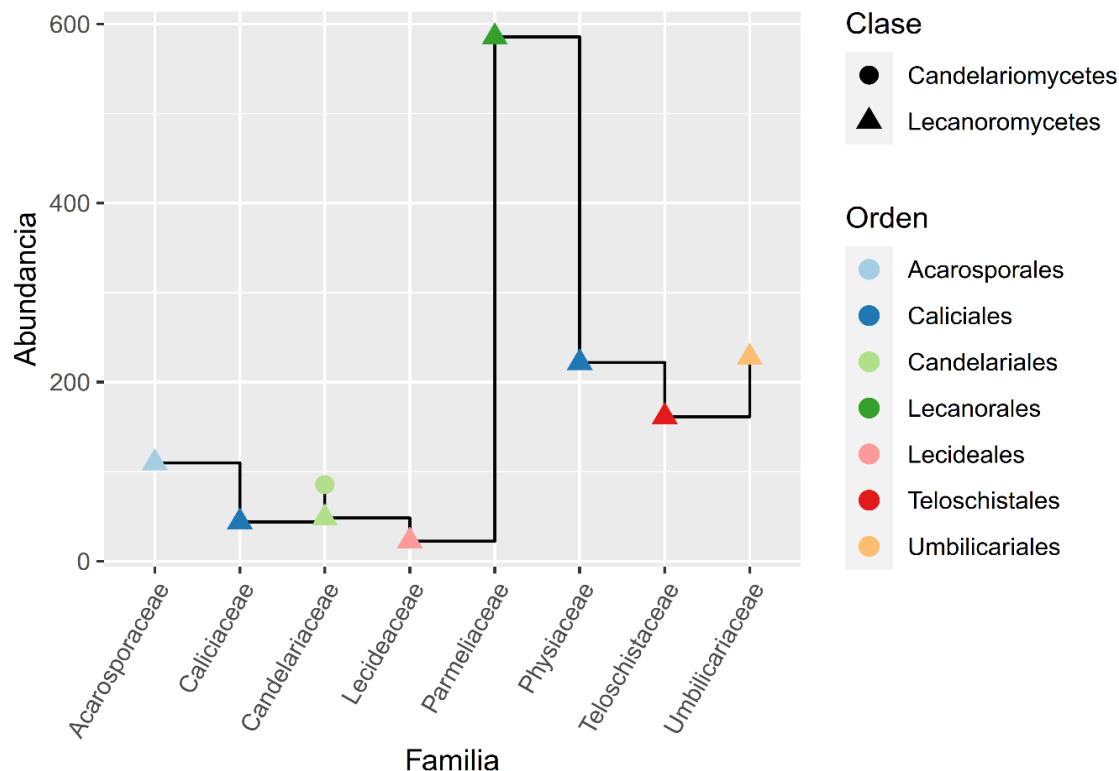
En la Figura 3-4 y la Tabla 3-1, se presenta la abundancia de especies de líquenes en las distintas estaciones de muestreo. En el sector de las lomas de Tacahuay, destacó la mayor abundancia la estación LT1 (Abu=106.4), seguido del sector de Tala con las estaciones TA1 (Abu=93.2) y TA3 (Abu=85). Los sectores de Altarani, Alto Coscore, Charaque y Lomas de Tacahuay exhibieron abundancias que varían de 20 a 70. La menor abundancia de especies se encontró en el sector de Lomas Huacaluna con la estación LH4 (Abu=10), Charaque con la estación CHA3 (Abu=12) y las lomas de Tacahuay con la estación LT4 (Abu=12.2).



**Figura 0-4.** Abundancia de especies de líquenes presentes en cada estación de muestreo en las lomas costeras y zonas altoandinas de la región de Moquegua. AL=Altarani, ALC=Alto Coscore, CA=Calientes, CHA=Charaque, TA=Tala, LT=Lomas de tacahuay, LH=Lomas Huacaluna.

**b) Abundancia de especies de líquenes por taxones**

En la Figura 3 - 5 y la Tabla 3 - 3, se detalla la diversidad de especies de líquenes distribuidas según su clasificación en clases, órdenes y familias en las estaciones de muestreo de las lomas costeras y zonas altoandinas. La familia Parmeliaceae, perteneciente al orden Lecanorales de la clase Lecanoromycetes, exhibió la mayor abundancia de especies (Abu=585.6), mientras que las familias Caliciaceae (orden Caliciales, Clase Lecanoromycetes) (Abu=43.8) y Lecideaceae (orden Lecideales, clase Lecanoromycetes) (Abu=22.4) presentaron las menores abundancias.



**Figura 0-5.** Abundancia de especies de líquenes distribuidos por clase, orden, familias presentes en las estaciones de muestreo de las lomas costeras y zonas altoandinas de la región de Moquegua.

**Tabla 0-4.** Abundancia de especies de líquenes distribuidos por clase, orden, familias presentes en las estaciones de muestreo de las lomas costeras y zonas altoandinas de la región de Moquegua

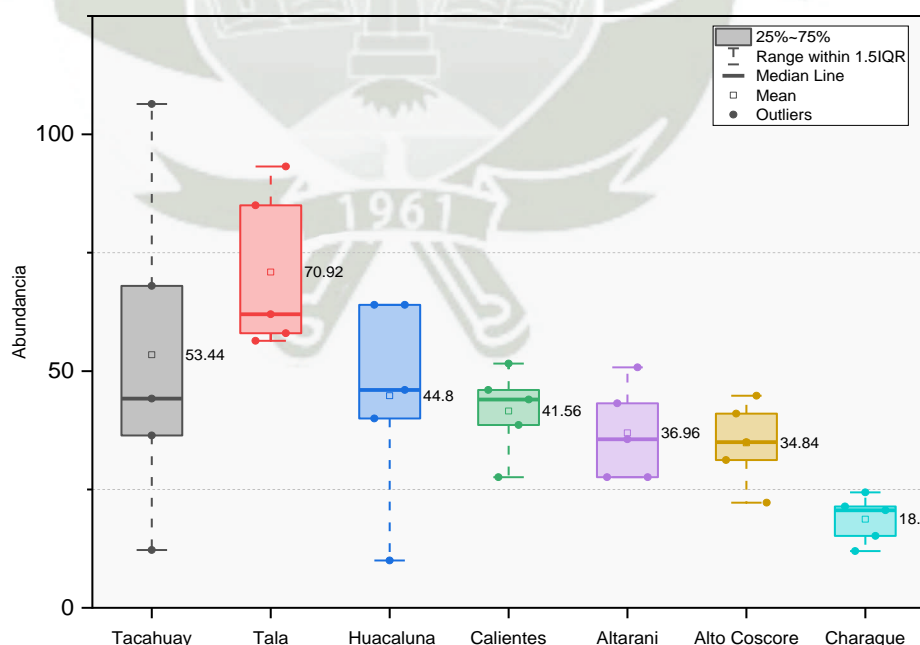
Clase	Orden	Familia	Abundancia
Lecanoromycetes	Lecanorales	Parmeliaceae	585.6
Lecanoromycetes	Umbilicariales	Umbilicariaceae	227.8
Lecanoromycetes	Caliciales	Physiaceae	221.8
Lecanoromycetes	Teloschistales	Teloschistaceae	161.4
Lecanoromycetes	Acarosporales	Acarosporaceae	109.8
Candelariomycetes	Candelariales	Candelariaceae	85.4
Lecanoromycetes	Candelariales	Candelariaceae	48.2
Lecanoromycetes	Caliciales	Caliciaceae	43.8
Lecanoromycetes	Lecideales	Lecideaceae	22.4

*c) Abundancia de especies de líquenes por sectores*

En la Tabla 3-5 y Figura 3-6, se presenta la estadística descriptiva de la abundancia de líquenes en los diversos ecosistemas y sectores de la región de Moquegua. El sector de Lomas de Tacahuay presentó el mayor promedio de abundancia de especies en el ecosistema de lomas costeras ( $53.4 \pm 35.7$ ). Por otro lado, el sector de Tala en el ecosistema matorral andino, presentó el mayor promedio de abundancia de especies ( $70.9 \pm 17$ ), mientras que el sector de Charaque presentó el menor promedio ( $18.7 \pm 5$ ) para ambos ecosistemas.

**Tabla 0-5.** Estadística descriptiva de la abundancia de las especies de líquenes presente en los ecosistemas y estaciones de estudio de la región de Moquegua

Ecosistema	Sector	n	min	max	median	q1	q3	mean	sd
Loma costera	Lomas de Tacahuay	5	12.2	106.4	44.2	36.4	68.0	53.4	35.7
	Lomas de Huacaluna	5	10.0	64.0	46.0	40.0	64.0	44.8	22.2
Matorral andino	Tala	5	56.4	93.2	62.0	58.0	85.0	70.9	17.0
	Calientes	5	27.6	51.6	44.0	38.6	46.0	41.6	9.1
	Altarani	5	27.6	50.8	35.6	27.6	43.2	37.0	10.1
	Alto Coscore	5	22.2	44.8	35.0	31.2	41.0	34.8	8.8
	Charaque	5	12.0	24.4	20.6	15.2	21.4	18.7	5.0



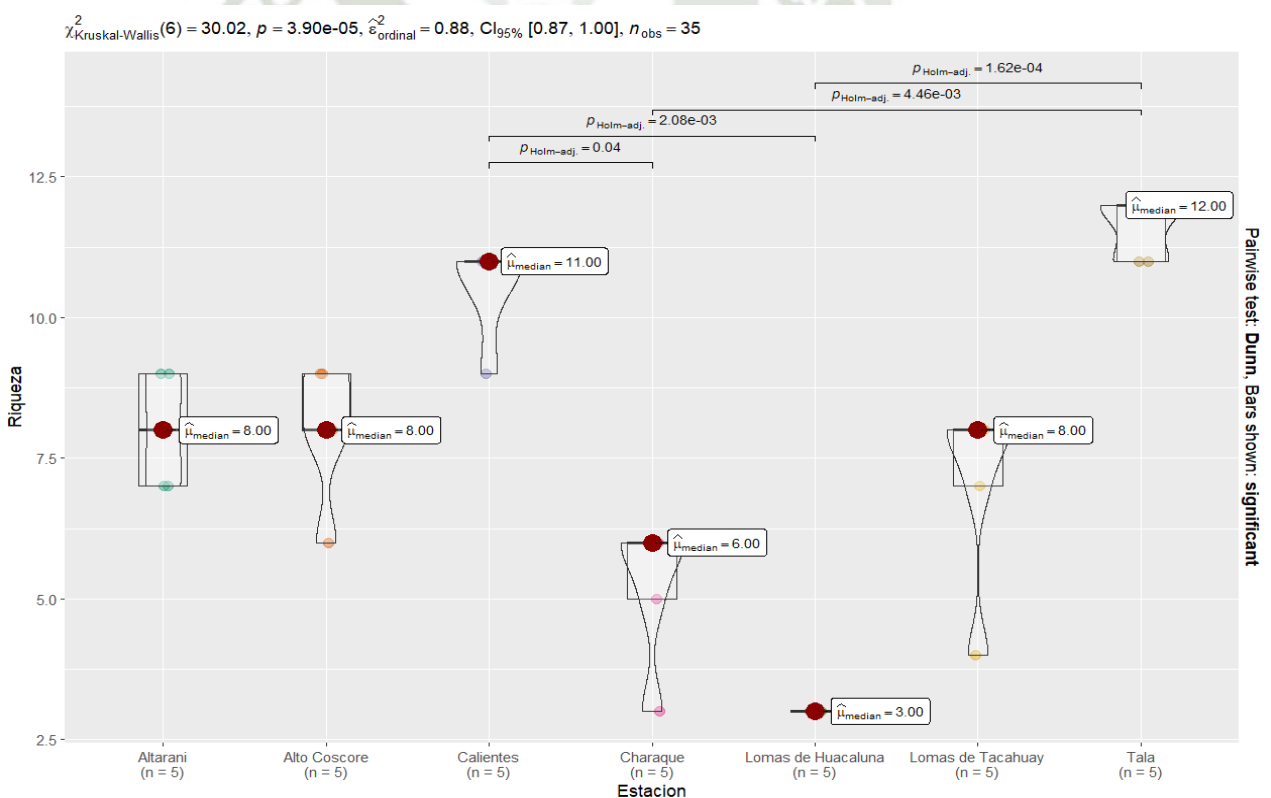
**Figura 0-6.** Boxplot de la abundancia de especies de líquenes presente en los sectores de Altarani, Alto Coscore, Calientes, Charaque, Tala, Lomas de tacahuay, Lomas Huacaluna.

### 3.1.1.4 Comparación de la riqueza para los sectores Altarani, Alto Coscore, Calientes, Charaque, Tala, Lomas de Tacahuay, Lomas Huacaluna.

Los promedios obtenidos para la riqueza de especies para los diferentes sectores no siguieron una distribución normal. El test de normalidad de Shapiro-Wilk (p-valor = 0.0136) confirmó dicha hipótesis (p-valor < 0.05). Para cumplir el supuesto de homocedasticidad (igualdad de varianzas) se aplicó el test de Levene, obteniéndose un p-valor= 0.6269. Que fue mayor que 0.05. De esta manera se aceptó la hipótesis de homocedasticidad (ver anexo 3).

Para responder la siguiente interrogante, *¿Existe alguna diferencia en la riqueza de especies para los sectores Altarani, Alto Coscore, Calientes, Charaque, Tala, Lomas de Tacahuay, Lomas Huacaluna?*, se planteó las siguientes hipótesis:

- $H_0$ = Todos los sectores evaluados tiene la misma riqueza de especies
- $H_1$ = Al menos uno de los sectores no tiene la misma riqueza de especies



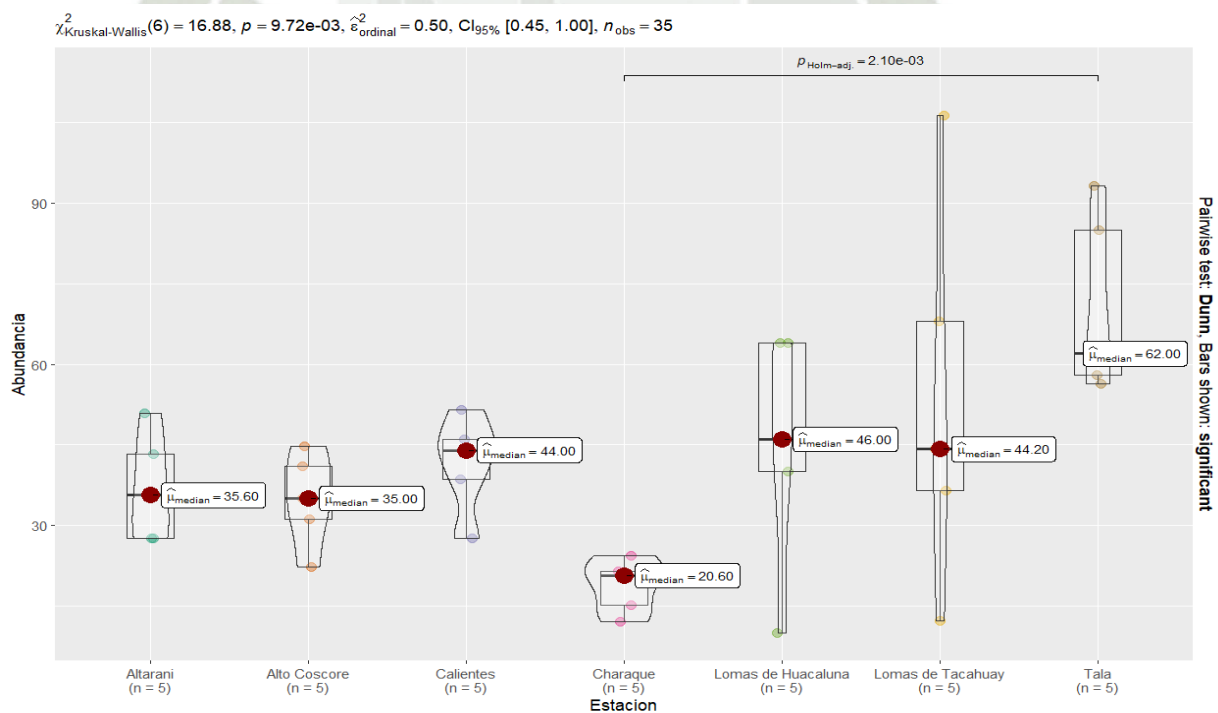
$p \geq 0.1$ = Ausencia de evidencia contra la hipótesis nula;  $0.05 \leq p < 0.1$ = Baja evidencia contra la hipótesis nula a favor de la alternativa;  $0.01 \leq p < 0.05$  = Moderada evidencia contra la hipótesis nula a favor de la alternativa;  $0.001 \leq p < 0.01$  = Fuerte evidencia contra la hipótesis nula a favor de la alternativa;  $p < 0.001$  = Muy fuerte evidencia contra la hipótesis nula a favor de la alternativa.

**Figura 0-7.** Test No Paramétrico de Kruskal y Wallis aplicado a la riqueza de líquenes para los sectores de Altarani, Alto Coscore, Calientes, Charaque, Tala, Lomas de tacahuay, Lomas Huacaluna.

La Figura 3-7, test de Kruskal-Wallis aplicado a la riqueza de líquenes para los sectores de Altarani, Alto Coscore, Calientes, Charaque, Tala, Lomas de tacahuay, Lomas Huacaluna, reveló una evidencia muy fuerte en contra de la hipótesis nula ( $H_0$ ), de que las riquezas de especies sean similares para todos los sectores estudiados, a favor de la hipótesis alternativa ( $H_1$ ) ( $p\text{-valor}=3.90 \times 10^{-5}$ ). El tamaño del efecto ( $\mathcal{E}^2 = 0.88$ ) indicó que el efecto de la riqueza de especie sobre la heterogeneidad de la comunidad liquénica en los sectores de estudio es fuerte. Para evaluar en qué sectores existe dicha diferencia se procedió a realizar las comparaciones múltiples por el método de Holm, evidenciando que los sectores de Calientes, Charaque, Loma de Huacaluna, Loma de Tacahuay y Tala son los que presentaron mayores diferencias en la riqueza de especies ( $p < 0.05$ ). Los sectores de Altarani y Alto Coscore no presentaron diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) en la riqueza de especies.

### 3.1.1.5 Comparación de la abundancia para los sectores Altarani, Alto Coscore, Calientes, Charaque, Tala, Lomas de Tacahuay, Lomas Huacaluna.

Los promedios obtenidos para la riqueza de especies para los diferentes sectores no siguieron una distribución normal. El test de normalidad de Shapiro-Wilk ( $p\text{-valor} = 0.00634$ ) confirmó dicha hipótesis ( $p\text{-valor} < 0.05$ ).



**Figura 0-8.** Test No Paramétrico de Kruskal y Wallis aplicado a la abundancia de líquenes para los sectores de Altarani, Alto Coscore, Calientes, Charaque, Tala, Lomas de tacahuay, Lomas Huacaluna.

Para cumplir el supuesto de homocedasticidad (igualdad de varianzas) se aplicó el test de Levene, obteniéndose un p-valor = 0.1347. Que fue mayor que 0.05. De esta manera se aceptó la hipótesis de homocedasticidad (ver anexo 3).

Para responder la siguiente interrogante, *¿Existe alguna diferencia en la abundancia de especies para los sectores Altarani, Alto Coscore, Calientes, Charaque, Tala, Lomas de Tacahuay, Lomas Huacaluna?*, se plantearon la siguientes hipótesis:

- $H_0$ = Todos los sectores evaluados tiene la misma abundancia de especies
- $H_1$ = Al menos uno de los sectores no tiene la misma abundancia de especies

La Figura 3 – 8, se observa los resultados del test de Kruskal-Wallis aplicado a la abundancia de líquenes de los sectores de Altarani, Alto Coscore, Calientes, Charaque, Tala, Lomas de Tacahuay y Lomas Huacaluna. Se observó una evidencia fuerte en contra de la hipótesis nula ( $H_0$ ), que plantea que las riquezas de especies son similares en todos los sectores estudiados, respaldando la hipótesis alternativa ( $H_1$ ) (p-valor= $9.72 \times 10^{-3}$ ). El tamaño del efecto ( $\mathcal{E}^2 = 0,50$ ) indicó que el efecto de la abundancia de las especies en la heterogeneidad de la comunidad liquénica en los sectores de estudio es significativo. Las comparaciones múltiples utilizando el método de Holm reveló que los sectores de Charaque y Tala presentaron diferencias significativas en la abundancia de especies ( $p < 0.05$ ), mientras los sectores de Calientes, Loma de Huacaluna, Loma de Tacahuay, Altarani y Alto Coscore no muestran diferencias significativas ( $p > 0.05$ ).

### 3.1.1.6 Cobertura de especies de líquenes

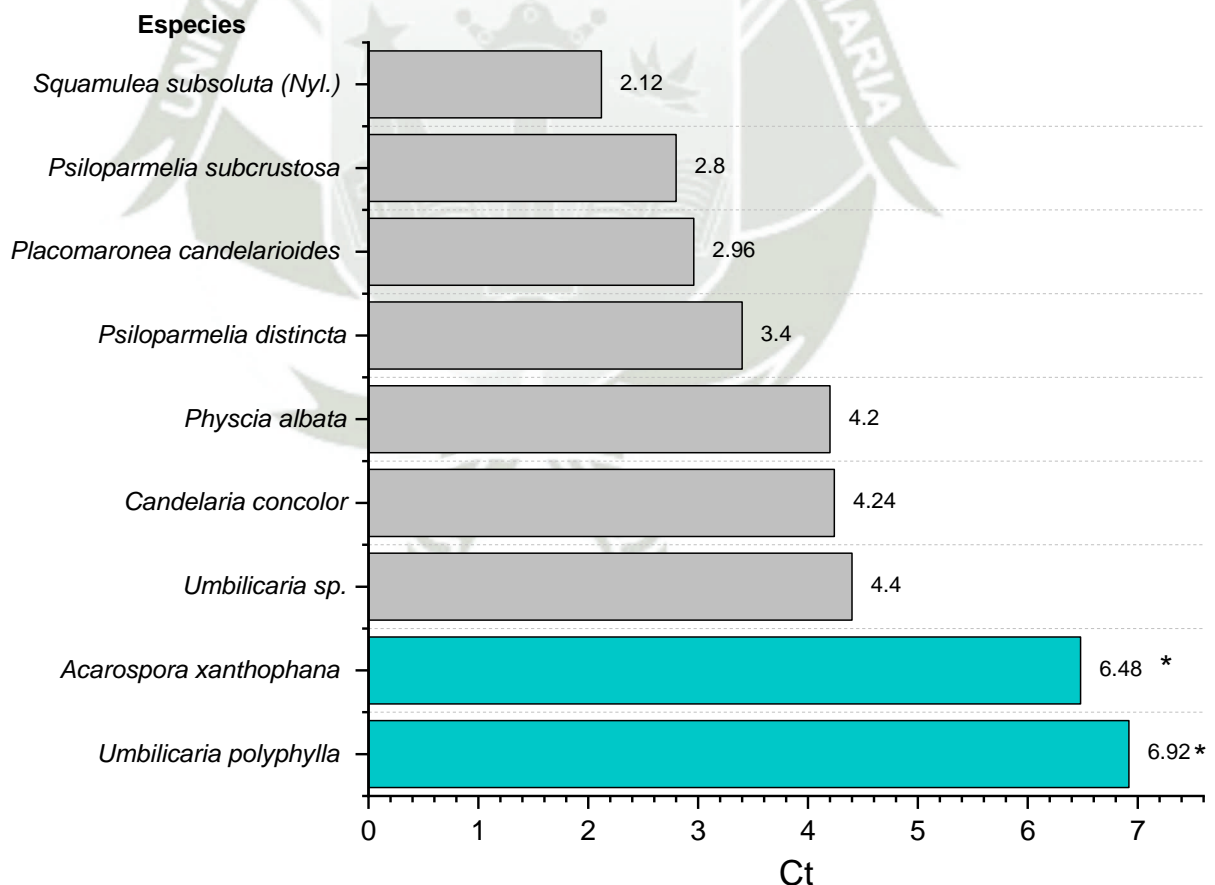
#### a) Cobertura de especies de líquenes en el sector de Altarani

La Tabla 3-6, se observa la frecuencia absoluta, frecuencia relativa, cobertura absoluta, cobertura relativa y cobertura total (superficie de ocupación) de las especies de líquenes identificados en el sector de Altarani. *Physcia albata* presentó la mayor frecuencia relativa (Fr=14.56 %), mientras que *Psiloparmelia subcrustosa* exhibió la menor (Fr=6.8 %). En términos de cobertura relativa, *Umbilicaria polyphylla* lideró con el valor más alto (Cr= 17.64 %), mientras que *Psiloparmelia distincta* presentó el menor valor (Cr= 8.00 %). En cuanto a la cobertura total, *Umbilicaria polyphylla* se destacó como la especie más dominante (Ct= 6.92), seguida por *Acarospora xanthophana* (Ct= 6.48), *Umbilicaria sp.* (Ct= 4.40), *Candelaria concolor* (Ct= 4.24) y *Physcia albata* (Ct= 4.20) (Figura 3-9).

**Tabla 0-6.** Frecuencia absoluta, frecuencia relativa, cobertura absoluta, cobertura relativa y cobertura total (superficie de ocupación) de especies de líquenes encontrados en el sector de Altarani

ESPECIES	N° Sitios	Fa	Fr (%)	Ca	Cr (%)	Ct
<i>Umbilicaria polyphylla</i> (L.) Baumg	12	0.48	11.65	14.42	17.64	6.92*
<i>Acarospora xanthophana</i> (Nyl.) Jatta	14	0.56	13.59	11.57	14.16	6.48 <sup>+</sup>
<i>Umbilicaria sp.</i>	11	0.44	10.68	10.00	12.24	4.40 <sup>+</sup>
<i>Candelaria concolor</i> (Dicks.) Arnold	12	0.48	11.65	8.83	10.81	4.24 <sup>+</sup>
<i>Physcia albata</i> (F. Wilson) Hale	15	0.60	14.56	7.00	8.57	4.20 <sup>+</sup>
<i>Psiloparmelia distincta</i> (Nyl.) Hale	13	0.52	12.62	6.54	8.00	3.40
<i>Placomaronea candelarioides</i> Räsänen	11	0.44	10.68	6.73	8.23	2.96
<i>Psiloparmelia subcrustosa</i> Elix & T.H. Nash	7	0.28	6.80	10.00	12.24	2.80
<i>Squamulea subsoluta</i> (Nyl.) Arup, Søchting & Frödén	8	0.32	7.77	6.63	8.11	2.12
<b>Total</b>	<b>103</b>	<b>4.12</b>		<b>81.71</b>		<b>37.52</b>

Fa=Frecuencia absoluta, Fr=Frecuencia relativa, Ca=Cobertura absoluta, Cr=Cobertura relativa, Ct=Cobertura total, \*Especies con mayor dominancia, +Especies codominantes



**Figura 0-9.** Cobertura total (superficie de ocupación) de especies de líquenes encontrados en el sector de Altarani.

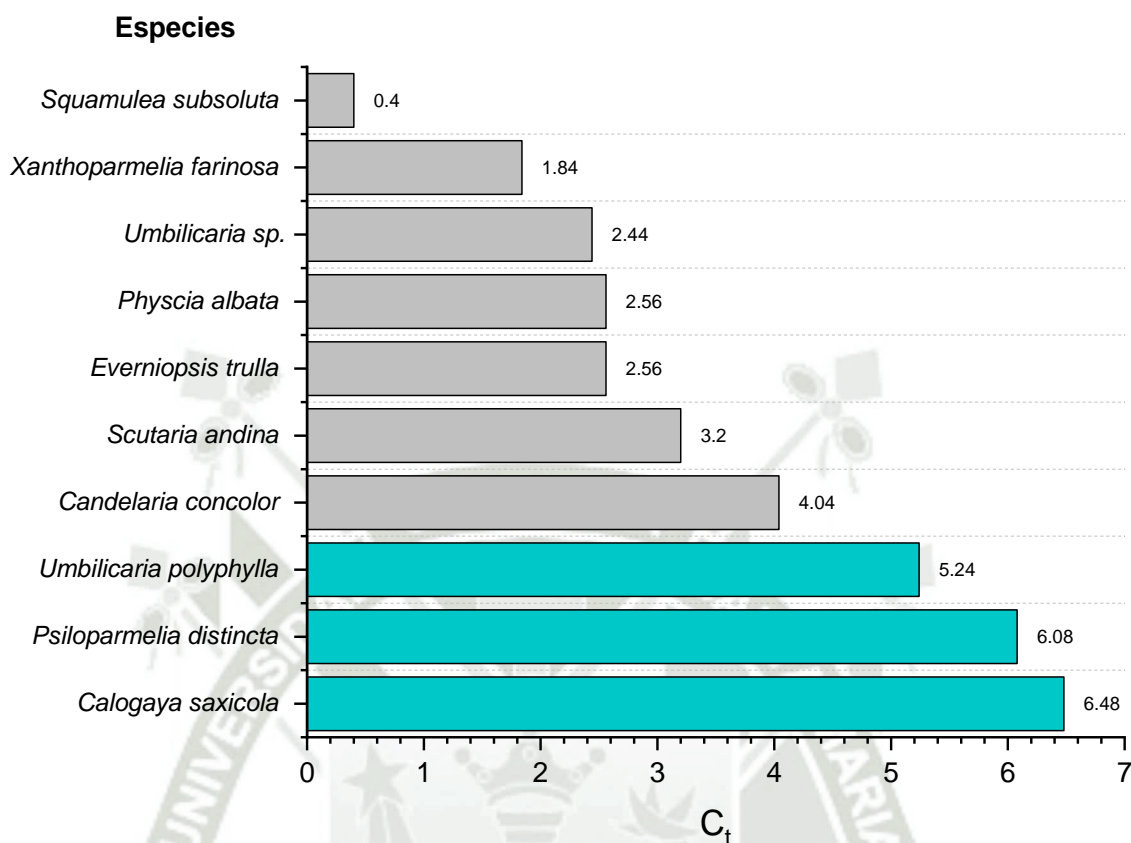
**b) Cobertura de especies de líquenes en el sector de Alto Coscore**

La Tabla 3-7, se observa la frecuencia absoluta, frecuencia relativa, cobertura absoluta, cobertura relativa y cobertura total (superficie de ocupación) de las especies de líquenes identificadas en el sector de Alto Coscore. *Psiloparmelia distincta* presentó la mayor frecuencia relativa (Fr = 14.13 %), mientras que *Squamulea subsoluta* exhibió la menor (Fr = 1.09 %). En términos de cobertura relativa, *Calogaya saxicola* lideró con el valor más alto (Cr= 14.45 %), mientras que *Xanthoparmelia farinosa* presentó el menor valor (Cr = 4.92 %). En cuanto a la cobertura total, *Calogaya saxicola* se destacó como la especie más dominante (Ct = 6.48), seguida por especies codominantes como *Psiloparmelia distincta* (Ct = 6.08), *Umbilicaria polyphylla* (Ct = 5.24), *Candelaria concolor* (Ct = 4.04) y la especie con menor cobertura (dominancia) *Squamulea subsoluta* (Ct = 0.40) (Figura 3- 10).

**Tabla 0-7.** Cobertura total (superficie de ocupación) de especies de líquenes encontrados en el sector de Alto Coscore

Especies	N° Sitios	Fa	Fr (%)	Ca	Cr (%)	Ct
<i>Calogaya saxicola</i> (Hoffm.) Vondrák	12	0.48	13.04	13.50	14.45	6.48
<i>Psiloparmelia distincta</i> (Nyl.) Hale	13	0.52	14.13	11.69	12.51	6.08
<i>Umbilicaria polyphylla</i> (L.) Baumg	12	0.48	13.04	10.92	11.68	5.24
<i>Candelaria concolor</i> (Dicks.) Arnold	9	0.36	9.78	11.22	12.01	4.04
<i>Scutaria andina</i> (Räsänen) Søchting, Frödén & Arup	8	0.32	8.70	10.00	10.70	3.20
<i>Everniopsis trulla</i> (Ach.) Nyl.	10	0.40	10.87	6.40	6.85	2.56
<i>Physcia albata</i> (F. Wilson) Hale	10	0.40	10.87	6.40	6.85	2.56
<i>Umbilicaria sp.</i>	7	0.28	7.61	8.71	9.33	2.44
<i>Xanthoparmelia farinosa</i> (Vain.) T.H. Nash, Elix & Johnston	10	0.40	10.87	4.60	4.92	1.84
<i>Squamulea subsoluta</i> (Nyl.) Arup, Søchting & Frödén	1	0.04	1.09	10.00	10.70	0.40
Total	92.00	3.68		93.4		34.8

Fa=Frecuencia absoluta, Fr=Frecuencia relativa, Ca=Cobertura absoluta, Cr=Cobertura relativa, Ct=Cobertura total,  
\*Especies con mayor dominancia, +Especies codominantes



**Figura 0-10.** Cobertura total (superficie de ocupación) de especies de líquenes encontrados en el sector de Alto Coscore.

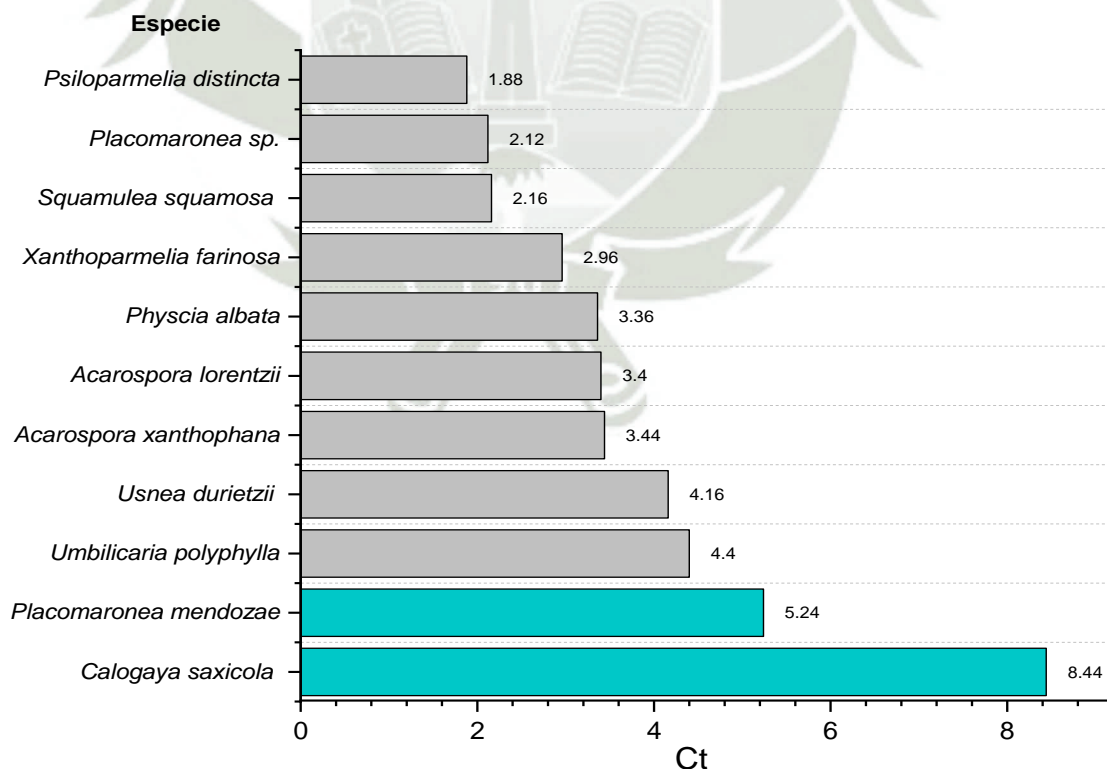
**c) Cobertura de especies de líquenes en el sector de Calientes**

La Tabla 3-8, se observa la frecuencia absoluta, frecuencia relativa, cobertura absoluta, cobertura relativa y cobertura total (superficie de ocupación) de las especies de líquenes identificadas en el sector de Calientes. *Placomaronea mendozae* y *Acarospora xanthophana* presentaron la mayor frecuencia relativa ( $Fr = 11.13\%$ ), mientras que *Placomaronea sp* exhibió la menor ( $Fr = 6.35\%$ ). En términos de cobertura relativa, *Calogaya saxicola* lideró con el valor más alto ( $Cr = 19.66\%$ ), mientras que *Psiloparmelia distincta* presentó el menor valor ( $Cr = 4.78\%$ ). En cuanto a la cobertura total, *Calogaya saxicola* destacó como la especie más dominante ( $C_t = 8.44$ ), seguida por especies codominantes como *Placomaronea mendozae* ( $C_t = 5.24$ ), *Umbilicaria polyphylla* ( $C_t = 4.40$ ), *Candelaria concolor* ( $C_t = 4.04$ ) y la especie con menor cobertura (dominancia) *Psiloparmelia distincta* ( $C_t = 1.88$ ) (Figura 3- 11).

**Tabla 0-8.** Cobertura total (superficie de ocupación) de especies de líquenes encontrados en el sector de Calientes

ESPECIES	N° Sitios	Fa	Fr	Ca	Cr	Ct
<i>Calogaya saxicola</i> (Hoffm.) Vondrák	12	0.48	9.52	17.58	19.66	8.44
<i>Placomaronea mendozae</i> (Räsänen) M. Westb.	14	0.56	11.11	9.36	10.46	5.24
<i>Umbilicaria polyphylla</i> (L.) Baumg	11	0.44	8.73	10.00	11.18	4.40
<i>Usnea durietzii</i> Motyka	12	0.48	9.52	8.67	9.69	4.16
<i>Acarospora xanthophana</i> (Nyl.) Jatta	14	0.56	11.11	6.14	6.87	3.44
<i>Acarospora lorentzii</i> (Müll. Arg.) Hue	12	0.48	9.52	7.08	7.92	3.40
<i>Physcia albata</i> (F. Wilson) Hale	12	0.48	9.52	7.00	7.82	3.36
<i>Xanthoparmelia farinosa</i> (Vain.) T.H. Nash, Elix & Johnston	11	0.44	8.73	6.73	7.52	2.96
<i>Squamulea squamosa</i> (B. de Lesd.) Arup, Söchting & Frödén	9	0.36	7.14	6.00	6.71	2.16
<i>Placomaronea sp.</i>	8	0.32	6.35	6.63	7.41	2.12
<i>Psiloparmelia distincta</i> (Nyl.) Hale	11	0.44	8.73	4.27	4.78	1.88
<b>Total</b>	<b>126</b>	<b>5.04</b>		<b>89.46</b>		<b>41.56</b>

Fa=Frecuencia absoluta, Fr=Frecuencia relativa, Ca=Cobertura absoluta, Cr=Cobertura relativa, Ct=Cobertura total,  
\*Especies con mayor dominancia, +Especies codominantes



**Figura 0-11.** Cobertura total (superficie de ocupación) de especies de líquenes encontrados en el sector de Calientes.

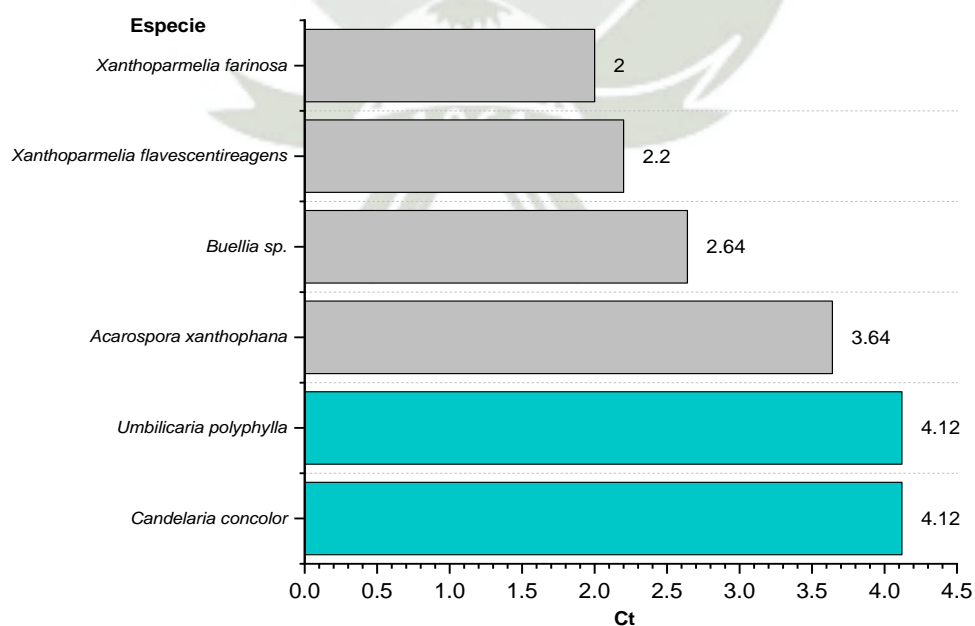
**d) Cobertura de especies de líquenes en el sector de Charaque**

La Tabla 3-9, se observa la frecuencia absoluta, frecuencia relativa, cobertura absoluta, cobertura relativa y cobertura total (superficie de ocupación) de las especies de líquenes identificadas en el sector de Charaque. *Candelaria concolor* y *Umbilicaria polyphylla* presentaron la mayor frecuencia relativa (Fr = 20.63 %), mientras que *Xanthoparmelia farinosa* exhibió la menor (Fr = 7.94 %). En términos de cobertura relativa y cobertura total, *Candelaria concolor* y *Umbilicaria polyphylla* presentaron los valores más altos (Cr = 17.24, Ct = 4.12) y con menor valor en cobertura total *Xanthoparmelia farinosa* (Ct = 2.00) (Figura 3-12).

**Tabla 0-9.** Cobertura total (superficie de ocupación) de especies de líquenes encontrados en el sector de Charaque

Especie	N° Sitios	Fa	Fr	Ca	Cr	Ct
<i>Candelaria concolor</i>	13	0.52	20.63	7.92	17.24	4.12
<i>Umbilicaria polyphylla</i>	13	0.52	20.63	7.92	17.24	4.12
<i>Acarospora xanthophana</i>	10	0.40	15.87	9.10	19.81	3.64
<i>Buellia sp.</i>	12	0.48	19.05	5.50	11.97	2.64
<i>Xanthoparmelia flavescensireagens</i>	10	0.40	15.87	5.50	11.97	2.20
<i>Xanthoparmelia farinosa</i>	5	0.20	7.94	10.00	21.76	2.00
<b>Total</b>	<b>63</b>	<b>2.52</b>		<b>45.95</b>		<b>18.72</b>

Fa=Frecuencia absoluta, Fr=Frecuencia relativa, Ca=Cobertura absoluta, Cr=Cobertura relativa, Ct=Cobertura total, \*Especies con mayor dominancia, +Especies codominantes



**Figura 0-12.** Cobertura total (superficie de ocupación) de especies de líquenes encontrados en el sector de Charaque.

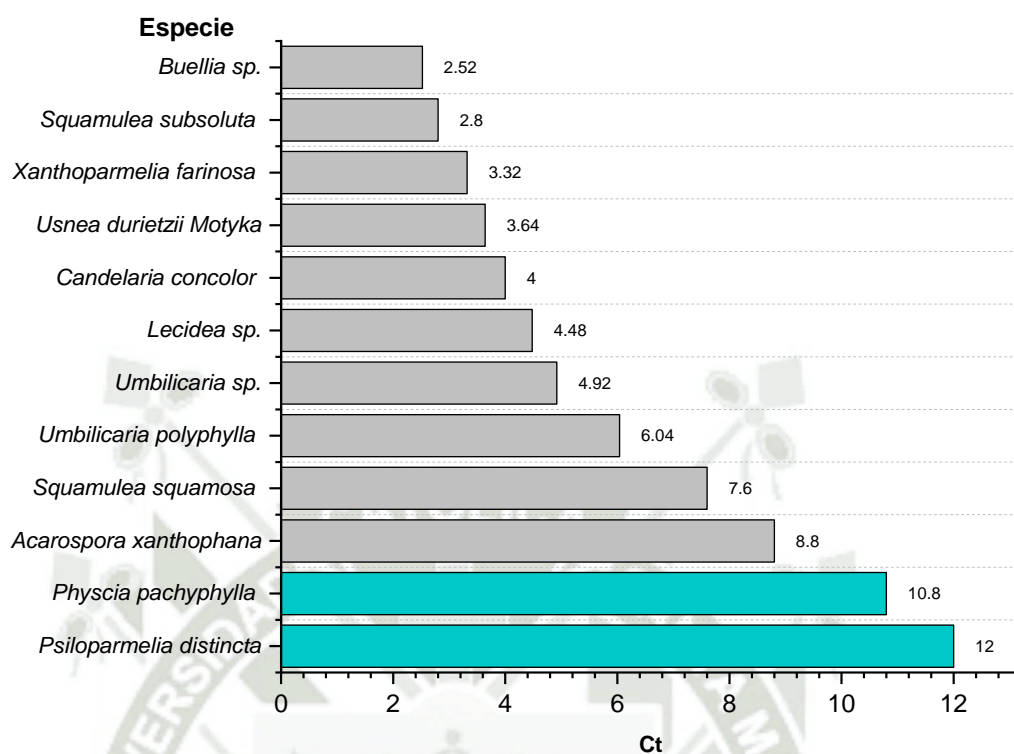
**e) Cobertura de especies de líquenes en el sector de Tala**

La Tabla 3-10, se observa la frecuencia absoluta, frecuencia relativa, cobertura absoluta, cobertura relativa y cobertura total (superficie de ocupación) de las especies de líquenes identificadas en el sector de Tala. *Physcia pachyphylla*, *Squamulea squamosa*, *Umbilicaria sp.* y *Lecidea sp.* presentaron la mayor frecuencia relativa (Fr = 9.92 %), mientras que *Squamulea subsoluta* exhibió la menor (Fr = 5.34 %). En términos de cobertura relativa, *Psiloparmelia distincta* lideró con el valor más alto (Cr = 15.90 %), mientras que *Buellia sp.* presentó el menor valor (Cr = 4.45 %). En cuanto a la cobertura total, *Psiloparmelia distincta* se destacó como la especie más dominante (Ct = 12.00), seguida por especies codominantes como *Physcia pachyphylla* (Ct = 10.80), *Acarospora xanthophana* (Ct = 8.80), *Squamulea squamosa* (Ct = 7.60) y la especie con menor cobertura (dominancia) *Buellia sp.* (Ct = 2.52) (Figura 3- 13).

**Tabla 0-10.** Cobertura total (superficie de ocupación) de especies de líquenes encontrados en el sector de Tala

Especie	N° Sitio	Fa	Fr	Ca	Cr	Ct
<i>Psiloparmelia distincta</i> (Nyl.) Hale	12	0.48	9.16	25.00	15.90	12.00
<i>Physcia pachyphylla</i> Müll. Arg.	13	0.52	9.92	20.77	13.21	10.80
<i>Acarospora xanthophana</i> (Nyl.) Jatta	12	0.48	9.16	18.33	11.66	8.80
<i>Squamulea squamosa</i> (B. de Lesd.) Arup, Søchting & Frödén	13	0.52	9.92	14.62	9.30	7.60
<i>Umbilicaria polyphylla</i> (L.) Baumg	10	0.40	7.63	15.10	9.60	6.04
<i>Umbilicaria sp.</i>	13	0.52	9.92	9.46	6.02	4.92
<i>Lecidea sp.</i>	13	0.52	9.92	8.62	5.48	4.48
<i>Candelaria concolor</i> (Dicks.) Arnold	10	0.40	7.63	10.00	6.36	4.00
<i>Usnea durietzii</i> Motyka	10	0.40	7.63	9.10	5.79	3.64
<i>Xanthoparmelia farinosa</i> (Vain.) T.H. Nash, Elix & Johnston	9	0.36	6.87	9.22	5.87	3.32
<i>Squamulea subsoluta</i> (Nyl.) Arup, Søchting & Frödén	7	0.28	5.34	10.00	6.36	2.80
<i>Buellia sp.</i>	9	0.36	6.87	7.00	4.45	2.52
<b>Total</b>	<b>131</b>	<b>5.24</b>		<b>157.22</b>		<b>70.92</b>

Fa=Frecuencia absoluta, Fr=Frecuencia relativa, Ca=Cobertura absoluta, Cr=Cobertura relativa, Ct=Cobertura total,  
\*Especies con mayor dominancia, +Especies codominantes



**Figura 0-13.** Cobertura total (superficie de ocupación) de especies de líquenes encontrados en el sector de Tala.

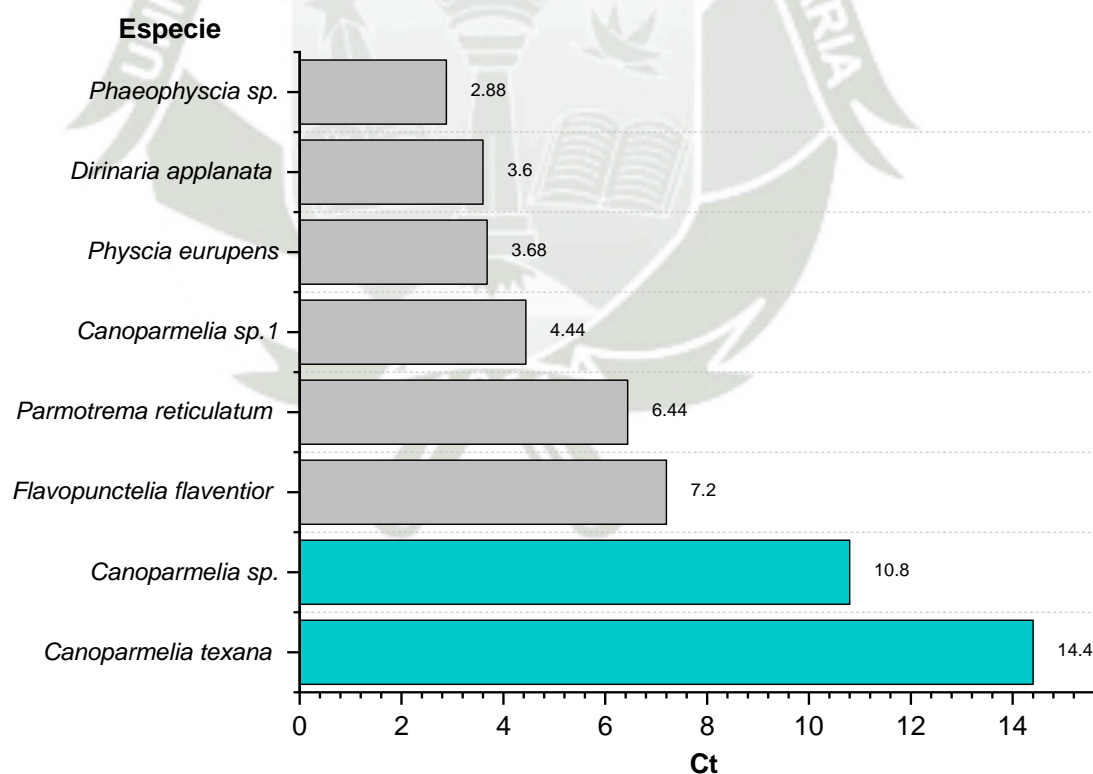
**f) Cobertura de especies de líquenes en el sector de Lomas de Tacahuay**

La Tabla 3-11, se observa la frecuencia absoluta, frecuencia relativa, cobertura absoluta, cobertura relativa y cobertura total (superficie de ocupación) de las especies de líquenes identificadas en el sector de Lomas de Tacahuay. *Flavopunctelia flaventior* presentó la mayor frecuencia relativa (Fr= 9.92 %), mientras que *Squamulea subsoluta* exhibió la menor (Fr= 5.34 %). En términos de cobertura relativa, *Canoparmelia texana* lideró con el valor más alto (Cr= 25.95 %), mientras que *Phaeophyscia sp.* presentó el menor valor (Cr= 5.77 %). En cuanto a la cobertura total, *Canoparmelia texana* se destacó como la especie más dominante (Ct= 14.40), seguida por especies codominantes como *Canoparmelia sp.* (Ct= 10.80), *Flavopunctelia flaventior* (Ct= 7.20) y la especie con menor cobertura (dominancia) *Phaeophyscia sp.* (Ct= 2.88) (Figura 3 - 14).

**Tabla 0-11.** Cobertura total (superficie de ocupación) de especies de líquenes encontrados en el sector de Lomas de Tacahuay

Especie	N° Sitio	Fa	Fr	Ca	Cr	Ct
<i>Canoparmelia texana</i> (Tuck.) Elix & Hale	10	0.40	12.99	36.00	25.95	14.40
<i>Canoparmelia</i> sp.	9	0.36	11.69	30.00	21.62	10.80
<i>Flavopunctelia flaventior</i> (Stirt.) Hale	12	0.48	15.58	15.00	10.81	7.20
<i>Parmotrema reticulatum</i> (Taylor) M. Choisy	11	0.44	14.29	14.64	10.55	6.44
<i>Canoparmelia</i> sp.1	8	0.32	10.39	13.88	10.00	4.44
<i>Physcia eurupens</i>	11	0.44	14.29	8.36	6.03	3.68
<i>Dirinaria applanata</i> (Fée) D.D. Awasthi	7	0.28	9.09	12.86	9.27	3.60
<i>Phaeophyscia</i> sp.	9	0.36	11.69	8.00	5.77	2.88
Total	77	3.08		138.73		53.44

Fa=Frecuencia absoluta, Fr=Frecuencia relativa, Ca=Cobertura absoluta, Cr=Cobertura relativa, Ct=Cobertura total, \*Especies con mayor dominancia, +Especies codominantes



**Figura 0-14.** Cobertura total (superficie de ocupación) de especies de líquenes encontrados en el sector de Lomas de Tacahuay.

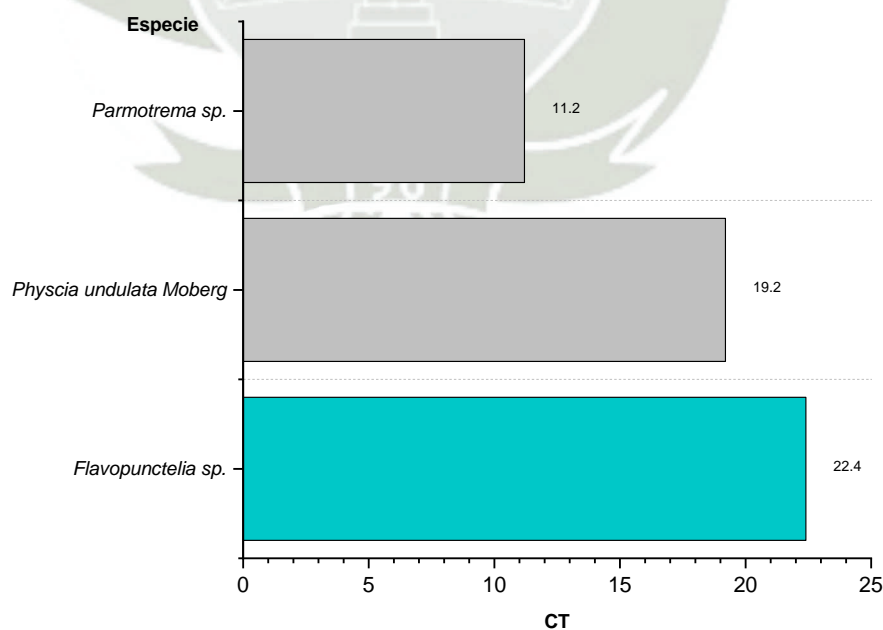
**g) Cobertura de especies de líquenes en el sector de Lomas de Huacaluna**

La Tabla 3-12, se observa la frecuencia absoluta, frecuencia relativa, cobertura absoluta, cobertura relativa y cobertura total (superficie de ocupación) de las especies de líquenes identificadas en el sector de Lomas de Huaca Luna. *Physcia undulata* presentó la mayor frecuencia relativa (Fr= 38.89 %), mientras que *Parmotrema sp.* exhibió la menor (Fr= 27.78 %). En términos de cobertura relativa, *Flavopunctelia sp.* lideró con el valor más alto (Cr= 46.67 %), mientras que *Parmotrema sp.* presentó el menor valor (Cr=25.70 %). En cuanto a la cobertura total, *Flavopunctelia sp.* se destacó como la especie más dominante (Ct= 22.40) y la especie con menor cobertura (dominancia) *Parmotrema sp.* (Ct= 11.20) (Figura 3 - 15).

**Tabla 0-12.** Cobertura total (superficie de ocupación) de especies de líquenes encontrados en el sector de Lomas de Huacaluna

Especie	N° Sitio	Fa	Fr	Ca	Cr	Ct
<i>Flavopunctelia sp.</i>	12	0.48	33.33	46.67	42.83	22.40
<i>Physcia undulata Moberg</i>	14	0.56	38.89	34.29	31.47	19.20
<i>Parmotrema sp.</i>	10	0.40	27.78	28.00	25.70	11.20
Total	36	1.44		108.95		52.80

Fa=Frecuencia absoluta, Fr=Frecuencia relativa, Ca=Cobertura absoluta, Cr=Cobertura relativa, Ct=Cobertura total,  
\*Especies con mayor dominancia, +Especies codominantes



**Figura 0-15.** Cobertura total (superficie de ocupación) de especies de líquenes encontrados en el sector de Lomas de Huaca Luna.

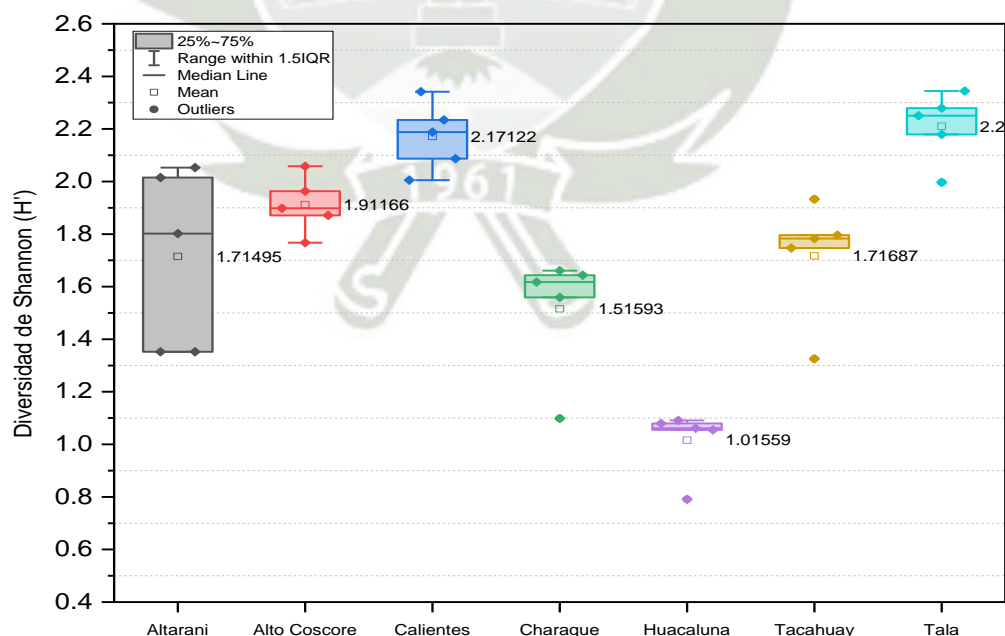
### 3.1.1.7 Índice de biodiversidad

#### a) Índice de biodiversidad de Shannon ( $H'$ ) para los diferentes sectores

En la Tabla 3-13 y Figura 3-16, se presenta la estadística descriptiva del índice de biodiversidad de Shannon ( $H'$ ) para los diferentes ecosistemas y sectores de la región de Moquegua. El sector de Tala del ecosistema matorral andino presentó el mayor índice de biodiversidad de Shannon ( $2.21 \pm 0.13$ ). Por otro lado, el sector de Lomas de Tacahuay en el ecosistema lomas costeras, presentó el mayor índice de biodiversidad de Shannon ( $1.72 \pm 0.35$ ), mientras que el sector de Lomas de Huacaluna presentó el menor promedio ( $1.02 \pm 0.13$ ) para ambos ecosistemas.

**Tabla 0-13.** Estadística descriptiva para el índice de biodiversidad de Shannon ( $H'$ ) para los diferentes ecosistemas (Matorral andino y Lomas costeras) y sectores (Altarani, Alto Coscore, Calientes, Charaque, Tala, Lomas de tacahuay, Lomas Huacaluna)

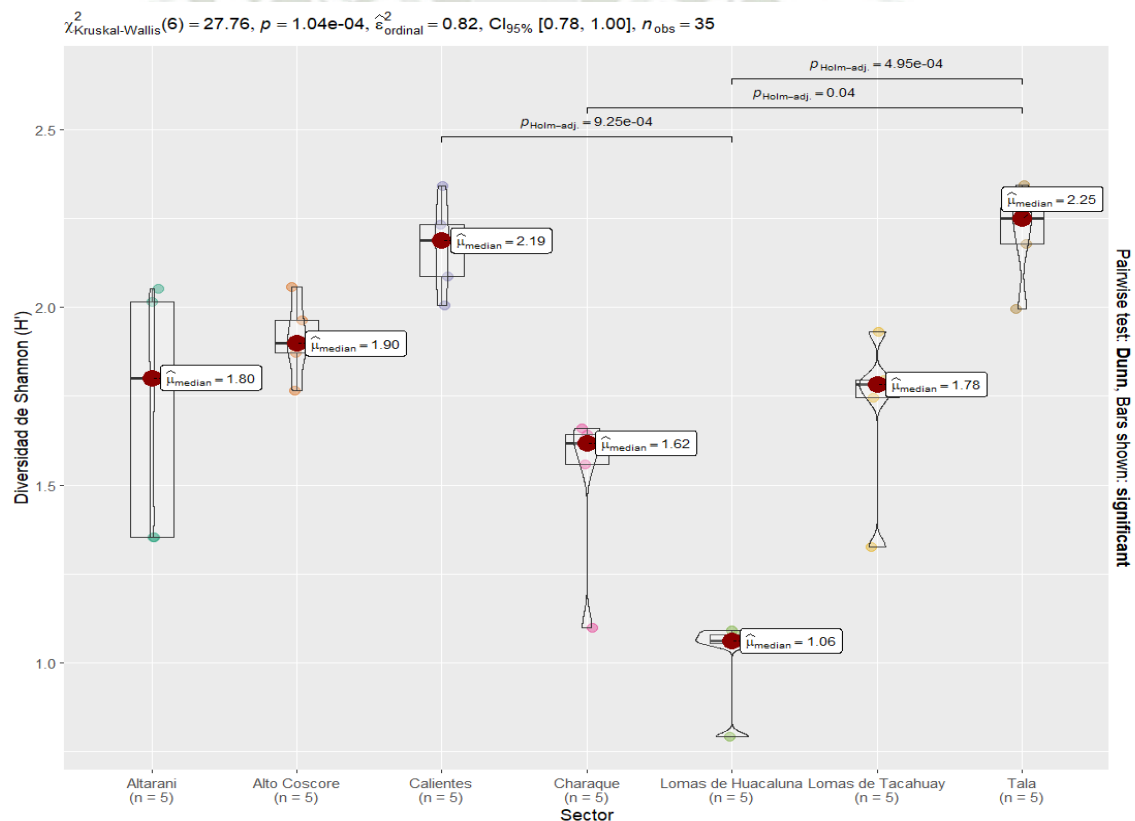
Ecosistema	Sectores	n	min	max	median	q1	q3	mean	sd
Matorral andino	Tala	5	2.00	2.34	2.25	2.18	2.28	2.21	0.13
	Calientes	5	2.01	2.34	2.19	2.09	2.23	2.17	0.13
	Alto Coscore	5	1.77	2.06	1.90	1.87	1.96	1.91	0.11
	Altarani	5	1.35	2.05	1.80	1.35	2.02	1.72	0.35
	Charaque	5	1.10	1.66	1.62	1.56	1.64	1.52	0.24
Lomas costeras	Lomas de Tacahuay	5	1.33	1.93	1.78	1.75	1.80	1.72	0.23
	Lomas de Huacaluna	5	0.79	1.09	1.06	1.06	1.08	1.02	0.13



**Figura 0-16.** Boxplot para el índice de biodiversidad de Shannon ( $H'$ ) para los sectores de Altarani, Alto Coscore, Calientes, Charaque, Tala, Lomas de tacahuay, Lomas Huacaluna.

**b) Comparación del índice de biodiversidad de Shannon ( $H'$ ) para los sectores Altarani, Alto Coscore, Calientes, Charaque, Tala, Lomas de Tacahuay, Lomas Huacaluna.**

Para comparar las diferencias entre el índice de biodiversidad de Shannon entre los diferentes sectores, se aplicó el test no paramétrico de Kruskal y Wallis, cumpliendo los dos supuestos: la no normalidad y la igualdad de varianzas. Los promedios obtenidos para el índice de biodiversidad de Shannon para los diferentes sectores no siguieron una distribución normal. El test de normalidad de Shapiro-Wilk (p-valor = 0.03284) confirmó dicha hipótesis (p-valor < 0.05). Para cumplir el supuesto de homocedasticidad (igualdad de varianzas) se aplicó el test de Levenne obteniéndose un p-valor= 1.1358. Que fue mayor que 0.05. Por consiguiente, se aceptó la hipótesis de homocedasticidad (ver anexo 4).



$p \geq 0.1$  = Ausencia de evidencia contra la hipótesis nula;  $0.05 \leq p < 0.1$  = Baja evidencia contra la hipótesis nula a favor de la alternativa;  $0.01 \leq p < 0.05$  = Moderada evidencia contra la hipótesis nula a favor de la alternativa;  $0.001 \leq p < 0.01$  = Fuerte evidencia contra la hipótesis nula a favor de la alternativa;  $p < 0.001$  = Muy fuerte evidencia contra la hipótesis nula a favor de la alternativa.

**Figura 0-17.** Test no paramétrico de Kruskal y Wallis aplicado al índice de biodiversidad de Shannon ( $H'$ ) para los sectores de Altarani, Alto Coscore, Calientes, Charaque, Tala, Lomas de tacahuay, Lomas Huacaluna.

Para responder la siguiente interrogante *¿Existe diferencias en el índice de biodiversidad de Shannon para los sectores Altarani, Alto Coscore, Calientes, Charaque, Tala, Lomas de Tacahuay, Lomas Huacaluna?*, se planteó las siguientes hipótesis:

- $H_0$ = Todos los sectores evaluados tienen el mismo índice de biodiversidad de Shannon ( $H'$ ).
- $H_1$ = Al menos uno de los sectores no tiene el mismo índice de biodiversidad de Shannon ( $H'$ ).

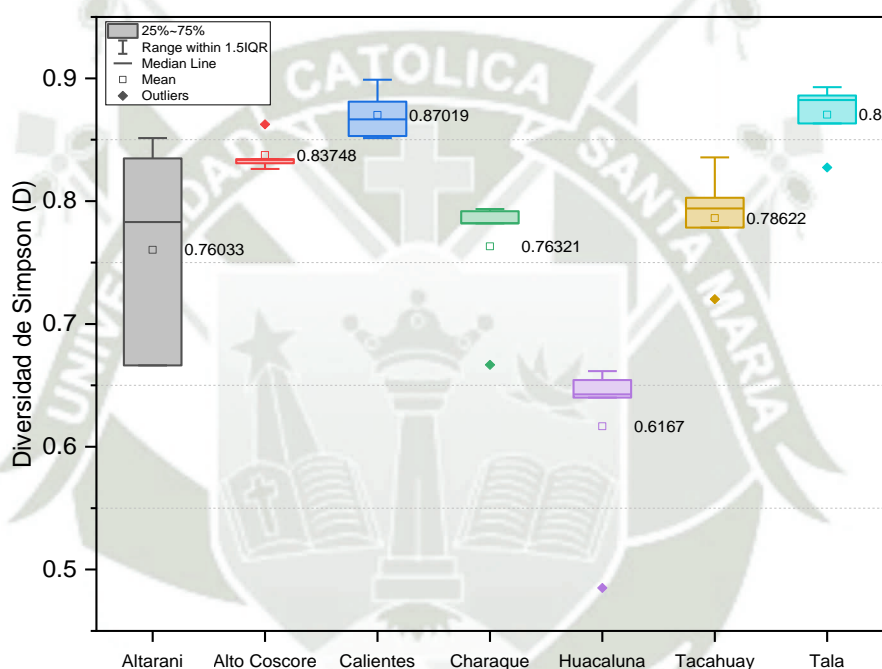
La Figura 3 – 17., muestra los resultados del test de Kruskal-Wallis aplicado al índice de biodiversidad de Shannon ( $H'$ ) para los sectores de Altarani, Alto Coscore, Calientes, Charaque, Tala, Lomas de Tacahuay y Lomas Huacaluna. Se observó una evidencia fuerte en contra de la hipótesis nula ( $H_0$ ), todos los sectores evaluados tienen el mismo índice de biodiversidad de Shannon, respaldando la hipótesis alternativa ( $H_1$ ) ( $p$ -valor=  $1.04 \times 10^{-4}$ ). El tamaño del efecto ( $\epsilon^2 = 0,82$ ) indicó que el efecto de la riqueza de especies en el índice de biodiversidad de Shannon en los sectores de estudio es significativo. Las comparaciones múltiples utilizando el método de Holm revelaron que los sectores de Charaque y las Lomas de Huacaluna presentaron diferencias significativas en el índice de biodiversidad de Shannon ( $\rho_{\text{hom-adj}} = 9.25 \times 10^{-4}$ ;  $p$ - valor $<0.05$ ) al igual que el sector de Charaque con Tala ( $\rho_{\text{hom-adj}} = 0.04$ ;  $p$ - valor $<0.05$ ) de la misma formar el sector de Lomas de Huacaluna con Tala ( $\rho_{\text{hom-adj}} = 4.95 \times 10^{-4}$ ;  $p$ - valor $<0.05$ ) mientras las demás interacciones no muestran diferencias significativas ( $p>0.05$ ).

### c) *Índice de biodiversidad de Simpson (D) para los diferentes sectores*

En la Tabla 3-14 y Figura 3-18, se presenta la estadística descriptiva del índice de biodiversidad de Shannon para los diferentes ecosistemas y sectores de la región de Moquegua. Destacó los sectores de Calientes y Tala del ecosistema matorral andino con los mayores índices de biodiversidad de Simpson (D) ( $0.87 \pm 0.02$ ). Por otro lado, el sector de Lomas de Tacahuay en el ecosistema lomas costeras, presentó el mayor índice de biodiversidad de Simpson (D) ( $0.79 \pm 0.04$ ), mientras que el sector de Lomas de Huacaluna presentó el menor promedio ( $0.62 \pm 0.07$ ) para ambos ecosistemas.

**Tabla 0-14.** Estadística descriptiva para el índice de biodiversidad de Simpson (D) para los diferentes ecosistemas (Matorral andino y Lomas costeras) y sectores (Altarani, Alto Coscore, Calientes, Charaque, Tala, Lomas de tacahuay, Lomas Huacaluna)

Ecosistema	Sectores	n	min	max	median	q1	q3	mean	sd
Matorral andino	Calientes	5	0.85	0.90	0.87	0.85	0.88	0.87	0.02
	Tala	5	0.83	0.89	0.88	0.86	0.89	0.87	0.03
	Alto Coscore	5	0.83	0.86	0.83	0.83	0.83	0.84	0.01
	Charaque	5	0.67	0.79	0.78	0.78	0.79	0.76	0.05
	Altarani	5	0.67	0.85	0.78	0.67	0.84	0.76	0.09
Lomas costeras	Lomas de Tacahuay	5	0.72	0.84	0.79	0.78	0.80	0.79	0.04
	Lomas de Huacaluna	5	0.49	0.66	0.64	0.64	0.65	0.62	0.07

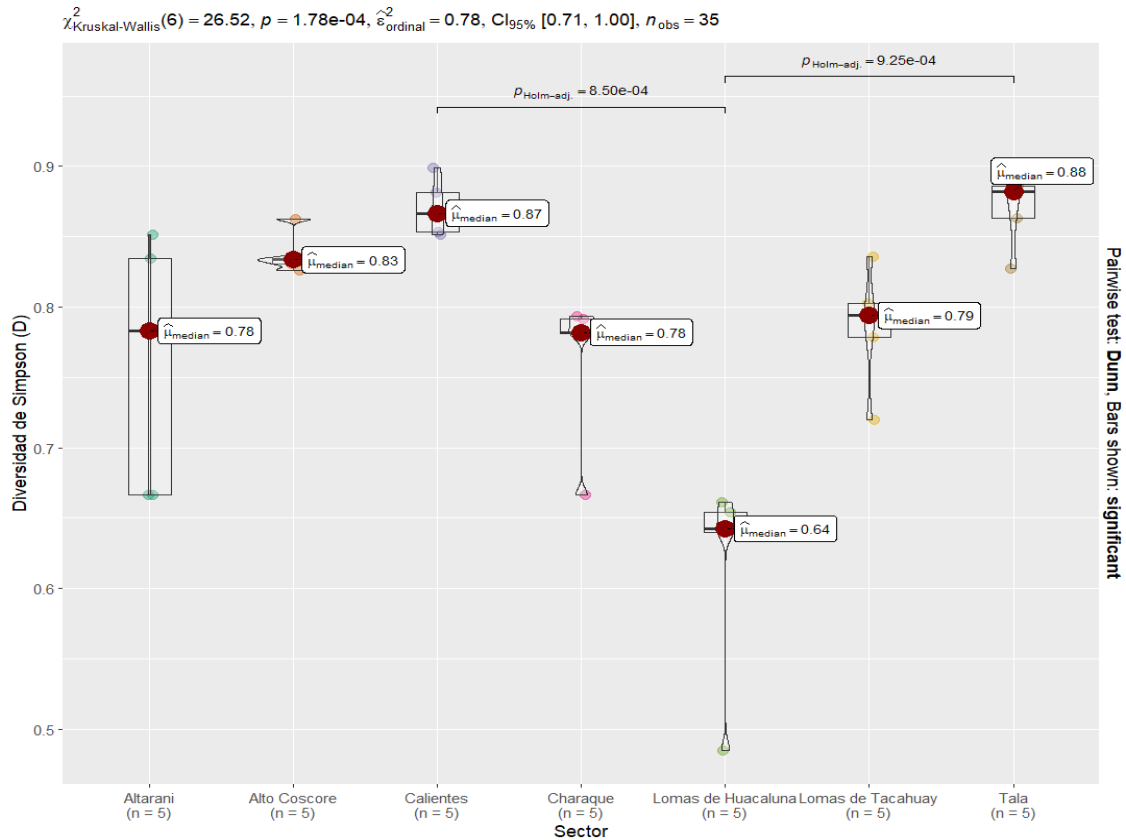


**Figura 0-18.** Boxplot para el índice de biodiversidad de Simpson (D) para los sectores de Altarani, Alto Coscore, Calientes, Charaque, Tala, Lomas de tacahuay, Lomas Huacaluna.

**d) Comparación del índice de biodiversidad de Simpson (D) para los sectores Altarani, Alto Coscore, Calientes, Charaque, Tala, Lomas de Tacahuay, Lomas Huacaluna.**

Para comparar las diferencias entre el índice de biodiversidad de Simpson (D) entre los diferentes sectores se aplicó el test no paramétrico de Kruskal y Wallis, cumpliendo los dos supuestos, la no normalidad y la igualdad de varianzas. Los promedios obtenidos para el índice de biodiversidad de Shannon para los diferentes sectores no siguieron una distribución normal, el test de normalidad de Shapiro-Wilk (p-valor = 0.0005179) confirmó dicha

hipótesis ( $p$ -valor  $< 0.05$ ). Para cumplir el supuesto de homocedasticidad (igualdad de varianzas) se aplicó el test de Levene obteniéndose un  $p$ -valor= 1.3743. Que fue mayor que 0.05. De esta manera se aceptó la hipótesis de homocedasticidad (ver anexo 5).



$p \geq 0.1$  = Ausencia de evidencia contra la hipótesis nula;  $0.05 \leq p < 0.1$  = Baja evidencia contra la hipótesis nula a favor de la alternativa;  $0.01 \leq p < 0.05$  = Moderada evidencia contra la hipótesis nula a favor de la alternativa;  $0.001 \leq p < 0.01$  = Fuerte evidencia contra la hipótesis nula a favor de la alternativa;  $p < 0.001$  = Muy fuerte evidencia contra la hipótesis nula a favor de la alternativa.

**Figura 0-19.** Test no paramétrico de Kruskal y Wallis aplicado al índice de biodiversidad de Simpson (D) para los sectores de Altarani, Alto Coscore, Calientes, Charaque, Tala, Lomas de tacahuay, Lomas Huacaluna.

Para responder la siguiente interrogante *¿Existe diferencias en el índice de biodiversidad de Simpson (D) para los sectores Altarani, Alto Coscore, Calientes, Charaque, Tala, Lomas de Tacahuay, Lomas Huacaluna?*, se plantearon las siguientes hipótesis:

- $H_0$  = Todos los sectores evaluados tienen el mismo índice de biodiversidad de Simpson (D).
- $H_1$  = Al menos uno de los sectores no tiene el mismo índice de biodiversidad de Simpson (D).

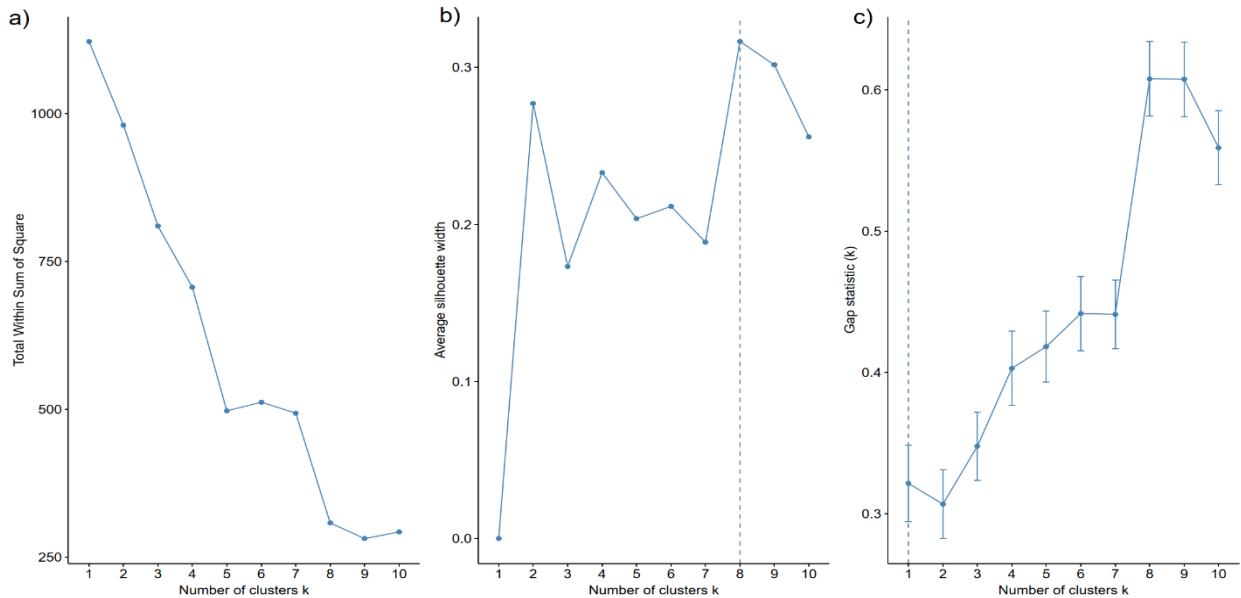
La Figura 3 – 19, muestra los resultados del test de Kruskal-Wallis aplicado al índice de biodiversidad de Simpson (D) para los sectores de Altarani, Alto Coscore, Calientes, Charaque, Tala, Lomas de Tacahuay y Lomas Huacaluna. Se observó una evidencia fuerte en contra de la hipótesis nula ( $H_0$ ), todos los sectores evaluados tienen el mismo índice de biodiversidad de Simpson (D), respaldando la hipótesis alternativa ( $H_1$ ) ( $p$ -valor=  $1.78 \times 10^{-4}$ ). El tamaño del efecto ( $\epsilon^2 = 0,78$ ) indicó que el efecto de la riqueza de especies en el índice de biodiversidad de Simpson (D) en los sectores de estudio es significativo. Las comparaciones múltiples utilizando el método de Holm revelaron que los sectores de Calientes y las Lomas de Huacaluna presentaron diferencias significativas en el índice de biodiversidad de Simpson (D) ( $\rho_{\text{hom-adj}} = 8.50 \times 10^{-4}$ ;  $p$ - valor $<0.05$ ) al igual que el sector de Lomas de Huaca Luna con Tala ( $\rho_{\text{hom-adj}} = 9.25 \times 10^{-4}$ ;  $p$ - valor $<0.05$ ) mientras las demás interacciones no mostraron diferencias significativas ( $p>0.05$ ).

### 3.1.1.8 Análisis de clúster

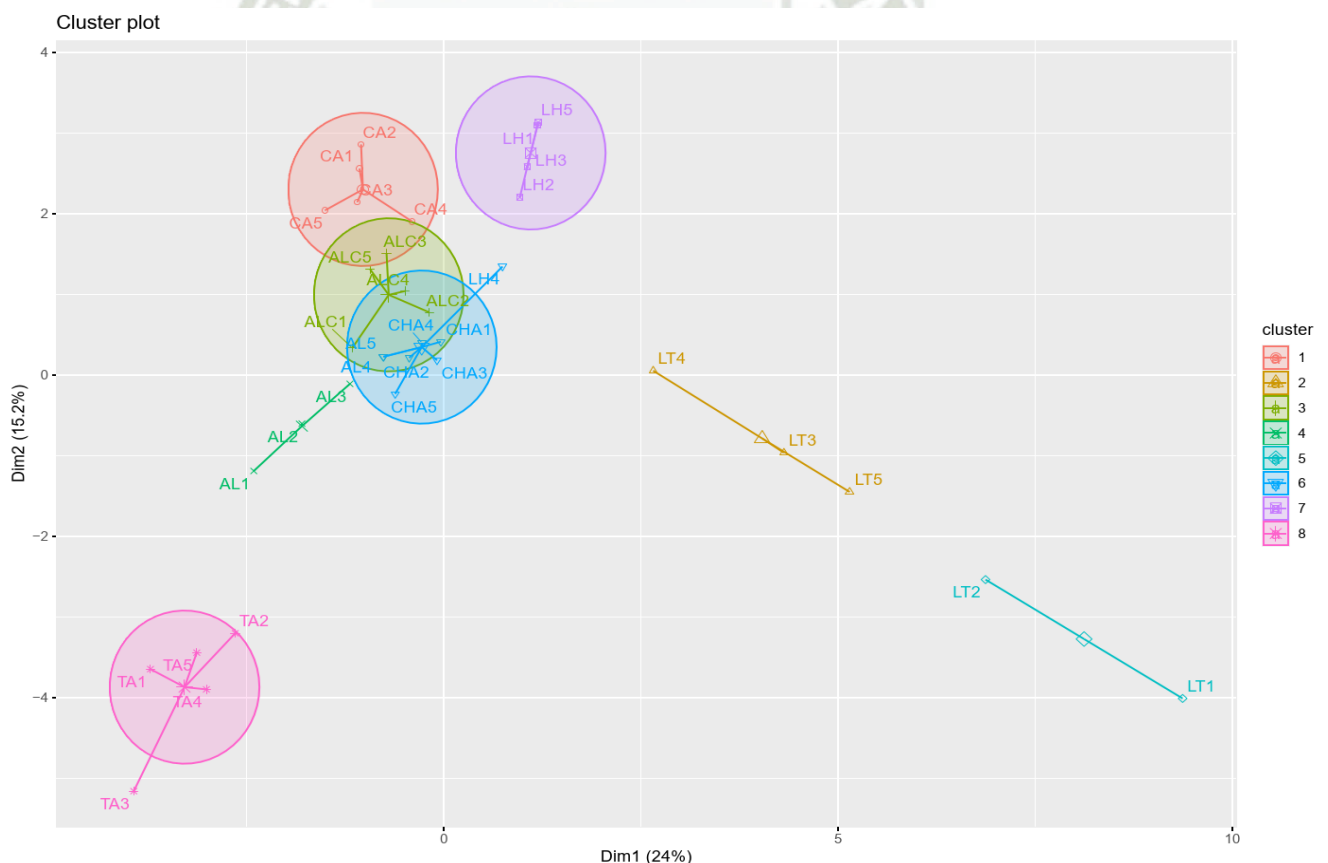
#### a) Análisis de clúster para determinar la similitud de cobertura de las especies de líquenes en los diferentes sectores

Se evaluó la tendencia de los conglomerados, para ello se calculó agrupación de k-medias y agrupación jerárquica (distancia euclidiana, método Ward) con los datos de cobertura de especies de líquenes para los sectores; AL=Altarani, ALC=Alto Coscore, CA=Calientes, CHA=Charaque, TA=Tala, LT=Lomas de tacahuay, LH=Lomas Huacaluna. (ver Figura 3-21 y 3-22). Para determinar la agrupación de k-medias, se procedió con el cálculo del número clúster más óptimos, para lo cual se consideró: (a) Método de distancia Intra-cluster (b) Método de la Silueta (c) Método de estadística de Brecha, el cual por consenso se establecieron 8 grupos o clúster (Fig. 3-20).

En la Figura 3-21, se observa los transectos y los 8 grupos junto con sus centroides (círculo, triángulo y cuadrado de mayor tamaño). Los porcentajes de los ejes indicaron la variación explicada por cada componente. Se puede visualizar que el sector de tala en el componente 1, presentó la menor variabilidad y es el grupo que presentó la mayor cobertura de especies el cual se separa de los demás grupos. En relación a las lomas de Tacahuay, presentó mayor variabilidad en la cobertura de las especies. Los sectores de Calientes, Alto Coscore y Charaque presentó similitud en relación a la cobertura de sus especies.

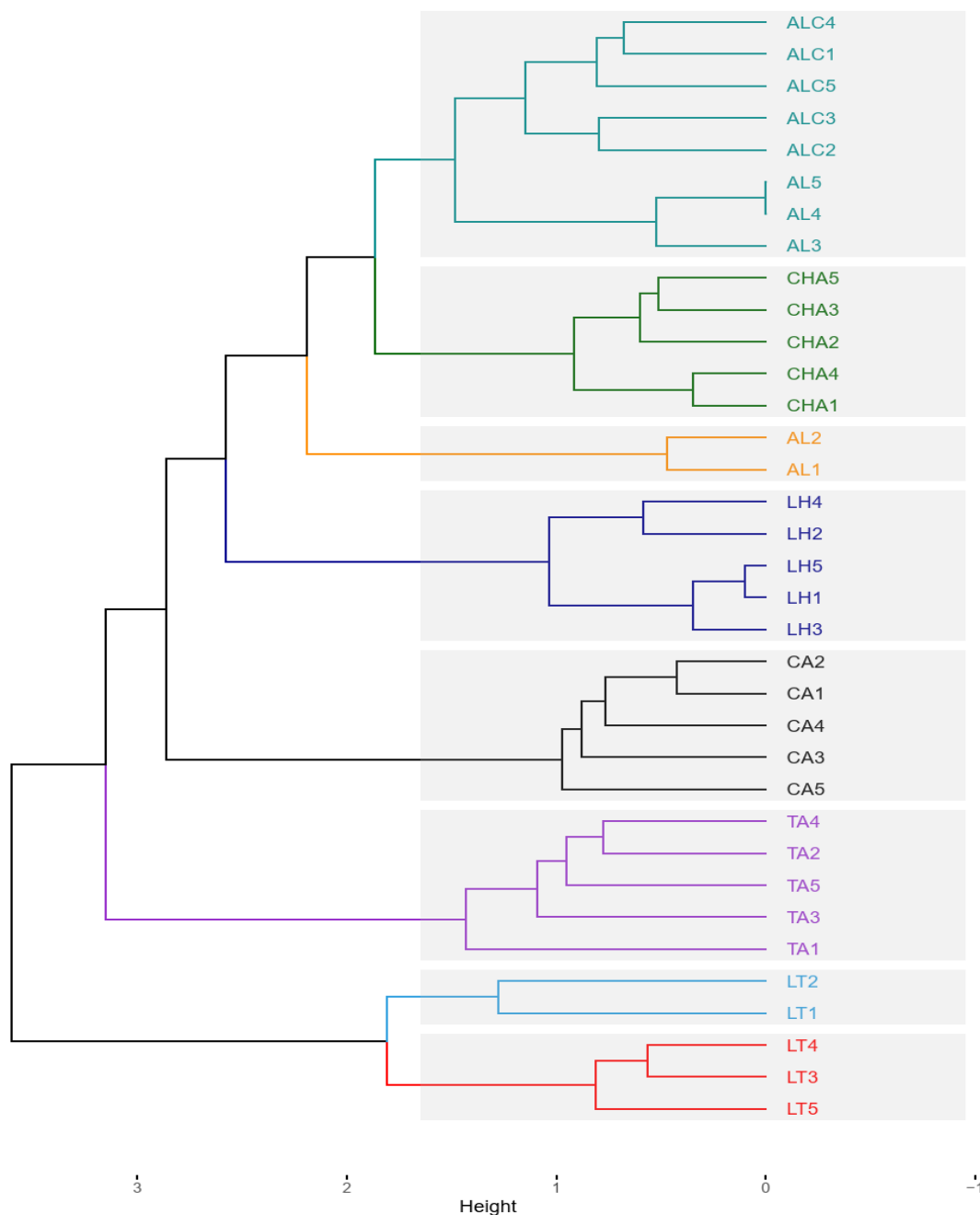


**Figura 0-20.** Representación del número de conglomerados y las respectivas distancias de unión. (a) Método de distancia Intra-cluster (b) Método de la Silueta (c) Método de estadística de Brecha.



**Figura 0-21.** Cluster plot de K-medias en un análisis de componentes principales de la cobertura de especie de líquenes entre las diferentes estaciones de muestreo. AL=Altarani, ALC=Alto Coscore, CA=Calientes, CHA=Charaque, TA=Tala, LT=Lomas de tacahuay, LH=Lomas Huacaluna.

Cluster Dendrogram



**Figura 0-22.** Dendrograma de similitud de la cobertura de especie de líquenes entre las diferentes estaciones de muestreo generado en base al método Ward y distancia euclidiana. AL=Altarani, ALC=Alto Coscore, CA=Calientes, CHA=Charaque, TA=Tala, LT=Lomas de tacahuay, LH=Lomas Huacaluna

En el dendrograma de la Fig. 3-22 (método Ward y distancia euclidiana) se observó 8 grupos. Así también una baja similitud entre los sectores de lomas de Tacahuay y Tala con los sectores restantes. Una alta similitud entre los sectores de Alto Coscore, Altarani, Charaque y las lomas de Huacaluna.

### ***3.1.2 Composición química de los elementos traza presente en los líquenes de las lomas de Amoquinto, Huacaluna, Tacahuay y zonas altoandinas de los distritos de Torata, Carumas.***

#### ***3.1.2.1 Bioacumulación de metales por sector***

En la Tabla 3-15, se observa que la bioacumulación de metales en los líquenes recolectados en los diferentes sectores evidenció variaciones en el promedio de sus concentraciones. Es importante resaltar que el sector de Tacahuay presentó las concentraciones más elevadas de elementos traza, tales como Al ( $51.99 \pm 25.75$ ), Cr ( $4.88 \pm 2.40$ ), Fe ( $66.53 \pm 33.78$ ), Hg ( $0.16 \pm 0.05$ ), Ni ( $3.12 \pm 1.03$ ), Pb ( $15.52 \pm 5.66$ ), y U ( $0.18 \pm 0.08$ ). Además, el sector de Huaca Luna exhibió las concentraciones más elevadas para Cd ( $0.88 \pm 0.45$ ) y Mn ( $260.02 \pm 163.79$ ). De manera similar, el sector de Altarani presentó las mayores concentraciones para Cu ( $225.03 \pm 59.48$ ) y Zn ( $63.62 \pm 16.48$ ). Finalmente, el sector de Calientes mostró el mayor valor para el As ( $7.33 \pm 3.35$ ). En la Figura 3-23, 24, se evidenció un patrón general de enriquecimiento elemental en los líquenes presentes en ecosistemas de lomas costeras. Los sectores de lomas de Tacahuay y Huacaluna, presentaron 9 de los 12 elementos analizados con mayor concentración en comparación con los demás sectores correspondientes al ecosistema matorral andino. Se pueden observar las diferencias estadísticas significativas según la bioacumulación de cada elemento. Las letras iguales son estadísticamente iguales entre sí. Las letras diferentes son significativamente distintas con un valor de  $p \leq 0,05$  (Al, Cr, Fe, Hg, Ni, U, Pb, Mn y Cd).

En relación al Hg se observó que dichas concentraciones solo están presentes en los sectores de Altarani (ecosistemas matorral andino), lomas de Tacahuay y Huacaluna (ecosistemas de lomas costeras) (en un nivel de  $p \leq 0,05$ ) (Fig. 3-24, B). En relación al As se observó que todos poseen la misma letra, evidenciando que no existe diferencias estadísticas significativas en todos los sectores correspondientes a los ecosistemas de lomas costeras y matorral andino (en un nivel de  $p > 0,05$ ) (Fig. 3-23, B).

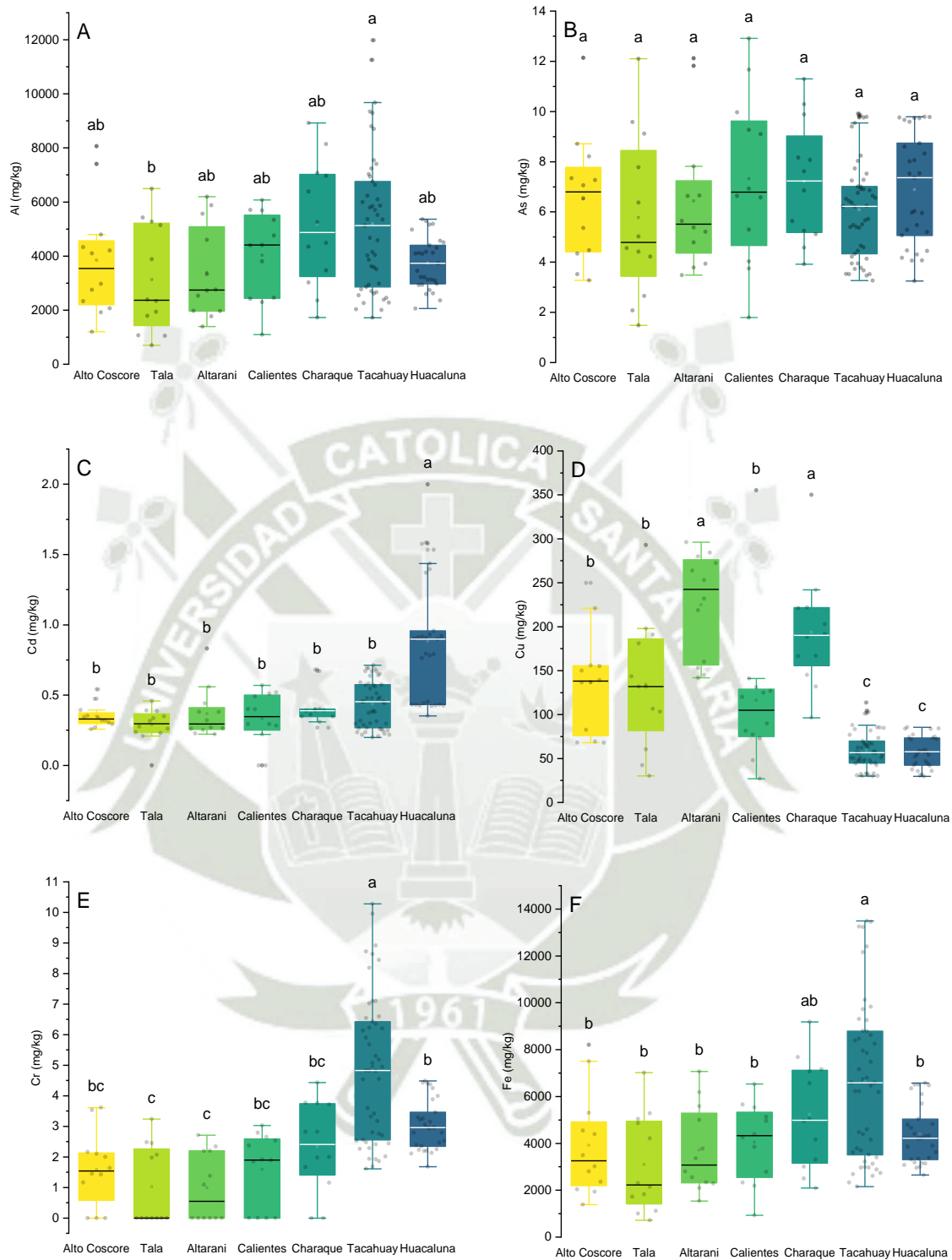
#### ***3.1.2.2 Concentración de metales por ecosistema y especie***

En la Tabla 3.16., se presenta los promedios de bioacumulación de elementos traza (mg/kg) por cada una de las especies de líquenes presente en el ecosistema de lomas costeras correspondiente a los sectores de Lomas de Tacahuay y Lomas Huacaluna.

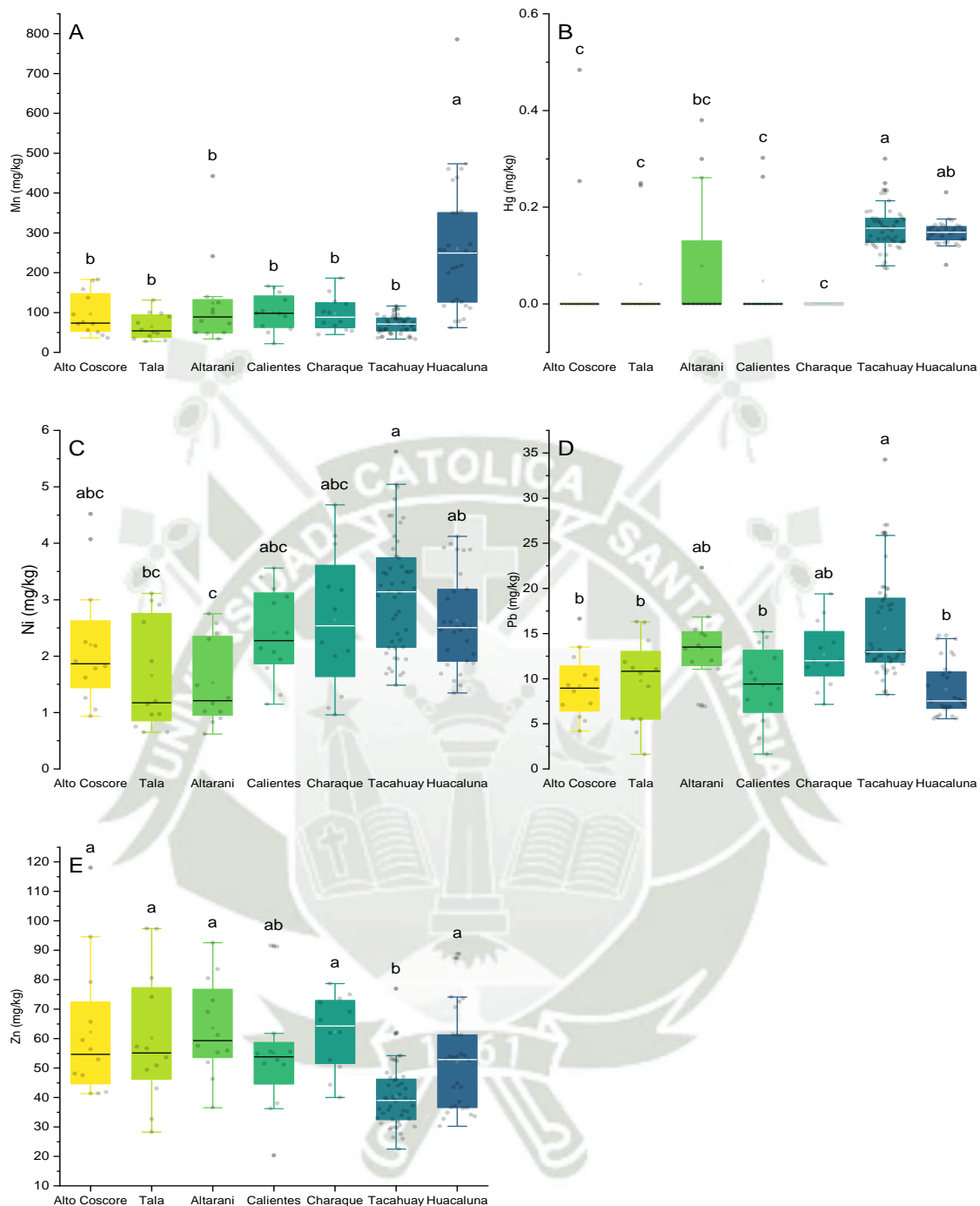
**Tabla 0-15.** Concentración de elementos traza (mg/kg) en líquenes de los sectores de Altarani, Alto Coscore, Calientes, Charaque, Tala, Lomas de Tacahuay y Lomas Huacaluna.

	<b>Altarani</b>	<b>Alto Coscore</b>	<b>Calientes</b>	<b>Charaque</b>	<b>Lomas de Huacaluna</b>	<b>Lomas de Tacahuay</b>	<b>Tala</b>
	<b>Media ± DE</b>	<b>Media ± DE</b>	<b>Media ± DE</b>	<b>Media ± DE</b>	<b>Media ± DE</b>	<b>Media ± DE</b>	<b>Media ± DE</b>
<b>Al</b>	33.91 ± 17.19	38.47 ± 21.29	40.36 ± 16.24	51.80 ± 23.30	37.42 ± 9.53	51.99 ± 25.75*	31.26 ± 20.15
<b>As</b>	6.44 ± 2.88	6.52±2.53	7.33±3.35*	7.22±2.41	6.90±2.21	6.09±1.94	5.78±3.28
<b>Cd</b>	0.37±0.18	0.35±0.08	0.33±0.19	0.41±0.13	0.88±0.45*	0.44±0.17	0.29±0.12
<b>Cr</b>	0.99±1.12	1.59±1.22	1.59±1.23	2.34±1.47	3.04±0.82	4.88±2.40*	1.02±1.29
<b>Cu</b>	225.03 ±59.48*	136.06±58.51	116.28±83.16	193.76±64.35	57.05±17.91	59.36±21.61	134.43±74.61
<b>Fe</b>	37.14 ±18.10	39.13±21.81	40.43±16.77	52.24±22.91	43.97±12.71	66.53±33.78*	30.99±20.74
<b>Hg</b>	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.15±0.03	0.16±0.05*	0.00±0.00
<b>Mn</b>	123.82±115.42	96.43±53.75	99.72±46.15	96.96±43.29	260.02±163.79*	70.82±23.38	65.03±33.25
<b>Ni</b>	1.53±0.76	2.20±1.13	2.41±0.81	2.64±1.24	2.63±0.85	3.12±1.03*	1.65±0.98
<b>Pb</b>	13.36±4.17	9.20±3.65	9.23±4.40	12.68±3.65	8.80±2.97	15.52±5.66*	9.77±4.75
<b>U</b>	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.15±0.05	0.18±0.08*	0.00±0.00
<b>Zn</b>	63.62±16.48*	62.20±23.92	55.03±20.40	62.21±12.70	52.02±16.63	40.30±10.80	60.07±22.78

Nota. Los datos se expresan como media ± desviación estándar (DE). \*Indica mayor concentración de elemento traza



**Figura 0-23.** Box plot de elementos traza analizados de líquenes colectados de los sectores de AL=Altarani, ALC=Alto Coscore, CA=Calientes, CHA=Charaque, TA=Tala, LT=Lomas de tacahuay, LH=Lomas Huacaluna. Las unidades se expresan como mg/kg. Columnas con la misma letra indican diferencias no significativas de acuerdo con el test de Kruskal-Wallis/ Holm- Bonferroni ( $p \leq 0,05$ ).



**Figura 0-24.** Box plot de elementos traza (Mn, Hg, Ni, Pb, Zn) analizados de líquenes recolectados de los sectores de AL=Altarani, ALC=Alto Coscore, CA=Calientes, CHA=Charaque, TA=Tala, LT=Lomas de tacahuay, LH=Lomas Huacaluna. Las unidades se expresan como mg/kg. Columnas con la misma letra indican diferencias no significativas de acuerdo con el test de Kruskal-Wallis/ Holm- Bonferroni ( $p \leq 0,05$ ).

Es importante resaltar que la especie *Physcia europens* presentó 8 de los 12 elementos con las concentraciones más elevadas para los metales, As ( $9.83 \pm 0.00$ ), Cu ( $113.51 \pm 0.0$ ), Ni

( $4.36 \pm 0.00$ ), Pb ( $34.25 \pm 0.00$ ), U ( $0.30 \pm 0.00$ ) y Zn ( $76.94 \pm 0.00$ ), en comparación con las demás especies.

Los Gráficos de Box Plot en las Figuras 3-25, 26 evidenciaron las diferencias significativas según la bioacumulación para cada elemento. Las letras iguales indican que estadísticamente son iguales entre sí ( $p > 0,05$ ), pero son significativamente distintas con letras distintas ( $p \leq 0,05$ ). Para el caso de la bioacumulación de As se observó que las especies *Canoparmelia texana*, *Physcia undulata* y *Parmotrema sp.* presentaron diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) (Fig. 3-25, B).

Para el caso del Cu presentó diferencias estadísticas con la especie *Flavopunctelia sp.* (Fig. 3-25, D). Para el caso del Ni no se observa diferencias significativas con la bioacumulación de las especies identificadas (Fig. 3-26, C). En relación con el Pb y Zn se observa que presenta diferencias significativas con la bioacumulación de las especies identificadas (Fig. 3-26, D, E)

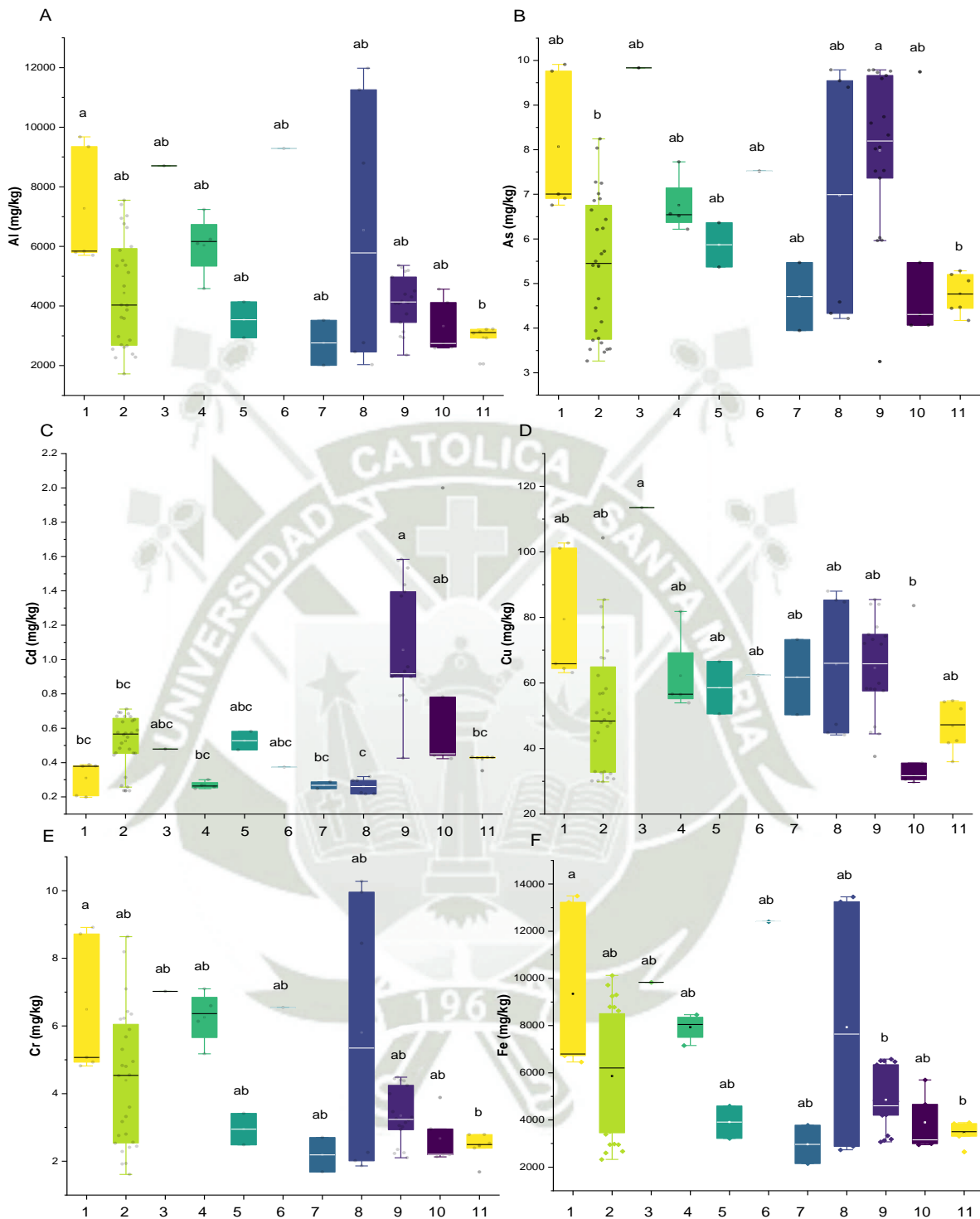
De manera similar, la especie *Phaeophyscia sp.* presentó la mayor bioacumulación para los metales Al ( $92.88 \pm 0.00$ ) y Fe ( $124.03 \pm 0.0$ ), en comparación con las demás especies. Las Figuras 3-25, 26., los gráficos de Box Plot evidenciaron las diferencias significativas en la bioacumulación de Al y Fe con las especies *Canoparmelia sp.1* y *Parmotrema sp.* en comparación con las demás especies ( $p < 0.05$ ) (Fig. 3-25, A, F).

En el caso de la especie *Physcia undulata*, se destacó por mostrar la mayor bioacumulación de los metales Cd ( $1.06 \pm 0.34$ ) y Mn ( $311.39 \pm 109.3$ ) en comparación con las demás especies. Los gráficos de Box Plot en las Figuras 3-25, C y 3-26. A, ilustran de manera clara las diferencias significativas en la bioacumulación de Cd y Mn entre las diferentes especies ( $p < 0.05$ ).

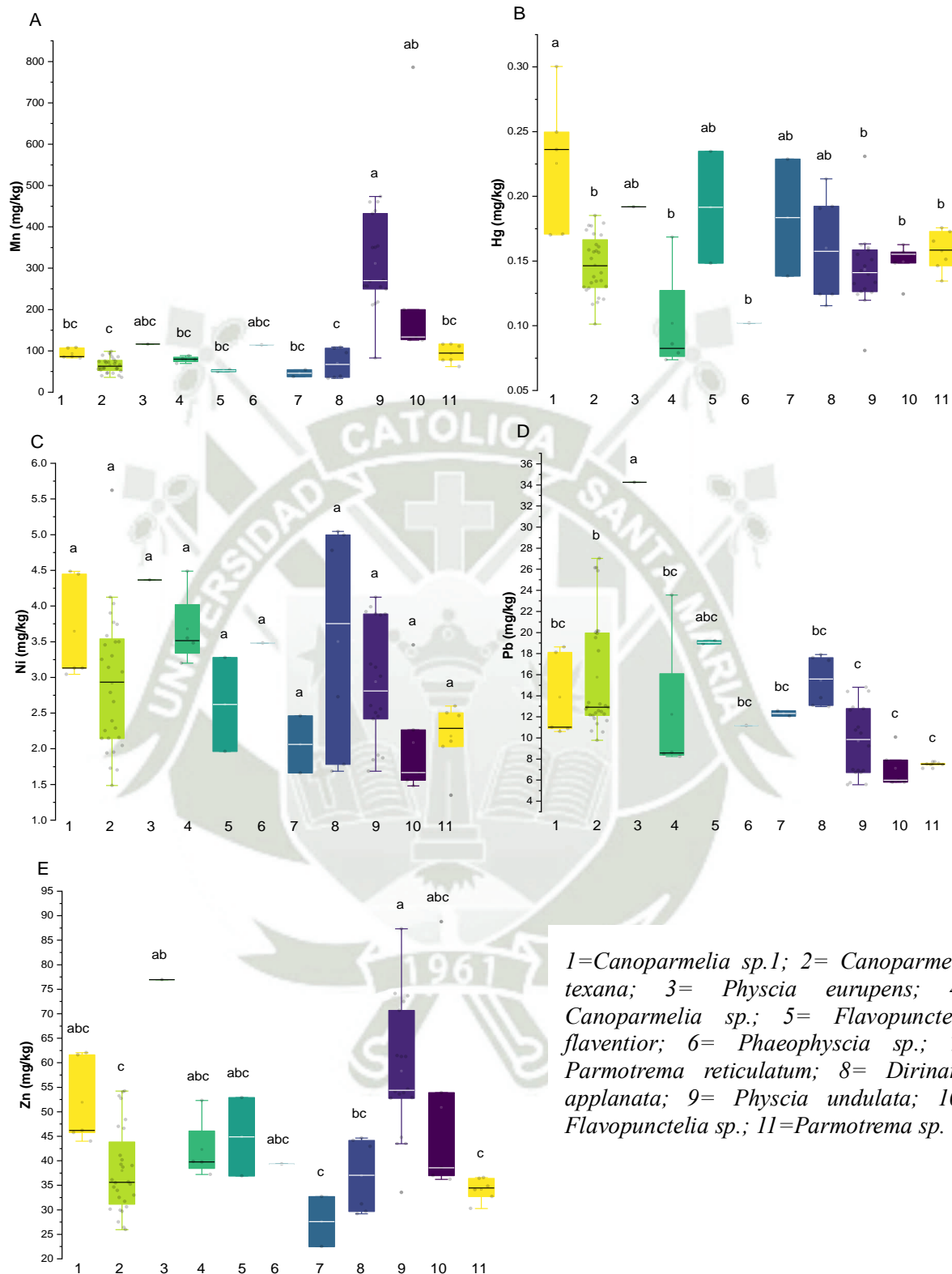
Finalmente, la especie *Canoparmelia sp.1*, destacó por mostrar la mayor bioacumulación para el Hg ( $0.23 \pm 0.06$ ) en comparación con las demás especies. Los gráficos de Box Plot en las Figura 3-26, B ilustran de manera clara las diferencias significativas en la bioacumulación de Hg entre las diferentes especies ( $p < 0.05$ ).

**Tabla 0-16.** Concentración de elementos traza (mg/kg) presente en especies de líquenes del ecosistema de lomas costeras los sectores de, Lomas de Tacahuay y Lomas Huacaluna.

Especie	Ct	n	Al	As	Cd	Cu	Cr	Fe	Mn	Hg	Ni	Pb	U	Zn
			Media ± DE	Media ± DE	Media ± DE	Media ± DE	Media ± DE	Media ± DE	Media ± DE	Media ± DE	Media ± DE	Media ± DE	Media ± DE	Media ± DE
<i>Flavopunctelia sp.</i>	22.4	5	33.28±9.40	5.53 ± 2.43	0.82 ± 0.68	42.21±23.23	2.67±0.76	38.92±12.34	274.54 ±87.59	0.15 ± 0.01	2.08 ±0.83	7.12 ± 1.88	0.12 ±0.05	50.89 ±22.39
<i>Physcia undulata</i>	19.2	18	41.23±8.92	7.98±1.79	<b>1.06±0.34*</b>	64.57±14.88	3.34±0.82	48.53±12.77	<b>311.39±109.3*</b>	0.14±0.03	2.94±0.85	9.70±3.37	0.16±0.05	58.29±13.45
<i>Dirinaria applanata</i>	12.9	6	65.4±46.51	6.98±2.85	0.26±0.05	65.70±22.28	5.80±4.16	79.35±55.18	69.85±37.38	0.16±0.04	3.50±1.62	15.46±2.40	0.24±0.14	36.96±7.66
<i>Canoparmelia texana</i>	10.8	28	44.41±18.29	5.37±1.56	0.53±0.15	51.85±19.72	4.39±1.99	58.56±26.01	65.59±17.85	0.15±0.02	2.92±0.96	15.75±5.43	0.16±0.06	37.96±8.69
<i>Canoparmelia sp.</i>	10.8	4	60.39±10.96	6.76±0.67	0.27±0.02	62.21±13.14	6.25±0.82	79.29±5.74	79.54±7.79	0.10±0.04	3.68±0.56	12.23±7.55	0.20±0.03	42.27±6.80
<i>Flavopunctelia flaventior</i>	7.2	2	35.39±8.54	5.87±0.70	0.53±0.08	58.58±11.32	2.95±0.66	39.05±9.75	52.11±3.51	0.19±0.06	2.62±0.93	19.07±0.23	0.15±0.04	44.89±11.31
<i>Parmotrema reticulatum</i>	6.44	2	27.64±10.68	4.71±1.08	0.27±0.03	61.77±16.25	2.19±0.72	29.68±11.50	45.95±12.09	0.18±0.06	2.06±0.57	12.33±0.37	0.13±0.05	27.60±7.23
<i>Canoparmelia sp.1</i>	4.44	5	72.74±20.46	8.07±1.62	0.31±0.10	79.47±20.54	6.49±2.13	93.42±36.73	93.88±12.89	<b>0.23±0.06*</b>	3.65±0.75	13.86±4.13	0.25±0.05	51.92±9.07
<i>Physcia eurupens</i>	3.68	1	87.05±0.00	<b>9.83±0.00*</b>	0.48±0.00	<b>113.51±0.0*</b>	<b>7.02±0.00*</b>	98.36±0.00	116.34±0.00	0.19±0.00	<b>4.36±0.00*</b>	<b>34.25±0.00*</b>	<b>0.30±0.00*</b>	<b>76.94±0.00*</b>
<i>Parmotrema sp.</i>	2.88	6	29.42±4.46	4.77±0.47	0.42±0.03	46.83±7.84	2.44±0.41	34.51±4.58	93.82±23.91	0.16±0.02	2.18±0.47	7.49±0.21	0.12±0.01	34.14±2.40
<i>Phaeophyscia sp.</i>	2.88	1	<b>92.88±0.00*</b>	7.52±0.00	0.37±0.00	62.36±0.00	6.54±0.00	<b>124.03±0.0*</b>	114.44±0.00	0.10±0.00	3.48±0.00	11.18±0.00	0.26±0.00	39.33±0.00



**Figura 0-25.** Box plot de elementos traza (Mn, Hg, Ni, Pb, Zn) analizados en las diferentes especies de líquenes recolectados en las Lomas de tacahuay y Lomas Huacaluna. Las unidades se expresan como mg/kg. Columnas con la misma letra indican diferencias no significativas de acuerdo con el test de Kruskal-Wallis/ Holm- Bonferroni ( $p \leq 0,05$ ). 1=*Canoparmelia sp.1*; 2= *Canoparmelia texana*; 3= *Physcia eurupens*; 4= *Canoparmelia sp.*; 5= *Flavopunctelia flaventior*; 6= *Phaeophyscia sp.*; 7= *Parmotrema reticulatum*; 8= *Dirinaria applanata*; 9= *Physcia undulata*; 10= *Flavopunctelia sp.*; 11=*Parmotrema sp.*



**Figura 0-26.** Box plot de elementos traza (Mn, Hg, Ni, Pb, Zn) analizados en las diferentes especies de líquenes recolectados en las Lomas de tacahuay y Lomas Huacaluna. Las unidades se expresan como mg/kg. Columnas con la misma letra indican diferencias no significativas de acuerdo con el test de Kruskal-Wallis/ Holm- Bonferroni ( $p \leq 0,05$ ).

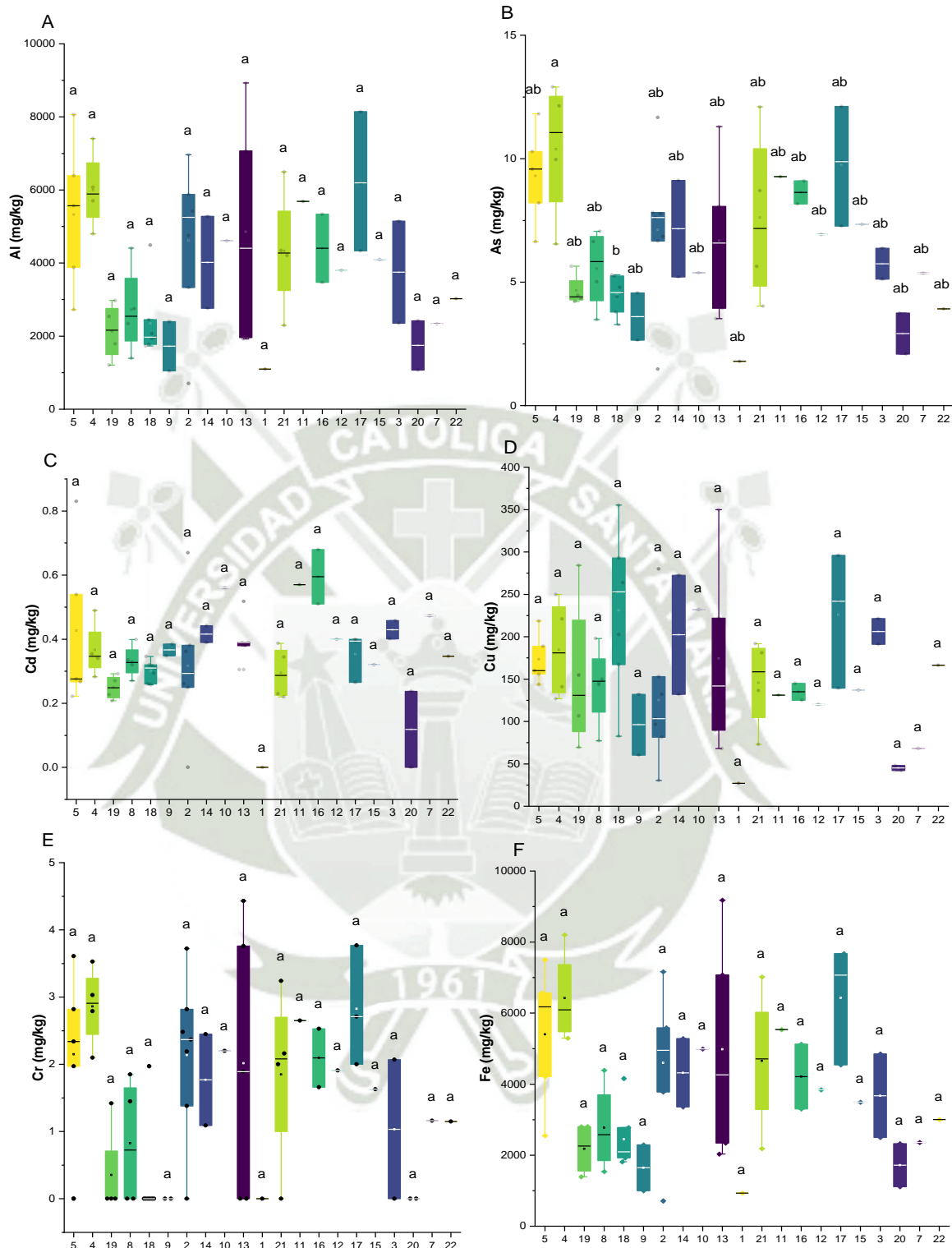
En la Tabla 3.17, se presenta los promedios de bioacumulación de elementos traza (mg/kg) por cada una de las especies de líquenes presente en los *ecosistemas Matorral andino de los sectores de Altarani, Alto Coscore, Calientes, Charaque, Tala*. Es relevante destacar que la especie *Calogaya saxicola* mostró las concentraciones más altas para el As ( $10.39 \pm 2.85$ ) y Cr ( $2.86 \pm 0.59$ ), en comparación con otras especies. Los gráficos de Box Plot en las figuras 3-27 y 3-28, evidenciaron diferencias significativas en la bioacumulación de cada elemento. Las letras iguales denotan similitud estadística entre sí ( $p > 0.05$ ) y letras distintas señalan diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ). En el caso de la bioacumulación de As, se observó diferencias significativas con las diferentes especies presentes en ecosistema matorral andino (Fig. 3-27, B). Para el Cr, no se observaron diferencias estadísticas significativas con las especies identificadas (Fig. 3-27, E).

De manera similar, la especie *Squamulea subsoluta* exhibió la mayor bioacumulación para los metales Al ( $92.88 \pm 0.00$ ), Fe ( $124.03 \pm 0.0$ ) y Pb ( $16.20 \pm 6.20$ ), en comparación con otras especies. Las Figuras 3-27 y 3-28, gráficos de Box Plot, representan las diferencias en la concentración de los metales Al, Fe y Pb. No se observan diferencias significativas para las diferentes especies evaluadas (Fig. 3-27, A).

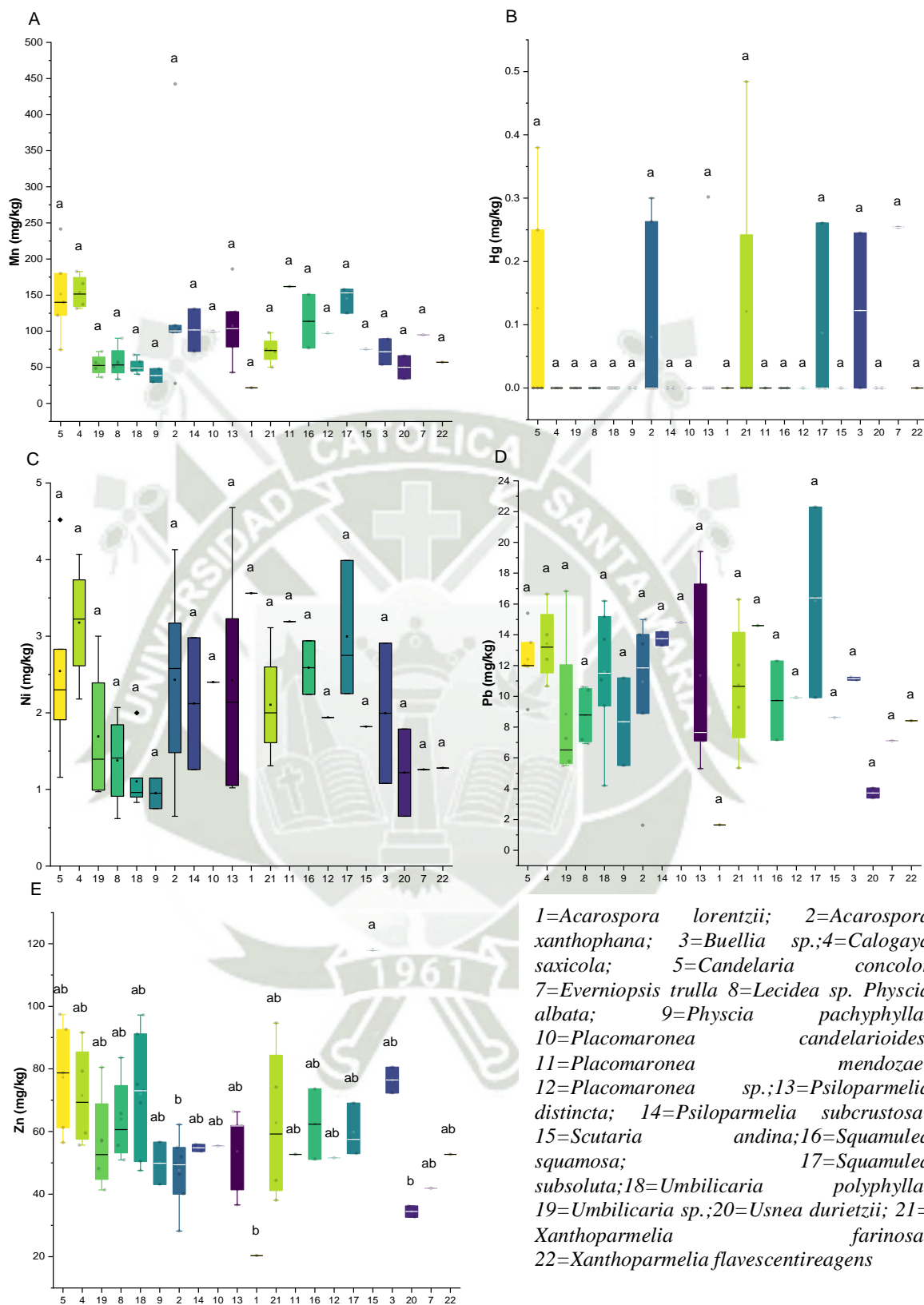
En el caso de la especie *Placomaronea mendozae*, presentó la mayor bioacumulación de manganeso ( $162.00 \pm 0.00$ ), con respecto a las demás especies no se observaron diferencias estadísticas significativas ( $p > 0.05$ ) (Figuras 3-27, A. Gráficos de Box Plot). De la misma forma *Squamulea squamosa* mostró la mayor bioacumulación para cadmio ( $0.60 \pm 0.12$ ), comparando con las demás especies no se observaron diferencias estadísticas significativas ( $p > 0.05$ ) (Figuras 3-26, C. Gráficos de Box Plot). Así mismo *Acarospora lorentzii* mostró la mayor bioacumulación para níquel ( $3.56 \pm 0.00$ ), comparando con las demás especies no se observaron diferencias estadísticas significativas ( $p > 0.05$ ) (Figuras 3-27, C. Gráficos de Box Plot). De la misma forma *Scutaria andina* destacó por mostrar la mayor bioacumulación para zinc ( $118.00 \pm 0.00$ ), comparando con *Acarospora lorentzii*, *Acarospora xanthophana* y *Usnea durietzii* se observaron diferencias estadísticas significativas ( $p < 0.05$ ) (Figuras 3-27, E. Gráficos de Box Plot). Finalmente, la especie *Psiloparmelia subcrustosa* destacó por exhibir la mayor bioacumulación para el cobre ( $272.50 \pm 0.00$ ), comparando con las demás especies no se observaron diferencias estadísticas significativas ( $p > 0.05$ ) (Figuras 3-27, D. Gráficos de Box Plot).

**Tabla 0-17.** Concentración de elementos traza (mg/kg) presente en especies de líquenes del ecosistema Matorral andino de los sectores de Altarani, Alto Coscore, Calientes, Charaque, Tala.

Especie	Ct	n	Al	As	Cd	Cu	Cr	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
			Media ± DE	Media±DE	Media±DE	Media±DE	Media±DE	Media±DE	Media±DE	Media±DE	Media±DE	Media±DE
<i>Physcia pachyphylla</i>	10.80	2	17.23±9.51	3.61±1.35	0.37±0.03	96.17±50.68	0.00±0.00	16.46±9.15	38.70±13.44	0.95±0.28	8.35±4.03	49.83±9.57
<i>Calogaya saxicola</i>	7.46	4	59.96±10.84	<b>10.39±2.85*</b>	0.37±0.09	184.65±60.05	<b>2.86±0.59*</b>	64.22±12.95	154.30±24.17	3.18±0.79	13.43±2.54	71.47±16.93
<i>Acarospora xanthophana</i>	6.27	7	46.16±20.47	7.13±3.00	0.32±0.20	125.21±78.54	2.14±.18	45.97±19.90	139.79±136.39	2.43±1.12	10.95±4.56	47.55±10.98
<i>Psiloparmelia distincta</i>	5.84	6	49.27±27.87	7.09±3.02	0.40±0.07	167.30±14.04	2.09±1.85	50.29±27.66	111.50±49.03	2.52±1.41	11.83±5.92	53.58±12.16
<i>Umbilicaria polyphylla</i>	5.34	7	23.46±9.76	4.49±0.74	0.30±0.03	231.04±89.21	0.28±0.74	24.51±8.14	51.04±9.02	1.11±0.41	11.60±4.05	71.91±18.66
<i>Placomaronea mendozae</i>	5.24	1	56.86±0.00	9.27±0.00	0.57±0.00	131.00±0.00	2.65±0.00	55.36±0.00	<b>162.00±0.00*</b>	3.19±0.00	14.60±0.00	52.70±0.00
<i>Squamulea squamosa</i>	4.88	2	44.04±13.19	8.64±0.66	<b>0.60±0.12*</b>	135.00±14.14	2.10±0.62	42.14±12.88	113.80±52.61	2.59±0.49	9.73±3.63	62.35±15.91
<i>Lecidea sp.</i>	4.48	1	23.39±0.00	5.02±0.00	0.34±0.00	198.00±0.00	0.00±0.00	21.49±0.00	51.00±0.00	1.20±0.00	10.60±0.00	50.90±0.00
<i>Candelaria concolor</i>	4.10	5	53.26±20.92	9.31±1.98	0.43±0.26	173.35±30.26	2.15±1.35	54.01±19.96	151.52±62.99	2.54±1.26	12.39±2.30	77.26±18.28
<i>Umbilicaria sp.</i>	3.92	4	21.26±7.86	4.67±0.66	0.25±0.04	153.78±93.76	0.36±0.71	21.78±7.33	53.33±14.86	1.69±0.95	8.84±5.38	56.78±17.11
<i>Usnea durietzii</i>	3.90	2	17.45±9.51	2.92±1.18	0.12±0.17	45.06±4.02	0.00±0.00	17.18±8.58	50.10±22.63	1.22±0.81	3.72±0.45	34.42±2.52
<i>Acarospora lorentzii</i>	3.40	1	10.95±0.00	1.79±0.00	0.00±0.00	27.00±0.00	0.00±0.00	9.30±0.00	21.70±0.00	<b>3.56±0.00*</b>	1.65±0.00	20.30±0.00
<i>Physcia albata</i>	3.37	3	28.52±15.12	5.73±1.96	0.33±0.07	124.07±40.66	1.10±0.97	29.82±14.26	59.93±28.59	1.44±0.74	8.17±.94	68.27±14.22
<i>Scutaria andina</i>	3.20	1	41.00±0.00	7.34±0.00	0.32±0.00	137.00±0.00	1.63±0.00	34.93±0.00	75.40±0.00	1.82±0.00	8.60±0.00	<b>118.00±0.00*</b>
<i>Placomaronea candelarioides</i>	2.96	1	46.06±0.00	5.38±0.00	0.56±0.00	232.00±0.00	2.20±0.00	49.93±0.00	99.80±0.00	2.40±0.00	14.80±0.00	55.30±0.00
<i>Psiloparmelia subcrustosa</i>	2.80	1	27.61±0.00	5.21±0.00	0.44±0.00	<b>272.50±0.00*</b>	1.09±0.00	33.55±0.00	72.30±0.00	1.26±0.00	13.30±0.00	55.90±0.00
<i>Buellia sp.</i>	2.58	2	37.52±19.76	5.75±0.88	0.43±0.04	206.15±21.43	1.04±1.46	36.75±16.67	71.60±25.46	2.00±1.29	11.15±0.13	76.43±5.83
<i>Everniopsis trulla</i>	2.56	1	23.32±0.00	5.36±0.00	0.47±0.00	68.20±0.00	1.16±0.00	23.56±0.00	95.20±0.00	1.26±0.00	7.10±0.00	41.80±0.00
<i>Xanthoparmelia farinosa</i>	2.53	4	43.35±17.17	7.62±3.56	0.30±0.08	145.55±53.98	1.85±1.35	46.55±19.93	73.63±19.59	2.11±0.75	10.74±4.61	62.75±26.43
<i>Xanthoparmelia flavescens</i>	2.20	1	30.22±0.00	3.92±0.00	0.35±0.00	166.30±0.00	1.15±0.00	30.04±0.00	56.90±0.00	1.28±0.00	8.42±0.00	52.70±0.00
<i>Placomaronea sp.</i>	2.12	1	38.01±0.00	6.93±0.00	0.40±0.00	120.00±0.00	1.91±0.00	38.41±0.00	97.40±0.00	1.94±0.00	9.93±0.00	51.50±0.00
<i>Squamulea subsoluta</i>	1.77	3	<b>62.23±19.05*</b>	9.76±2.43	0.35±0.08	225.80±79.65	2.83±0.89	<b>64.29±16.61*</b>	145.37±17.82	3.00±0.90	<b>16.20±6.20*</b>	59.83±8.35



**Figura 0-27.** Box plot de elementos traza (Mn, Hg, Ni, Pb, Zn) analizados en las diferentes especies de líquenes recolectados en los sectores de Altarani, Alto Coscore, Calientes, Charaque, Tala. Las unidades se expresan como mg/kg. Columnas con la misma letra indican diferencias no significativas de acuerdo con el test de Kruskal-Wallis/ Holm- Bonferroni ( $p \leq 0,05$ ). 1=*Acarospora lorentzii*; 2=*Acarospora xanthophana*; 3=*Buellia* sp.; 4=*Calogaya saxicola*; 5=*Candelaria concolor* 7=*Evermiopsis trulla* 8=*Lecidea* sp. *Physcia albata*; 9=*Physcia pachyphylla*; 10=*Placomaronea candelarioides*, 11=*Placomaronea mendozae*; 12=*Placomaronea* sp.; 13=*Psiloparmelia distincta*; 14=*Psiloparmelia subcrustosa*; 15=*Scutaria andina*; 16=*Squamulea squamosa*; 17=*Squamulea subsoluta*; 18=*Umbilicaria polyphylla*; 19=*Umbilicaria* sp.; 20=*Usnea durietzii*; 21=*Xanthoparmelia farinosa*; 22=*Xanthoparmelia flavescentireagens*



**Figura 0-28.** Box plot de elementos traza (Mn, Hg, Ni, Pb, Zn) analizados en las diferentes especies de líquenes recolectados en los sectores de Altarani, Alto Coscore, Calientes, Charaque, Tala. Las unidades se expresan como mg/kg. Columnas con la misma letra indican diferencias no significativas de acuerdo con el test de Kruskal-Wallis/ Holm- Bonferroni ( $p \leq 0,05$ ).

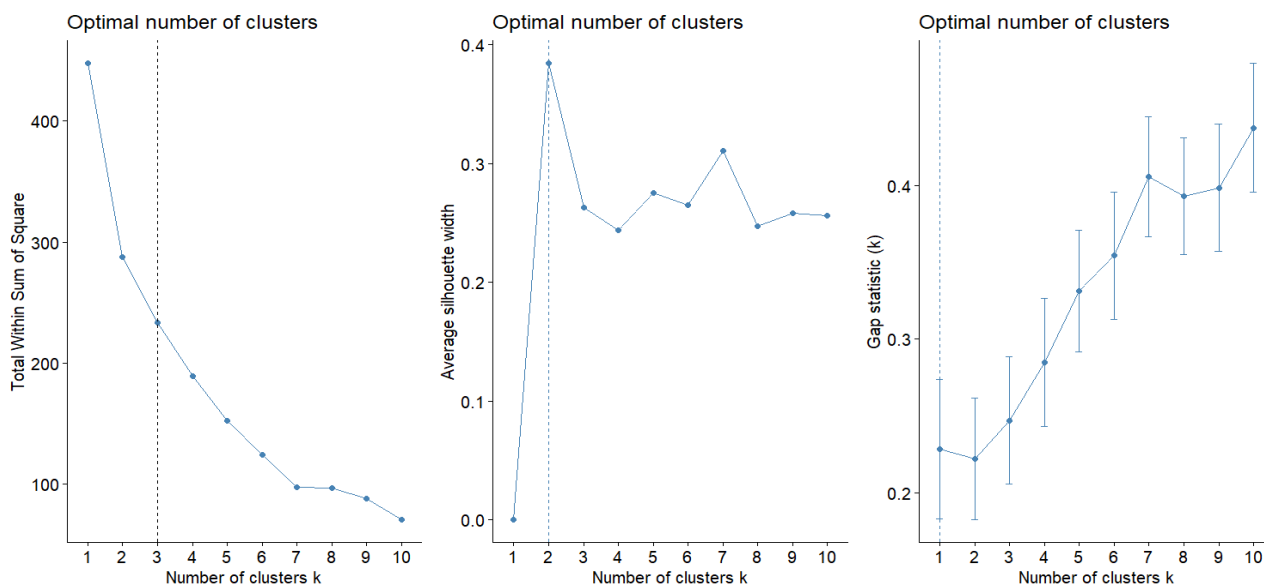
### 3.1.2.3 Análisis de clúster

#### a) Análisis de clúster para determinar la similitud de acumulación de metales traza por cada especie

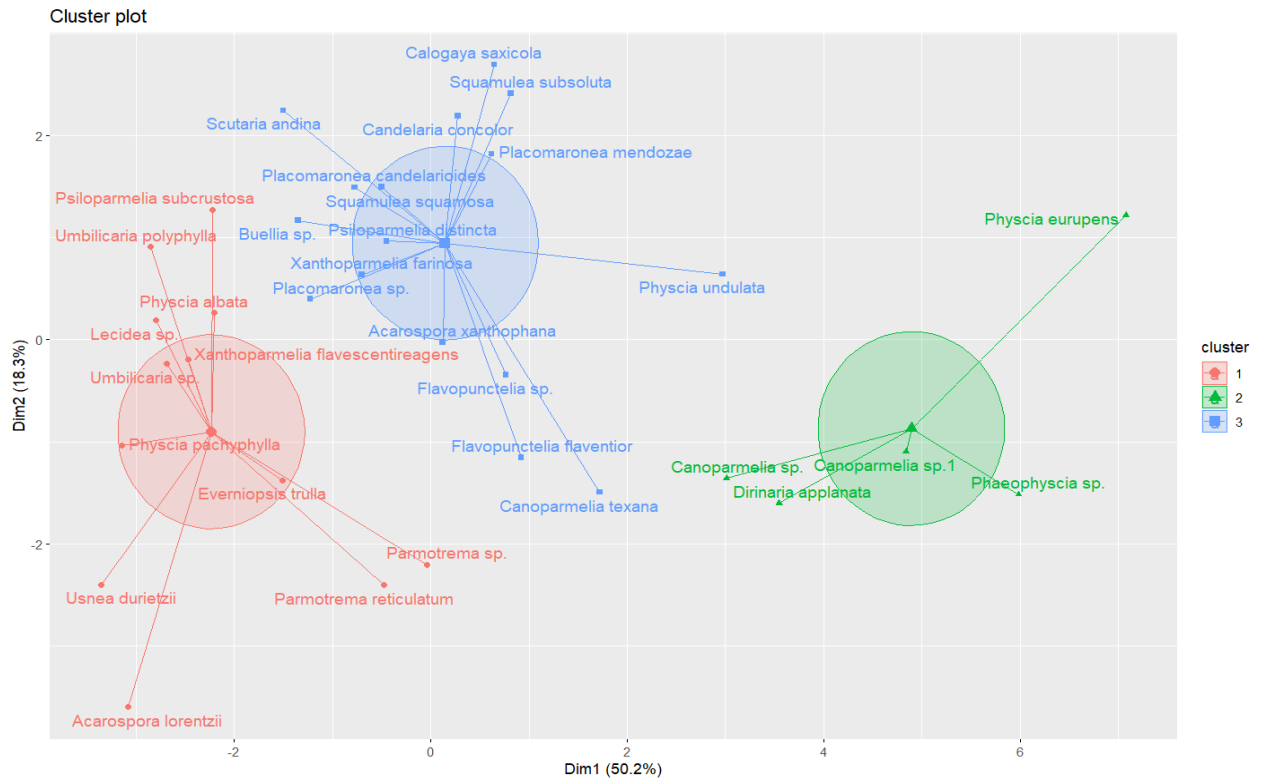
Se evaluó la tendencia de los conglomerados, para ello se calculó las agrupaciones de k-medias y jerárquicas (distancia euclidiana, método Ward) con los datos de bioacumulación de metales traza por cada especie de líquenes recolectado para los sectores; AL=Altarani, ALC=Alto Coscore, CA=Calientes, CHA=Charaque, TA=Tala, LT=Lomas de Tacahuay, LH=Lomas Huacaluna (ver Figura 3-30 y 3-32).

Para determinar la agrupación de k-medias, se procedió con el cálculo del número clúster más óptimos, para lo cual se consideraron los siguientes criterios: (a) Método de distancia Intra-cluster (b) Método de la Silueta (c) Método de estadística de Brecha, el cual por consenso se estableció 3 grupos o clúster (Fig. 3-29).

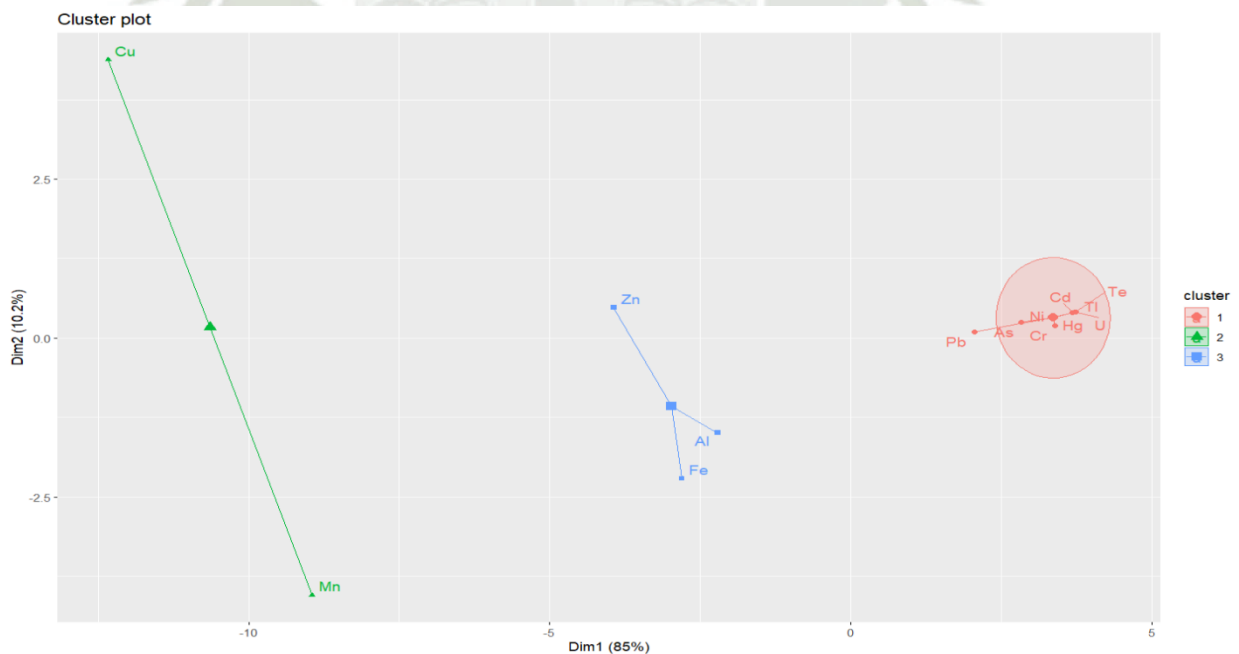
En la Figura 3-30, Cluster plot de K-medias se observa las especies de líquenes y los 3 grupos o clúster junto con sus centroides (círculo, triángulo y cuadrado de mayor tamaño). Los porcentajes de los ejes indicaron la variación explicada por cada componente. En la Figura 3-31, Cluster plot de K-medias se observa los metales traza y los 3 grupos o clúster junto con sus centroides (círculo, triángulo y cuadrado de mayor tamaño).



**Figura 0-29.** Representación del número de conglomerados y las respectivas distancias de unión. (a) Método de distancia Intra-cluster (b) Método de la Silueta (c) Método de estadística de Brecha.

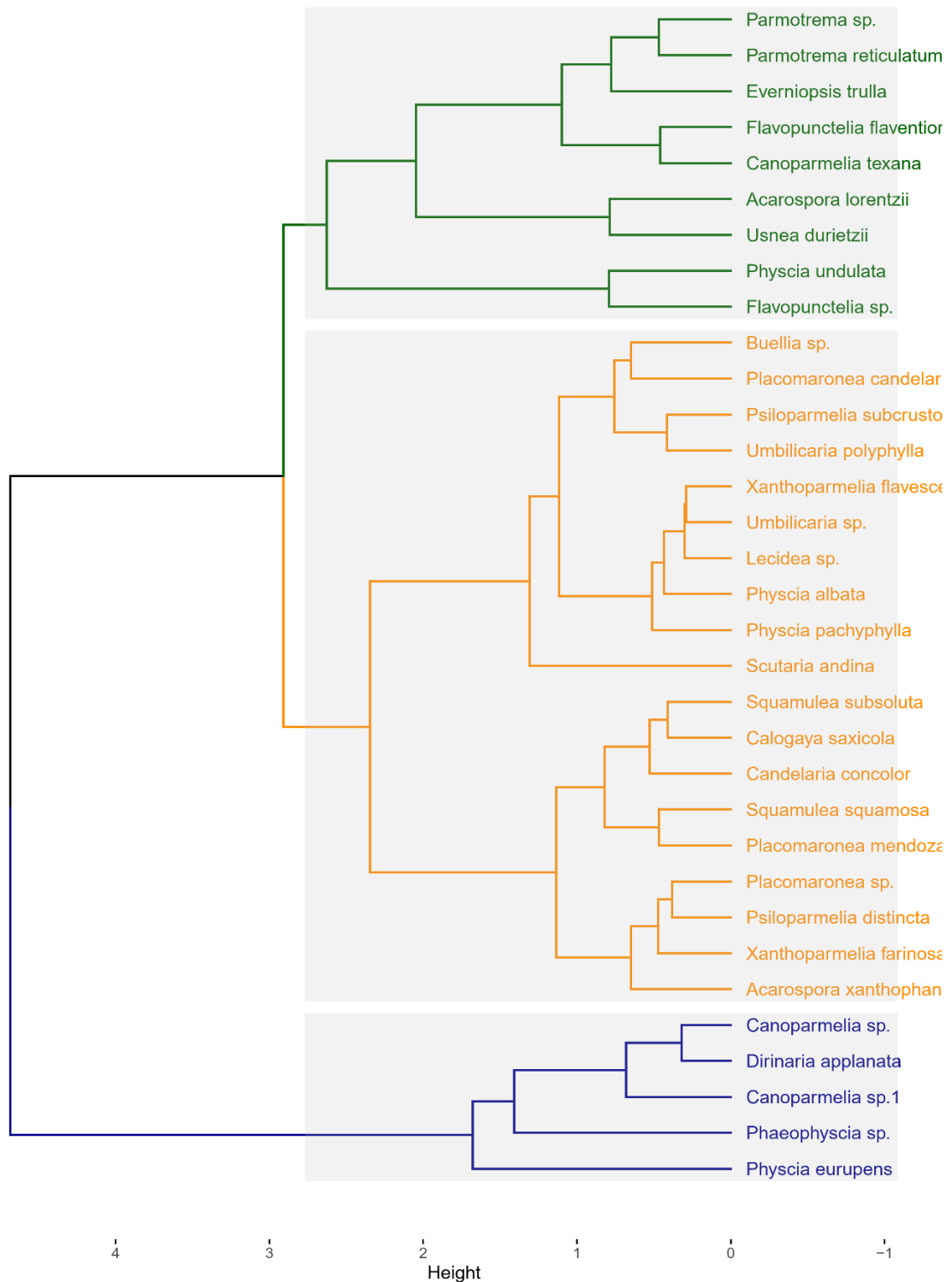


**Figura 0-30.** Cluster plot de K-medias en un análisis de componentes principales de la bioacumulación de metales traza de especie de líquenes entre los diferentes sectores de muestreo. AL=Altarani, ALC=Alto Coscore, CA=Calientes, CHA=Charaque, TA=Tala, LT=Lomas de tacahuay, LH=Lomas Huacaluna.



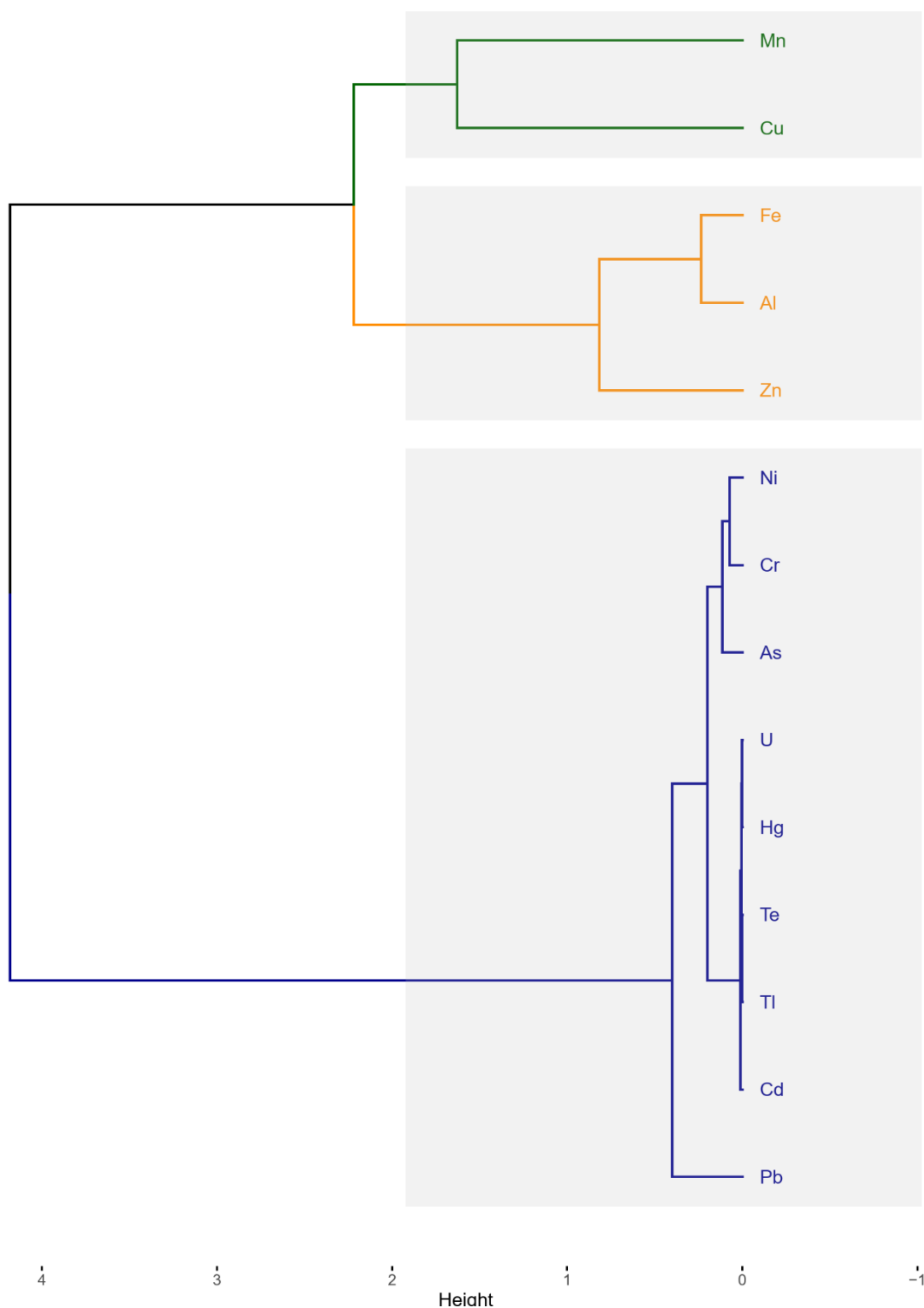
**Figura 0-31.** Cluster plot de K-medias en un análisis de componentes principales de metales traza presente en las especies de líquenes recolectados los diferentes sectores de muestreo. AL=Altarani, ALC=Alto Coscore, CA=Calientes, CHA=Charaque, TA=Tala, LT=Lomas de tacahuay, LH=Lomas Huacaluna.

Cluster Dendrogram



**Figura 0-32.** Dendrograma de similitud de bioacumulación de metales traza por especie de líquenes entre los diferentes sectores de muestreo generado en base al método Ward y distancia euclidiana. AL=Altarani, ALC=Alto Coscore, CA=Calientes, CHA=Charaque, TA=Tala, LT=Lomas de tacahuay, LH=Lomas Huacaluna.

Cluster Dendrogram



**Figura 0-33.** Dendrograma de similitud de concentración de metales traza por especie de líquenes entre los diferentes sectores de muestreo generado en base al método Ward y distancia euclidiana. AL=Altarani, ALC=Alto Coscore, CA=Calientes, CHA=Charaque, TA=Tala, LT=Lomas de tacahuay, LH=Lomas Huacaluna.

En el dendrograma de la Fig. 3-32 (método Ward y distancia euclidiana) se observó 3 grupos asociados a la bioacumulación de metales traza de las diferentes especies identificados en los diferentes sectores. Se observó una baja similitud del grupo de líquenes *Canoparmelia sp.*, *Dirinaria applanata*, *Canoparmelia sp.1.*, *Phaeophyscia sp.* y *Physcia eurupens* con los otros dos cluster. En el dendrograma de la Fig. 3-33 (método Ward y distancia euclidiana) se observa 3 grupos asociados con las concentraciones de los metales traza presente en los líquenes los cuales se observó una baja similitud del grupo de los metales traza Mn, Cu, Fe, Al, Zn con los otros dos cluster.

### **3.1.3 Evaluación del índice del riesgo ecológico potencial ( $IR_E$ ) de los elementos traza presente en los ecosistemas de lomas Costeras (Lomas de Huacaluna y Tacahuay) y matorral Andino (Calientes, Alto Coscore, Charaque, Altarani, Tala)**

Para la determinación del índice de riesgo ecológico potencial ( $IR_E$ ) se efectuaron los cálculos tomando en cuenta el factor de contaminación (FC), el riesgo ecológico (RE) y el factor tóxico biológico  $T_R^i$  los resultados obtenidos se muestran a continuación.

#### **3.1.3.1 Factores de contaminación (FCx) y valores de grado de contaminación (GC) para el ecosistema de lomas costeras**

En lo que respecta al factor de contaminación en la estación Lomas de Huacaluna, destacó el sector LH5 mostrando una “contaminación considerable” ( $FC_{LH5}=3.30$ ), superando a los demás sectores. La suma de los valores de los cinco sectores reveló un grado de “contaminación considerable” en todo el sector de Lomas de Huacaluna ( $GC=12.73$ ) según se detalla en la Tabla 3-18.

Asimismo, en el caso de las lomas de Tacahuay, se observó que los cinco sectores (LT1-LT5) mostraron un nivel de “contaminación moderada” ( $1 < FCLT < 3$ ), y en conjunto, presentaron un grado de “contaminación considerable” de 12.90 ( $GC=12.90$ ), según se indica en la misma tabla. Por último, en lo que respecta al ecosistema de lomas costeras en la región de Moquegua, se identifica un grado de “contaminación muy alta” con un valor de  $GC=25.63$  (Tabla 3-18).

**Tabla 0-18.** Factores de contaminación ( $FC_x$ ) y valores de grado de contaminación (GC) para metales pesados seleccionados en los sectores de Lomas de Huacaluna y Lomas de Tacahuay correspondiente al ecosistema de lomas costeras

Sector/Estación	As	Cd	Cu	Cr	Hg	Ni	Pb	Zn	Media
<b><i>Lomas de Huacaluna</i></b>									
LH1	8.96	1.66	8.34	0.74	0.33	1.01	0.17	0.58	2.72
LH2	7.47	1.44	7.49	0.68	0.29	0.95	0.20	0.51	2.38
LH3	6.89	1.40	6.10	0.59	0.26	0.80	0.15	0.46	2.08
LH4	6.69	1.05	7.52	0.71	0.34	1.07	0.21	0.39	2.25
LH5	10.28	2.24	10.37	0.92	0.32	1.38	0.30	0.63	3.30
<b>GC</b>	<i>Contaminación considerable</i>								<b>12.73</b>
<b><i>Lomas de Tacahuay</i></b>									
LT1	7.60	0.63	8.68	1.25	0.27	1.35	0.35	0.43	2.57
LT2	8.36	0.53	10.59	1.28	0.44	1.29	0.33	0.45	2.91
LT3	7.01	1.06	8.12	1.34	0.31	1.40	0.42	0.39	2.51
LT4	6.21	0.81	7.37	0.89	0.31	1.04	0.37	0.39	2.17
LT5	8.21	0.47	9.35	1.41	0.33	1.42	0.38	0.37	2.74
<b>GC</b>	<i>Contaminación considerable</i>								<b>12.90</b>
<b>TOTAL</b>	<i>Contaminación muy alta</i>								<b>25.63</b>

### 3.1.3.2 Riesgo ecológico (RE) y índice de riesgo ecológico potencial (IRE) para metales pesados presentes en líquenes del ecosistema de lomas costeras (Lomas de Huacaluna y Lomas de Tacahuay)

En relación al sector de lomas de Huacaluna se observó que para las estaciones LH1, LH2 y LH3 presentaron un “alto riesgo ecológico considerable”. En relación al índice de riesgo ecológico potencial presentó un “riesgo considerable” ( $IR_E=188$ ) (Tabla 3-19).

Así mismo para el sector de lomas de Tacahuay se observó que las estaciones LT1, LT2, LT3 y LT5 presentaron un “alto riesgo ecológico considerable”. En relación para el índice de riesgo ecológico potencial presentó un “riesgo considerable” ( $IR_E=164$ ) (Tabla 3-19).

Por último, en lo que respecta al ecosistema de lomas costeras en la región de Moquegua, para el índice de riesgo ecológico potencial se identificó un “Riesgo muy alto” con un valor de  $IR_E=352$  (Tabla 3-19).

**Tabla 0-19.** Valores potenciales de riesgo ecológico (RE) y índice de riesgo ecológico potencial (IR<sub>E</sub>) para metales pesados presentes en líquenes de los sectores de Lomas de Huacaluna y Lomas de Tacahuay

Sector/ Estación	RE								Estado de riesgo ecológico	
	As	Cd	Cu	Cr	Hg	Ni	Pb	Zn	IR <sub>E</sub>	Niveles de riesgo
<i>Lomas de Huacaluna</i>										
LH1	89.62	49.70	41.68	1.47	13.17	5.05	0.84	0.58	202	Alto riesgo
LH2	74.69	43.32	37.43	1.36	11.66	4.74	1.00	0.51	175	Alto riesgo
LH3	68.92	41.87	30.50	1.19	10.30	3.99	0.76	0.46	158	Considerable
LH4	66.92	31.40	37.59	1.41	13.47	5.34	1.03	0.39	158	Considerable
LH5	102.79	67.16	51.85	1.83	12.62	6.92	1.52	0.63	245	Alto riesgo
IR <sub>E</sub>	Riesgo considerable								188	
<i>Lomas de Tacahuay</i>										
LT1	76.00	19.01	43.39	2.50	10.98	6.74	1.77	0.43	161	Alto riesgo
LT2	83.64	15.97	52.93	2.55	17.79	6.47	1.64	0.45	181	Alto riesgo
LT3	70.07	31.65	40.59	2.69	12.28	7.02	2.12	0.39	167	Alto riesgo
LT4	62.08	24.41	36.83	1.79	12.23	5.18	1.87	0.39	145	Considerable
LT5	82.09	14.01	46.73	2.82	13.34	7.09	1.89	0.37	168	Alto riesgo
IR <sub>S</sub>	Riesgo considerable								164	
<b>TOTAL</b>	<b>IR<sub>E</sub></b>								<b>352</b>	<b>Riesgo muy alto</b>

### 3.1.3.3 Factores de contaminación (FC<sub>x</sub>) y valores de grado de contaminación (GC) para el ecosistema de matorral andino

En lo que respecta al factor de contaminación en el sector de Altarani, se observó que para las cinco estaciones presentaron una “contaminación considerable” y en relación al grado de contaminación presentó una “contaminación muy alta”. En relación con el sector de Alto Coscore, las cinco estaciones presentaron una “contaminación considerable”, con respecto al grado de contaminación presentó una “contaminación considerable”. En el sector de Calientes, las estaciones CA1 y CA2 exhibieron un nivel de "contaminación moderada", mientras que las estaciones CA3, CA4, y CA5 mostraron un nivel de "contaminación considerable" en consecuencia el sector de Calientes, presentó un grado de "contaminación considerable". En el sector de Charaque, las estaciones CHA1, CHA2, CHA3 y CHA4 exhibieron un nivel de "contaminación moderada", mientras que la estación CHA5 mostró un nivel de "contaminación alta", por consiguiente, el sector de Charaque en su conjunto presentó un grado de "contaminación muy alta" (Tabla 3-20). Finalmente, para el sector de Tala las estaciones TA1, TA4 y TA5 exhibieron un nivel de "contaminación considerable", mientras que las estaciones TA2 y TA3 mostraron un nivel de "contaminación moderada", en consecuencia, el sector de Tala en su conjunto presentó un grado de "contaminación considerable".

**Tabla 0-20.** Factores de contaminación ( $FC_x$ ) y valores de grado de contaminación (GC) para metales pesados seleccionados en los sectores y estaciones de Altarani, Alto Coscore, Calientes, Charaque y Tala

Sector/Estación	As	Cd	Cu	Cr	Hg	Ni	Pb	Zn	Media
<b>Altarani</b>									
AL1	8.41	0.72	31.77	0.40	0.18	0.83	0.36	0.49	5.40
AL2	9.19	0.55	29.62	0.30	0.47	0.62	0.33	0.62	5.21
AL3	6.56	0.53	39.14	0.20	0.00	0.58	0.34	0.63	6.00
AL4	7.81	1.48	22.76	0.00	0.00	0.47	0.29	0.92	4.22
AL5	4.09	0.48	20.63	0.00	0.00	0.25	0.17	0.83	3.31
GC	<i>Contaminación muy alta</i>								<b>24.13</b>
<b>Alto Coscore</b>									
ALC1	7.80	0.69	21.24	0.42	0.00	1.26	0.24	0.74	4.05
ALC2	7.69	0.61	31.44	0.51	0.00	0.88	0.30	0.59	5.25
ALC3	8.62	0.65	18.36	0.49	0.18	0.96	0.24	0.54	3.76
ALC4	7.00	0.61	16.94	0.28	0.00	0.66	0.21	0.53	3.28
ALC5	7.05	0.54	15.58	0.26	0.50	0.58	0.16	0.71	3.17
GC	<i>Contaminación considerable</i>								<b>19.51</b>
<b>Calientes</b>									
CA1	8.86	0.26	10.07	0.33	0.14	1.09	0.15	0.50	2.68
CA2	6.28	0.55	10.68	0.22	0.00	0.68	0.15	0.46	2.38
CA3	8.93	0.89	16.15	0.52	0.21	0.98	0.26	0.55	3.56
CA4	11.73	0.88	20.06	0.68	0.00	1.38	0.34	0.55	4.45
CA5	8.47	0.72	34.15	0.31	0.00	0.83	0.34	0.71	5.69
GC	<i>Contaminación considerable</i>								<b>18.76</b>
<b>Charaque</b>									
CHA1	6.18	0.55	23.76	0.48	0.00	0.81	0.28	0.50	4.07
CHA2	8.88	1.02	17.71	0.66	0.00	1.29	0.28	0.58	3.80
CHA3	6.97	0.68	36.70	0.30	0.00	0.71	0.31	0.69	5.80
CHA4	8.74	0.63	28.05	0.59	0.00	1.03	0.30	0.61	4.99
CHA5	13.29	0.70	31.58	1.08	0.00	1.89	0.47	0.66	6.21
GC	<i>Contaminación muy alta</i>								<b>24.87</b>
<b>Tala</b>									
TA1	8.45	0.53	31.86	0.26	0.00	0.71	0.35	0.74	5.36
TA2	5.95	0.46	13.95	0.20	0.00	0.65	0.22	0.46	2.74
TA3	4.04	0.50	11.87	0.00	0.00	0.35	0.13	0.50	2.17
TA4	10.21	0.48	17.55	0.54	0.26	0.91	0.26	0.73	3.87
TA5	4.97	0.62	16.59	0.25	0.26	0.72	0.18	0.56	3.02
GC	<i>Contaminación considerable</i>								<b>17.16</b>

### 3.1.3.4 Riesgo ecológico (RE) y índice de riesgo ecológico potencial (IRE) para metales pesados presentes en líquenes del ecosistema matorral andino

En cuanto a los valores de riesgo ecológico en el sector Altarani, las estaciones AL1, AL2 y AL3, presentaron un nivel de "riesgo muy alto" en comparación con las demás estaciones.

En última instancia, para el índice de riesgo ecológico potencial presentó un "riesgo considerable".

**Tabla 0-21.** Valores de riesgo ecológico (RE) y índice de riesgo ecológico potencial (IR<sub>E</sub>) para metales pesados presentes en líquenes en los sectores y estaciones de Altarani, Alto Coscore, Calientes, Charaque y Tala

Sector/ Estación	RE								Estado de riesgo ecológico	
	As	Cd	Cu	Cr	Hg	Ni	Pb	Zn	IR <sub>E</sub>	Niveles de riesgo
<i>Altarani</i>										
AL1	84.08	21.52	158.87	0.79	7.25	4.16	1.80	0.49	279	Muy alto
AL2	91.88	16.48	148.10	0.60	18.89	3.11	1.67	0.62	281	Muy alto
AL3	65.62	15.79	195.68	0.40	0.00	2.91	1.72	0.63	283	Muy alto
AL4	78.12	44.46	113.80	0.00	0.00	2.35	1.47	0.92	241	Considerable
AL5	40.94	14.46	103.13	0.00	0.00	1.26	0.85	0.83	161	Considerable
IR <sub>s</sub>	<i>Riesgo considerable</i>								249	
<i>Alta Coscore</i>										
ALC1	78.00	20.57	106.21	0.85	0.00	6.30	1.20	0.74	214	Considerable
ALC2	76.94	18.21	157.18	1.02	0.00	4.41	1.52	0.59	260	Considerable
ALC3	86.16	19.59	91.82	0.99	7.06	4.80	1.20	0.54	212	Considerable
ALC4	70.00	18.20	84.72	0.56	0.00	3.32	1.04	0.53	178	Considerable
ALC5	70.53	16.13	77.88	0.52	20.17	2.88	0.82	0.71	190	Considerable
RIS	<i>Riesgo considerable</i>								211	
<i>Calientes</i>										
CA1	88.59	7.71	50.36	0.66	5.48	5.47	0.75	0.50	160	Considerable
CA2	62.76	16.58	53.41	0.45	0.00	3.42	0.77	0.46	138	Considerable
CA3	89.33	26.57	80.77	1.04	8.39	4.91	1.31	0.55	213	Considerable
CA4	117.29	26.25	100.28	1.35	0.00	6.88	1.71	0.55	254	Considerable
CA5	84.71	21.54	170.77	0.61	0.00	4.14	1.68	0.71	284	Muy alto
RIS	<i>Riesgo considerable</i>								210	
<i>Charaque</i>										
CHA1	61.76	16.61	118.78	0.96	0.00	4.05	1.41	0.50	204	Considerable
CHA2	88.78	30.57	88.53	1.33	0.00	6.44	1.41	0.58	218	Considerable
CHA3	69.69	20.30	183.50	0.61	0.00	3.56	1.55	0.69	280	Muy alto
CHA4	87.44	18.76	140.24	1.18	0.00	5.16	1.49	0.61	255	Considerable
CHA5	132.94	20.89	157.89	2.15	0.00	9.47	2.37	0.66	326	Muy alto
RIS	<i>Riesgo considerable</i>								257	
<i>Tala</i>										
TA1	84.47	15.75	159.32	0.52	0.00	3.56	1.76	0.74	266	Muy alto
TA2	59.45	13.84	69.77	0.40	0.00	3.23	1.10	0.46	148	Considerable
TA3	40.41	14.89	59.37	0.00	0.00	1.74	0.67	0.50	118	Bajo
TA4	102.12	14.38	87.74	1.08	10.42	4.56	1.28	0.73	222	Considerable
TA5	49.71	18.62	82.94	0.50	10.21	3.60	0.92	0.56	167	Considerable
RIS	<i>Riesgo considerable</i>								184	

En el caso del sector de Calientes, todas las estaciones presentaron un "riesgo ecológico considerable", en consecuencia, un índice de riesgo ecológico potencial clasificado como "riesgo considerable". Por otro lado, en el sector de Charaque, las estaciones CHA1, CHA2 y CHA4 exhibieron un "riesgo ecológico considerable", mientras que las estaciones CHA3 y CHA5 mostraron un nivel de "riesgo muy alto". En conjunto, el sector de Charaque presentó un índice de "riesgo ecológico considerable" (Tabla 3-21). Finalmente, en el sector de Tala, las estaciones TA2, TA4 y TA5 exhibieron un "riesgo ecológico considerable", mientras que la estación TA1 mostró un nivel de "riesgo muy alto" y TA3 mostró un nivel de "riesgo bajo". Por consiguiente, el sector de Tala presentó un índice de "riesgo ecológico considerable" (Tabla 3-21).

### 3.1.4 Correlación del factor de respuesta tóxica (FC), riesgo ecológico (RE<sub>E</sub>) con el índice de biodiversidad de Shannon (H'), Simpson (D) y Equidad de Pielou (J)

#### 3.1.4.1 Correlación del factor de respuesta tóxica (FC), riesgo ecológico (RE<sub>E</sub>) con el índice de biodiversidad de Shannon (H'), Simpson (D) y Equidad de Pielou (J) para el ecosistema de lomas costeras

En la Tabla 3.22, se muestra los valores promedio para factor de respuesta tóxica (FC), riesgo ecológico (RE<sub>E</sub>), índice de biodiversidad de Shannon (H'), Simpson (D), Equidad de Pielou (J), temperatura (°C) y precipitación (mm) del ecosistema de lomas costeras

**Tabla 0-22.** Media del factor de respuesta tóxica (FC), riesgo ecológico (RE<sub>E</sub>), índice de biodiversidad de Shannon (H'), Simpson (D) y Equidad de Pielou (J) del ecosistema de lomas costeras

Ecosistemas	biotipo	hábitat	Sector	FC <sub>E</sub>	RE <sub>E</sub>	Abu	Riq	H	D	J	Temp	Pre
LC	Folioso	Epifito	LH1	2.72	202.10	64.00	3.00	1.06	0.64	0.97	17.66	2.00
LC	Folioso	Epifito	LH2	2.38	174.70	40.00	3.00	0.79	0.49	0.72	17.66	2.00
LC	Folioso	Epifito	LH3	2.08	157.98	46.00	3.00	1.09	0.66	0.99	17.66	2.00
LC	Folioso	Epifito	LH4	2.25	157.55	10.00	3.00	1.05	0.64	0.96	17.66	2.00
LC	Folioso	Epifito	LH5	3.30	245.32	64.00	3.00	1.08	0.65	0.98	17.66	2.00
LC	Folioso	Epifito	LT1	2.57	160.81	106.40	8.00	1.78	0.79	0.86	17.89	5.00
LC	Folioso	Epifito	LT2	2.91	181.44	68.00	7.00	1.75	0.80	0.90	17.71	2.43
LC	Folioso	Saxicola	LT3	2.51	166.81	36.40	8.00	1.93	0.84	0.93	17.89	5.00
LC	Folioso	Epifito	LT4	2.17	144.79	12.20	4.00	1.33	0.72	0.96	17.85	4.44
LC	Folioso	Epifito	LT5	2.74	168.33	44.20	8.00	1.80	0.78	0.86	17.89	5.00

*Nota.* FC<sub>E</sub>= factor de respuesta tóxica de la estación; RE<sub>E</sub>=Riesgo ecológico de la estación; Abu= Abundancia; Riq= Riqueza, H=Índice de biodiversidad Shannon; D=Índice de biodiversidad de Simpson; J= Índice de biodiversidad de Pielou.

*a) Prueba de normalidad para el factor de respuesta tóxica ( $FC_E$ ), riesgo ecológico ( $RE_E$ ), índice de biodiversidad de Shannon ( $H'$ ), Simpson ( $D$ ) y Equidad de Pielou ( $J$ ) del ecosistema de lomas costeras*

Para evaluar si los datos registrados para el factor de respuesta tóxica ( $FC$ ), riesgo ecológico ( $RE_E$ ), índice de biodiversidad de Shannon ( $H'$ ), Simpson ( $D$ ), Equidad de Pielou ( $J$ ), temperatura ( $^{\circ}C$ ) y precipitación (mm) del ecosistema de lomas costeras siguen una distribución normal se aplicó la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk ( $n < 50$ ), partiendo de los siguientes supuesto:

$H_0$  = Los datos registrados para el factor de contaminación, riesgo ecológico y los índices de biodiversidad siguen una distribución normal.

$H_1$  = Los datos registrados para el factor de contaminación, riesgo ecológico y los índices de biodiversidad no siguen una distribución normal.

En la Tabla 3-23, se observa los estadísticos de prueba y el valor p. En todos los casos para factor de contaminación, riesgo ecológico y los índices de biodiversidad. El valor de p fue menor que 0.05, por el cual se rechazó la hipótesis nula ( $H_0$ ) y se aceptó la hipótesis alterna ( $H_1$ ) por lo que se concluye que nuestros datos no siguen una distribución normal y lo cual se aplicó la correlación de Spearman (prueba no paramétrica).

**Tabla 0-23.** Prueba de Shapiro-Wilk (normalidad) para el factor de respuesta tóxica ( $FC_E$ ), riesgo ecológico ( $RE_E$ ), índice de biodiversidad de Shannon ( $H'$ ), Simpson ( $D$ ), Equidad de Pielou ( $J$ ), temperatura ( $^{\circ}C$ ) y precipitación (mm)

Variables	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
FCE	0.961	10	0.802*
RIE	0.831	10	0.035**
Abu	0.941	10	0.561
Riq	0.719	10	0.002**
H	0.871	10	0.104*
D	0.925	10	0.400*
J	0.836	10	0.039*
Temp	0.719	10	0.001**
Pre	0.706	10	0.001**

\*Valores  $p > 0.05$  (Aceptamos la Hipótesis Nula); \*\*Valores  $p < 0.05$  (Rechazamos la Hipótesis Nula de manera significativa); \*\*\*valores  $p < 0.01$  (Rechazamos la Hipótesis Nula de manera altamente Significativa).

***b) Análisis de correlación de Spearman entre el factor de respuesta tóxica ( $FC_E$ ), riesgo ecológico ( $RE_E$ ), índice de biodiversidad de Shannon ( $H'$ ), Simpson ( $D$ ), Equidad de Pielou ( $J$ ), temperatura ( $^{\circ}C$ ) y precipitación (mm).***

Una vez determinado aquellas variables que permiten definir si sigue una distribución normal se procedió a realizar la correlación de Spearman entre el factor de respuesta tóxica ( $FC_E$ ), riesgo ecológico ( $RE_E$ ), índice de biodiversidad de Shannon ( $H'$ ), Simpson ( $D$ ), Equidad de Pielou ( $J$ ), temperatura ( $^{\circ}C$ ) y precipitación (mm), para lo cual se planteó los siguientes supuestos:

**$H_0$** = No existe relación significativa entre el factor de respuesta tóxica ( $FC_E$ ), riesgo ecológico ( $RE_E$ ), índice de biodiversidad de Shannon ( $H'$ ), Simpson ( $D$ ), Equidad de Pielou ( $J$ ), temperatura ( $^{\circ}C$ ) y precipitación (mm).

**$H_1$** = Existe relación significativa entre el factor de respuesta tóxica ( $FC_E$ ), riesgo ecológico ( $RE_E$ ), índice de biodiversidad de Shannon ( $H'$ ), Simpson ( $D$ ), Equidad de Pielou ( $J$ ), temperatura ( $^{\circ}C$ ) y precipitación (mm).

En la Tabla 3-24 y la Fig.3-33, se observan las medias, desviaciones estándar, intervalos de confianza y las correlaciones para el factor de respuesta tóxica ( $FC_E$ ), riesgo ecológico ( $RE_E$ ), índice de biodiversidad de Shannon ( $H'$ ), Simpson ( $D$ ), Equidad de Pielou ( $J$ ), temperatura ( $^{\circ}C$ ) y precipitación (mm). Se evidencio que existe una correlación alta positiva entre el factor de respuesta tóxica ( $FC_E$ ) y el riesgo ecológico ( $RE_E$ ) ( $r= 0.86$ ,  $p<0.01$ ); correlación alta positiva con la abundancia ( $Abu$ ) ( $r=0.53$ ,  $p>0.05$ ); correlación baja positiva con la riqueza de especies ( $Riq$ ) ( $r=0.20$ ,  $p>0.05$ ); correlación baja positiva con el índice de biodiversidad de Shannon ( $H'$ ) ( $r=0.20$ ,  $p>0.05$ ); correlación baja positiva con el índice de biodiversidad de Simpson ( $D$ ) ( $r=0.19$ ,  $p>0.05$ ); correlación despreciable positiva son con el índice de equidad de Pielou ( $J$ ) ( $r=0.04$ ,  $p>0.05$ ); correlación despreciable negativa con la temperatura ( $^{\circ}C$ ) ( $r=-0.07$ ,  $p>0.05$ ) y una correlación despreciable negativa con la precipitación (mm) ( $r=-0.09$ ,  $p>0.05$ ). Así mismo el índice de riesgo ecológico ( $RE_E$ ) presentó una correlación baja positiva con la abundancia ( $Abu$ ) ( $r=0.37$ ,  $p>0.05$ ); correlación baja negativa con la riqueza de especies ( $Riq$ ) ( $r=-0.27$ ,  $p>0.05$ ); correlación baja negativa con el índice de biodiversidad de Shannon ( $H'$ ) ( $r=-0.26$ ,  $p>0.05$ ); correlación baja negativa con el índice de biodiversidad de Simpson ( $D$ ) ( $r=-0.22$ ,  $p>0.05$ ); correlación baja negativa son con el índice de equidad de Pielou ( $J$ ) ( $r=-0.17$ ,  $p>0.05$ ); correlación baja positiva con la temperatura ( $^{\circ}C$ ) ( $r=0.11$ ,  $p>0.05$ ) y una correlación baja positiva con la precipitación (mm) ( $r=0.10$ ,  $p>0.05$ ).

**Tabla 0-24.** Medias, desviaciones estándar y correlaciones con intervalos de confianza

Variable	<i>M</i>	<i>SD</i>	1	2	3	4	5	6	7	8
1. FC <sub>E</sub>	2.56	0.37								
2. RI <sub>E</sub>	175.98	28.93	.86** [.50, .97]							
3. Abu	49.12	28.39	.53 [-.15, .87]	.37 [-.34, .81]						
4. Riq	5.00	2.40	.20 [-.49, .74]	-.27 [-.77, .43]	.39 [-.32, .82]					
5. H	1.37	0.41	.20 [-.49, .74]	-.26 [-.77, .44]	.31 [-.39, .79]	.97** [.86, .99]				
6. D	0.70	0.11	.19 [-.50, .73]	-.22 [-.74, .48]	.27 [-.43, .77]	.85** [.47, .96]	.95** [.81, .99]			
7. J	0.91	0.08	.04 [-.61, .65]	.18 [-.51, .73]	-.17 [-.72, .52]	-.25 [-.76, .45]	-.01 [-.64, .62]	.28 [-.43, .77]		
8. Temp	17.75	0.11	-.07 [-.67, .59]	-.45 [-.84, .25]	.11 [-.56, .69]	.83** [.42, .96]	.83** [.41, .96]	.74* [.22, .94]	-.15 [-.71, .53]	
9. Pre	3.19	1.45	-.09 [-.68, .58]	-.45 [-.84, .25]	.10 [-.57, .69]	.81** [.36, .95]	.80** [.35, .95]	.72* [.17, .93]	-.15 [-.71, .53]	1.00** [.99, 1.00]

*Nota.* *M* y *SD* se utilizan para representar la media y la desviación estándar, respectivamente. Los valores entre corchetes indican el intervalo de confianza del 95% para cada correlación. El intervalo de confianza es un rango plausible de correlaciones poblacionales que podrían haber causado la correlación muestral (Cumming, 2014). \* Indica  $p < 0.05$ . \*\* indica  $p < 0.01$ . Correlación despreciable:  $r < |0.1|$ ; correlación baja:  $|0.1| < r \leq |0.3|$ ; correlación mediana:  $|0.3| < r \leq |0.5|$ ; correlación fuerte o alta:  $r > |0.5|$

### 3.1.4.2 Correlación del factor de respuesta tóxica (FC), riesgo ecológico (RE<sub>E</sub>) con el índice de biodiversidad de Shannon (H'), Simpson (D) y Equidad de Pielou (J) para el ecosistema de matorral andino

En la Tabla 3.25., se muestra los valores promedio para factor de respuesta tóxica (FC), riesgo ecológico (RE<sub>E</sub>), índice de biodiversidad de Shannon (H'), Simpson (D), Equidad de Pielou (J), temperatura (°C) y precipitación (mm) del ecosistema de matorral andino.

**Tabla 0-25.** Media del factor de respuesta tóxica (FC), riesgo ecológico (RE<sub>E</sub>), índice de biodiversidad de Shannon (H'), Simpson (D) y Equidad de Pielou (J) del ecosistema de matorral andino

Ecosistemas	biotipo	habitat	Sector	FCE	RIE	Abu	Riq	H	D	J	Temp	Pre
MA	Crustoso	Saxicola	AL1	5.40	278.97	50.80	9.00	2.05	0.85	0.93	7.87	229.00
MA	Folioso	Saxicola	AL2	5.21	281.35	43.20	9.00	2.02	0.83	0.92	7.72	234.00
MA	Folioso	Saxicola	AL3	6.00	282.74	35.60	8.00	1.80	0.78	0.87	7.59	238.25
MA	Folioso	Saxicola	AL4	4.22	241.12	27.60	7.00	1.35	0.67	0.70	7.64	236.00
MA	Crustoso	Saxicola	AL5	3.31	161.47	27.60	7.00	1.35	0.67	0.70	7.58	239.00
MA	Folioso	Saxicola	ALC1	4.05	213.87	35.00	9.00	2.06	0.86	0.94	11.91	100.00
MA	Crustoso	Saxicola	ALC2	5.25	259.88	22.20	6.00	1.77	0.83	0.99	11.70	103.00
MA	Folioso	Epifito	ALC3	3.76	212.15	41.00	9.00	1.96	0.83	0.89	11.05	122.00
MA	Folioso	Saxicola	ALC4	3.28	178.37	31.20	8.00	1.90	0.83	0.91	10.10	147.33
MA	Folioso	Saxicola	ALC5	3.17	189.63	44.80	8.00	1.87	0.83	0.90	9.72	159.00
MA	Crustoso	Saxicola	CA1	2.68	159.52	46.00	11.00	2.19	0.87	0.91	12.41	83.25
MA	Crustoso	Saxicola	CA2	2.38	137.86	44.00	11.00	2.23	0.88	0.93	12.49	81.50
MA	Fruticoso	Epifito	CA3	3.56	212.88	38.60	11.00	2.34	0.90	0.98	12.53	80.67
MA	Folioso	Epifito	CA4	4.45	254.33	27.60	9.00	2.01	0.85	0.91	12.64	78.00
MA	Folioso	Saxicola	CA5	5.69	284.15	51.60	11.00	2.09	0.85	0.87	12.64	78.00
MA	Crustoso	Saxicola	CHA1	4.07	204.06	46.00	11.00	2.19	0.87	0.91	12.41	83.25
MA	Crustoso	Saxicola	CHA2	3.80	217.64	44.00	11.00	2.23	0.88	0.93	12.49	81.50
MA	Fruticoso	Epifito	CHA3	5.80	279.89	38.60	11.00	2.34	0.90	0.98	12.53	80.67
MA	Folioso	Epifito	CHA4	4.99	254.88	27.60	9.00	2.01	0.85	0.91	12.64	78.00
MA	Folioso	Saxicola	CHA5	6.21	326.38	51.60	11.00	2.09	0.85	0.87	12.64	78.00
MA	Crustoso	Saxicola	TA1	5.36	266.11	93.20	12.00	2.00	0.83	0.80	9.58	167.67
MA	Folioso	Saxicola	TA2	2.74	148.24	56.40	11.00	2.28	0.89	0.95	9.93	156.67
MA	Folioso	Saxicola	TA3	2.17	117.59	85.00	12.00	2.18	0.86	0.88	10.53	138.50
MA	Folioso	Saxicola	TA4	3.87	222.31	58.00	11.00	2.25	0.88	0.94	10.86	128.00
MA	Fruticoso	Epifito	TA5	3.02	167.06	62.00	12.00	2.34	0.89	0.94	10.35	144.50

*Nota.* FC<sub>E</sub>= factor de respuesta tóxica de la estación; RE<sub>E</sub>=Riesgo ecológico de la estación; Abu= Abundancia; Riq= Riqueza, H=Índice de biodiversidad Shannon; D=Índice de biodiversidad de Simpson; J= Índice de biodiversidad de Pielou.

*c) Prueba de normalidad para el factor de respuesta tóxica ( $FC_E$ ), riesgo ecológico ( $RE_E$ ), índice de biodiversidad de Shannon ( $H'$ ), Simpson ( $D$ ) y Equidad de Pielou ( $J$ ) del ecosistema de matorral andino*

Para evaluar si los datos registrados para el factor de respuesta tóxica ( $FC$ ), riesgo ecológico ( $RE_E$ ), índice de biodiversidad de Shannon ( $H'$ ), Simpson ( $D$ ), Equidad de Pielou ( $J$ ), temperatura ( $^{\circ}C$ ) y precipitación (mm) del ecosistema de lomas costeras siguen una distribución normal se aplicó la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk ( $n < 50$ ), partiendo de los siguientes supuesto:

$H_0$  = Los datos registrados para el factor de contaminación, riesgo ecológico y los índices de biodiversidad siguen una distribución normal.

$H_1$  = Los datos registrados para el factor de contaminación, riesgo ecológico y los índices de biodiversidad no siguen una distribución normal.

En la Tabla 3-26, se observa los estadísticos de prueba y el valor p. En todos los casos para factor de contaminación, riesgo ecológico y los índices de biodiversidad. El valor p fue menor que 0.05, por el cual se rechazó la hipótesis nula ( $H_0$ ) y se aceptó la hipótesis alterna ( $H_1$ ) por lo que se concluye que nuestros datos no siguen una distribución normal y lo cual se aplicó la correlación de Spearman (prueba no paramétrica).

**Tabla 0-26.** Prueba de Shapiro-Wilk (normalidad) para el factor de respuesta tóxica ( $FC_E$ ), riesgo ecológico ( $RE_E$ ), índice de biodiversidad de Shannon ( $H'$ ), Simpson ( $D$ ), Equidad de Pielou ( $J$ ), temperatura ( $^{\circ}C$ ) y precipitación (mm)

Variables	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
FCE	0.956	25	0.337*
RIE	0.966	25	0.553*
Abu	0.886	25	0.009**
Riq	0.884	25	0.008**
H	0.866	25	0.004**
D	0.736	25	0.000***
J	0.808	25	0.000***
Temp	0.837	25	0.001***
Pre	0.820	25	0.000***

\*Valores  $p > 0.05$  (Aceptamos la Hipótesis Nula); \*\*Valores  $p < 0.05$  (Rechazamos la Hipótesis Nula de manera significativa); \*\*\*valores  $p < 0.01$  (Rechazamos la Hipótesis Nula de manera altamente Significativa).

*d) Análisis de correlación de Spearman entre el factor de respuesta tóxica ( $FC_E$ ), riesgo ecológico ( $RE_E$ ), índice de biodiversidad de Shannon ( $H'$ ), Simpson ( $D$ ), Equidad de Pielou ( $J$ ), temperatura ( $^{\circ}C$ ) y precipitación (mm).*

Una vez determinado aquellas variables que permiten definir si sigue una distribución normal se procedió a realizar la correlación de Spearman entre el factor de respuesta tóxica ( $FC_E$ ), riesgo ecológico ( $RE_E$ ), índice de biodiversidad de Shannon ( $H'$ ), Simpson ( $D$ ), Equidad de Pielou ( $J$ ), temperatura ( $^{\circ}C$ ) y precipitación (mm), para lo cual se planteó los siguientes supuestos:

**$H_0$** = No existe relación significativa entre el factor de respuesta tóxica ( $FC_E$ ), riesgo ecológico ( $RE_E$ ), índice de biodiversidad de Shannon ( $H'$ ), Simpson ( $D$ ), Equidad de Pielou ( $J$ ), temperatura ( $^{\circ}C$ ) y precipitación (mm).

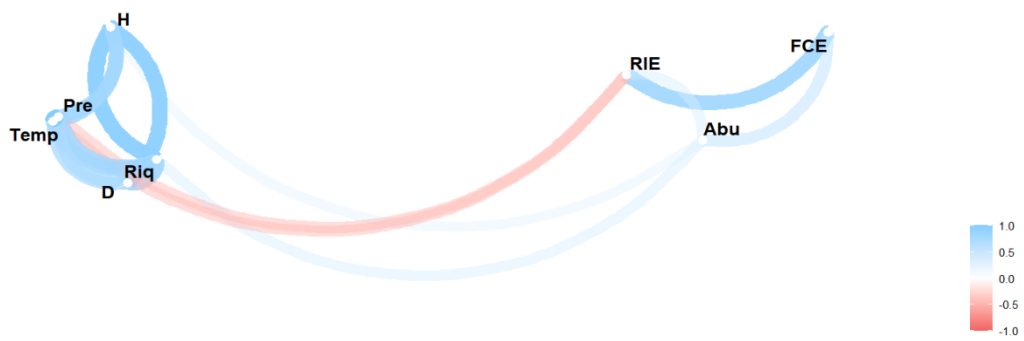
**$H_1$** = Existe relación significativa entre el factor de respuesta tóxica ( $FC_E$ ), riesgo ecológico ( $RE_E$ ), índice de biodiversidad de Shannon ( $H'$ ), Simpson ( $D$ ), Equidad de Pielou ( $J$ ), temperatura ( $^{\circ}C$ ) y precipitación (mm).

En la Tabla 3-24 y la Fig.3-33, se observan las medias, desviaciones estándar y las correlaciones con los intervalos de confianza para el factor de respuesta tóxica ( $FC_E$ ), riesgo ecológico ( $RE_E$ ), índice de biodiversidad de Shannon ( $H'$ ), Simpson ( $D$ ), Equidad de Pielou ( $J$ ), temperatura ( $^{\circ}C$ ) y precipitación (mm). Se evidencio que el factor de respuesta tóxica ( $FC_E$ ) con el riesgo ecológico ( $RE_E$ ) presentó una correlación alta positiva ( $r= 0.97$ ,  $p<0.01$ ); correlación baja negativa con la abundancia ( $Abu$ ) ( $r=-0.15$ ,  $p>0.05$ ); correlación baja negativa con la riqueza de especies ( $Riq$ ) ( $r=-0.19$ ,  $p>0.05$ ); correlación baja negativa con el índice de biodiversidad de Shannon ( $H'$ ) ( $r=-0.15$ ,  $p>0.05$ ); correlación despreciable negativa con el índice de biodiversidad de Simpson ( $D$ ) ( $r=-0.10$ ,  $p>0.05$ ); correlación despreciable negativa con el índice de equidad de Pielou ( $J$ ) ( $r=-0.03$ ,  $p>0.05$ ); correlación despreciable negativa con la temperatura ( $^{\circ}C$ ) ( $r=-0.05$ ,  $p>0.05$ ) y una correlación despreciable positiva con la precipitación (mm) ( $r=0.08$ ,  $p>0.05$ ). Así mismo el índice de riesgo ecológico ( $RE_E$ ) presentó una correlación baja negativa con la abundancia ( $Abu$ ) ( $r=-0.18$ ,  $p>0.05$ ); correlación baja negativa con la riqueza de especies ( $Riq$ ) ( $r=-0.18$ ,  $p>0.05$ ); correlación baja negativa con el índice de biodiversidad de Shannon ( $H'$ ) ( $r=-0.13$ ,  $p>0.05$ ); correlación despreciable negativa con el índice de biodiversidad de Simpson ( $D$ ) ( $r=-0.07$ ,  $p>0.05$ ); correlación despreciable negativa son con el índice de equidad de Pielou ( $J$ ) ( $r=-0.00$ ,  $p>0.05$ ); correlación despreciable negativa con la temperatura ( $^{\circ}C$ ) ( $r=-0.01$ ,  $p>0.05$ ) y una correlación baja positiva con la precipitación (mm) ( $r=0.4$ ,  $p>0.05$ ).

**Tabla 0-27.** Medias, desviaciones estándar y correlaciones con intervalos de confianza

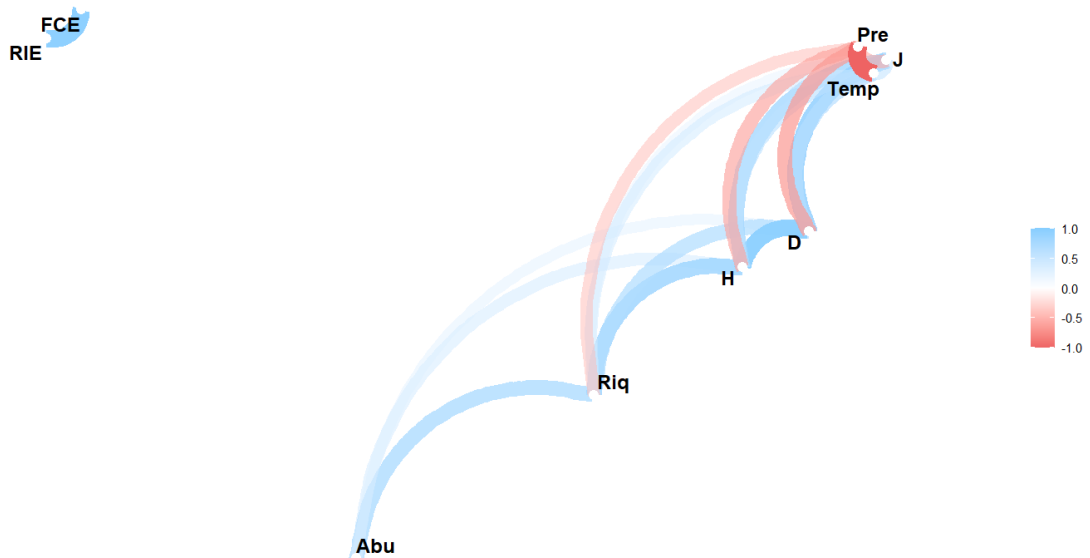
Variable	<i>M</i>	<i>SD</i>	1	2	3	4	5	6	7	8
1. FCE	4.18	1.20								
2. RIE	222.10	54.77	.97** [.94, .99]							
3. Abu	45.17	16.89	-.15 [-.51, .26]	-.18 [-.53, .23]						
4. Riq	9.76	1.74	-.19 [-.54, .22]	-.18 [-.54, .23]	.74** [.49, .88]					
5. H	2.04	0.26	-.15 [-.52, .26]	-.13 [-.50, .28]	.44* [.05, .71]	.83** [.64, .92]				
6. D	0.84	0.06	-.10 [-.48, .31]	-.07 [-.45, .33]	.34 [-.07, .65]	.69** [.40, .85]	.96** [.91, .98]			
7. J	0.90	0.07	-.03 [-.42, .37]	-.00 [-.40, .39]	-.02 [-.41, .38]	.31 [-.10, .63]	.78** [.56, .90]	.89** [.76, .95]		
8. Temp	10.78	1.89	-.05 [-.43, .35]	-.01 [-.40, .39]	-.05 [-.44, .35]	.45* [.07, .72]	.60** [.27, .80]	.66** [.36, .84]	.54** [.18, .77]	
9. Pre	133.83	59.55	.08 [-.33, .46]	.04 [-.36, .43]	.03 [-.37, .42]	-.46* [-.72, -.07]	-.61** [-.81, -.28]	-.67** [-.84, -.38]	-.55** [-.78, -.20]	-1.00** [-1.00, 1.00]

*Nota.* *M* y *SD* se utilizan para representar la media y la desviación estándar, respectivamente. Los valores entre corchetes indican el intervalo de confianza del 95% para cada correlación. El intervalo de confianza es un rango plausible de correlaciones poblacionales que podrían haber causado la correlación muestral (Cumming, 2014). \* Indica  $p < 0.05$ . \*\* indica  $p < 0.01$ . Correlación despreciable:  $r < |0.1|$ ; correlación baja:  $|0.1| < r \leq |0.3|$ ; correlación mediana:  $|0.3| < r \leq |0.5|$ ; correlación fuerte o alta:  $r > |0.5|$

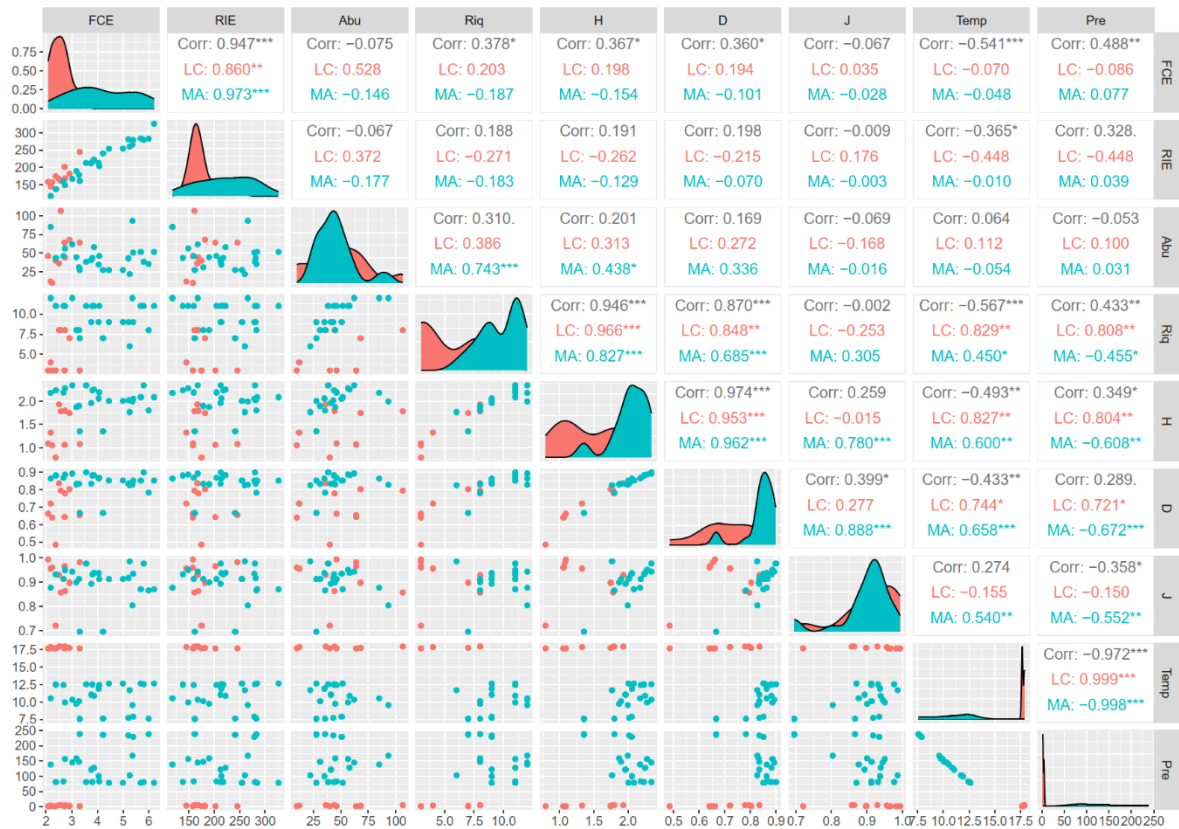


J

**Figura 0-34.** Agrupación y grado de correlación entre las variables factor de respuesta tóxica (FCE), riesgo ecológico (REE), índice de biodiversidad de Shannon ( $H'$ ), Simpson (D), Equidad de Pielou (J), temperatura ( $^{\circ}C$ ) y precipitación (mm) para el ecosistema de Lomas costeras.



**Figura 0-35.** Agrupación y grado de correlación entre las variables factor de respuesta tóxica (FCE), riesgo ecológico (REE), índice de biodiversidad de Shannon ( $H'$ ), Simpson (D), Equidad de Pielou (J), temperatura ( $^{\circ}C$ ) y precipitación (mm) para el ecosistema matorral andino.



**Figura 0-36.** Agrupación y grado de correlación entre las variables factor de respuesta tóxica (FCE), riesgo ecológico (REE), índice de biodiversidad de Shannon (H'), Simpson (D), Equidad de Pielou (J), temperatura (°C) y precipitación (mm) para los ecosistemas de lomas costeras y matorral andino.

### 3.2. Discusiones

#### 3.2.1. *Biodiversidad de líquenes presentes en las lomas de Amoquinto, Huacaluna, Tacahuay y zonas altoandinas de los distritos de Torata, Carumas.*

La presente investigación ofrece un detallado análisis de la diversidad y abundancia de líquenes en diferentes sectores, destacando patrones distintivos en sus ecosistemas (Lomas Costeras y Matorral Andino). Los resultados revelan variaciones significativas en la riqueza y abundancia de especies, así como en los índices de biodiversidad, evidenciando la complejidad y heterogeneidad de los ambientes estudiados.

El ecosistema de lomas costeras alberga un conjunto de 11 especies de líquenes, mientras que el matorral andino exhibe una diversidad aún mayor con 22 especies de líquenes. Es relevante destacar que no hay especies compartidas entre ambos ecosistemas, cada uno presenta especies exclusivas que contribuyen a su singularidad y diversidad específica. El número de especies de las lomas costeras en este estudio coincide con los reportados en las lomas de Aucallama (Castillo Pretel & Ramírez Ordaya, 2021), lomas de Lanchay (Astocaza et al., 2021) y lomas de Atiquipa (Delgado Manrique & Villegas Paredes, 2021). Por otro lado, la falta de investigaciones anteriores sobre líquenes en el ecosistema Matorral Andino en las áreas de estudio destaca la novedad de este estudio. Trabajos próximos a estos ecosistemas se tiene el trabajo de Arroyo Sánchez (2022), en el ecosistema de Montaña de la cordillera blanca Ancash, encontró 33 especies. Para el caso de Arequipa en el distrito de Pócsi, anexo de Tuctumpaya según (Ramos et al., 2103) registraron 34 especies. Ambos estudios según el mapa ecológico del Perú (INRENA, 1994), se ubica en la zona de vida matorral desértico montano subtropical (md-MS) mientras que el presente estudio las áreas de estudio se ubican en el desierto perárido Montano bajo subtropical (dp - MBS), desierto superárido Templado cálido (ds-Tc). Estas diferencias en la clasificación ecológica podrían influir en las variaciones observadas en la diversidad de líquenes. Es crucial considerar estas distinciones al interpretar y comparar los resultados, ya que las condiciones ecológicas específicas pueden influir significativamente en la distribución y diversidad de las especies de líquenes.

Otros factores cruciales a considerar son la contaminación y las actividades generadoras de elementos traza, especialmente las operaciones industriales. En las zonas de estudio, se observan actividades extractivas de minerales por parte de empresas como

AngloAmerican Quellaveco y Southern Copper Corporation (Cuajone y Toquepala). Estas actividades tienen el potencial de alterar la fisiología de las especies de líquenes, provocando una disminución en su tasa fotosintética y, como consecuencia, una reducción en la diversidad de especies. Este fenómeno ha sido documentado en investigaciones anteriores, como los estudios de Bajpai et al. (2010) en áreas cercanas a centrales térmicas y (Paoli et al., 2015) en áreas cercanas a incineradores de residuos sólidos. Estos trabajos subrayan la importancia de considerar la influencia de las actividades antropogénicas en la salud y diversidad de los líquenes, enfatizando la necesidad de implementar medidas de gestión ambiental para preservar estos ecosistemas. Según Ramos (2014), la lista de especies de líquenes y hongos liquenícolas para el Perú no tiene registros para la región de Moquegua, por lo que las especies identificadas en este estudio constituyen un nuevo aporte a la lista de líquenes para el país. Además, los primeros reportes en relación a la flora de Moquegua (Arakaki & Cano, 2003) y el primer informe de la flora de lomas peruanas (Dillon et al., 2011) no mencionan ninguna especie de líquenes para la región de Moquegua.

En términos de diversidad de especies, se observa que el sector de Tala sobresale con una amplia gama de especies, siendo las estaciones TA1 a TA5 particularmente con el mayor número de especies correspondiente al ecosistema Matorral Andino. Este fenómeno puede atribuirse a factores ambientales específicos en este sector, como la composición del sustrato y las condiciones climáticas, propio de los ecosistemas. En contraste, los sectores de Lomas Huacaluna y Charaque muestran la menor diversidad, indicando posiblemente condiciones menos propicias para el desarrollo de líquenes. En lo que respecta a las Lomas Costeras, diversos estudios (Delgado Manrique & Villegas Paredes, 2021; Gonzales et al., 2023; Moat et al., 2021; Talavera et al., 2017) indican que la biodiversidad y la productividad primaria neta de este ecosistema experimentan variaciones asociadas con la elevación, la aridez, la proximidad a la costa y el ángulo de la pendiente.

La clasificación taxonómica resalta la familia Parmeliaceae como la más diversa, mientras que Candelariaceae y Lecideaceae presentan la menor diversidad. Estos resultados coinciden con los reportado por (Arenas Parisuaña, 2021; Astocaza et al., 2021; Carmelo & Delgado, 2013) para el ecosistema de lomas costeras y (Arroyo Sánchez, 2022; Ramos et al., 2103). Este hallazgo proporciona información valiosa sobre la distribución taxonómica de los líquenes en los distintos sectores estudiados. Según González-Burgos et al. (2019) mencionan que *Parmeliaceae* (Lecanoromycetes, Ascomycota) es la familia más grande de

hongos formadores de líquenes, con 2800 especies (que representan 15% de todas las especies) agrupadas en alrededor de 80 géneros.

Los resultados de los tests de Kruskal-Wallis indican fuertes diferencias en la riqueza y abundancia de líquenes entre los sectores, respaldando la hipótesis de que estas variables son significativamente distintas en los ambientes analizados. Las comparaciones múltiples revelan específicamente los sectores que contribuyen más a estas diferencias, permitiendo una identificación más precisa de las disparidades observadas.

La presencia de especies dominantes, *Umbilicaria polyphylla*, *Acarospora xanthophana*, y *Calogaya saxicola*, varía entre los sectores, lo que sugiere adaptaciones específicas a las condiciones locales. Este aspecto es crucial para comprender las interacciones ecológicas y las estrategias de supervivencia de las especies en cada entorno.

Los índices de biodiversidad revelan patrones interesantes, con el sector de Tala destacándose con los mayores índices de Shannon y Simpson en el ecosistema matorral andino. En contraste, el sector de Lomas de Tacahuay sobresale en el ecosistema de lomas costeras. Las diferencias significativas entre algunos sectores, como Charaque y Lomas de Huacaluna, resaltan la importancia de considerar múltiples métricas para comprender la biodiversidad de líquenes de manera integral. La aplicación de técnicas de agrupación, como k-medias, permite identificar patrones de similitud entre los sectores. La formación de clústeres sugiere afinidades en la cobertura de especies entre ciertos sectores, mientras que la diferenciación de otros refleja la influencia de factores ambientales locales.

En resumen, este estudio proporciona una visión comprehensiva de la diversidad de líquenes en diferentes sectores, destacando la importancia de considerar tanto la riqueza como la abundancia de especies. Estos resultados no solo contribuyen al conocimiento de la ecología de líquenes en la región, sino que también pueden tener implicaciones para la conservación y gestión de estos ecosistemas

### ***3.2.2. Composición química de los elementos traza presente en los líquenes de las lomas de Amoquinto, Huacaluna, Tacahuay y zonas altoandinas de los distritos de Torata, Carumas.***

Los resultados obtenidos revelan patrones significativos en la bioacumulación de metales en líquenes, destacando diferencias notables entre los diversos sectores analizados.

Estos hallazgos tienen importantes implicaciones para comprender la calidad ambiental y la distribución de elementos traza en los ecosistemas estudiados.

En primer lugar, la concentración más elevada de elementos traza en el sector de Tacahuay, especialmente para Al, Cr, Fe, Hg, Ni, U, Pb, y Cd, sugiere una posible influencia de factores locales en la acumulación de estos metales. La presencia de estos elementos en niveles más altos puede estar relacionada con actividades antropogénicas o características geológicas específicas de la región. Por otro lado, la presencia exclusiva de Hg en los sectores de Altarani y en las lomas de Tacahuay - Huacaluna señala posibles fuentes específicas de contaminación en estos entornos. Hasta hace cinco años cercano a las lomas de Huacaluna y Tacahuay se desarrollaba la empresa Engie que generaba energía a través de la quema de carbón. La literatura científica menciona que las cenizas de carbón están compuestas principalmente por Si, Al, Ca, K, etc. y pueden contener elementos tóxicos como plomo (Pb), zinc (Zn), cadmio (Cd), níquel (Ni), arsénico (As), mercurio (Hg) y cobalto (Co), es decir, elementos tóxicos potenciales (PTE) y elementos traza tóxicos. Se ha informado que las centrales térmicas de carbón emiten 84 de 187 compuestos químicos clasificados como 'contaminantes atmosféricos peligrosos' (Vig et al., 2023) esto explicaría las concentraciones elevadas de los metales en el sector de Tacahuay – Huacaluna. En relación a la presencia de mercurio (Hg) en Altarani se deba a que en los líquenes proviene de un transporte histórico y actual a larga distancia y de patrones de emisión difusos, más que de una localización localizada de fuentes de contaminación (Klapstein et al., 2020) y por otro lado el sector de Altarani se encuentra próximo al depósito de desmonte y al tajo de explotación de la empresa AngloAmerican Quellaveco.

El patrón de enriquecimiento elemental en líquenes de lomas costeras, evidenciado en las Figuras 3-23 y 3-24, subraya la importancia de considerar la variabilidad geográfica al analizar la bioacumulación de elementos traza. Las diferencias significativas entre los ecosistemas de lomas costeras y matorral andino indican la influencia de las características específicas de cada entorno en la absorción de metales por parte de los líquenes. La destacada bioacumulación de metales por parte de la especie *Physcia eurupens*, en particular para As, Cu, Ni, Pb, U y Zn, sugiere que esta especie actúa como un bioindicador sensible a la presencia de estos elementos. Estos resultados resaltan la importancia de considerar la variabilidad intraespecífica al evaluar la bioacumulación de metales en líquenes y subrayan el potencial de *Physcia eurupens* como un indicador confiable de la contaminación

ambiental, frente a otras especies como *Usnea* spp. (Klapstein et al., 2020), monitoreas la dispersión de elementos traza de depósitos de minerales, en Nueva Escocia Canada. *Evernia prunastri*, biomonitor en áreas urbanas e industriales de Italia central (Massimi et al., 2019), *Xanthoria parietina* como biomonitor en una fundición de Cu, planta de fertilizantes fosfatados, una central eléctrica y refinerías de petróleo, Huelva ciudad altamente industrializada en el suroeste de España (Parviainen et al., 2019).

Los análisis de Box Plot en las Figuras 3-25 y 3-26 proporcionan una representación visual clara de las diferencias significativas en la bioacumulación de elementos entre especies. Estos hallazgos refuerzan la idea de que diferentes especies de líquenes responden de manera única a la presencia de elementos traza, lo que puede deberse a diferencias en la morfología, fisiología o estrategias de adaptación.

La agrupación de k-medias y la agrupación jerárquica revelan patrones de similitud y diferencia entre especies y metales traza en los diferentes sectores. La baja similitud del grupo de líquenes *Canoparmelia* sp., *Dirinaria applanata*, *Canoparmelia* sp.1, *Phaeophyscia* sp. y *Physcia eurupens* con los otros dos clusters, según el dendrograma de la Figura 3-32, destaca la heterogeneidad en la respuesta de estas especies a la bioacumulación de metales. De manera similar, la baja similitud del grupo de metales traza Mn, Cu, Fe, Al, Zn con los otros dos clusters, según el dendrograma de la Figura 3-33, sugiere que estos elementos comparten patrones similares de acumulación en los líquenes estudiados.

En resumen, estos resultados subrayan la complejidad de la interacción entre los líquenes y los elementos traza en diferentes entornos. La combinación de enfoques estadísticos y visuales proporciona una comprensión integral de la variabilidad en la bioacumulación de metales, contribuyendo así al conocimiento de la ecología de los líquenes y a la identificación de especies indicadoras de contaminación ambiental.

### ***3.2.3. Evaluación del índice del riesgo ecológico potencial (IRE) de los elementos traza presente en los ecosistemas de lomas Costeras (Lomas de Huacaluna y Tacahuay) y matorral Andino (Calientes, Alto Coscore, Charaque, Altarani, Tala).***

Los resultados derivados del análisis de factores de contaminación (FCx) y valores de grado de contaminación (GC) proporcionan una visión esclarecedora sobre el estado ambiental en dos ecosistemas cruciales: las lomas costeras y el matorral andino. A

continuación, se presenta una discusión más detallada de cada hallazgo, profundizando en la relevancia e implicaciones de los resultados obtenidos.

Lomas Costeras:

*Contaminación en Lomas de Huacaluna:*

El énfasis en la "contaminación considerable" en el sector LH5 de las Lomas de Huacaluna (FCLH5=3.30) revela una concentración alarmante de agentes contaminantes en esta área específica, superando notoriamente a las demás estaciones. Esta discrepancia resalta la heterogeneidad en la distribución de la contaminación en estas lomas. El análisis global (GC=12.73) confirma un grado acumulado de contaminación que exige medidas inmediatas de mitigación.

*Contaminación en Lomas de Tacahuay:*

Aunque los cinco sectores presentan un nivel de "contaminación moderada" ( $1 < \text{FCLT} < 3$ ), la síntesis de estos datos indica un grado general de "contaminación considerable" en el ecosistema de Tacahuay (GC=12.90). Este descubrimiento apunta a la necesidad de políticas ambientales específicas para mantener la calidad del ecosistema en esta región.

La identificación de un grado de "contaminación muy alta" (GC=25.63) en las lomas costeras de Moquegua es particularmente preocupante. Este resultado sugiere la existencia de fuentes de contaminación significativas que requieren una evaluación exhaustiva y acciones correctivas urgentes.

*Riesgo ecológico en Lomas de Huacaluna:*

Las estaciones LH1, LH2 y LH3 exhiben un "alto riesgo ecológico considerable", señalando áreas específicas de vulnerabilidad en las Lomas de Huacaluna. Este riesgo se refuerza con un índice de riesgo ecológico potencial (IRE=188), indicando la necesidad de estrategias de conservación focalizadas.

*Riesgo en Lomas de Tacahuay:*

Similar al caso anterior, las estaciones LT1, LT2, LT3 y LT5 presentan un "alto riesgo ecológico considerable" con un IRE=164. Estos resultados sugieren que la salud ecológica de las Lomas de Tacahuay enfrenta amenazas significativas, justificando intervenciones de conservación inmediatas.

El índice de riesgo ecológico potencial elevado (IRE=352) en las lomas costeras refleja un "Riesgo muy alto". Este hallazgo subraya la urgencia de acciones correctivas y estrategias de manejo que aborden las fuentes específicas de riesgo identificadas.

Matorral Andino:

*Contaminación en Altarani y Alto Coscore:*

La uniformidad de la "contaminación muy alta" en Altarani y Alto Coscore sugiere patrones similares en la concentración de contaminantes en estas áreas. La consideración de medidas de control integradas es crucial para revertir esta tendencia negativa.

*Contaminación en Calientes, Charaque y Tala:*

La variabilidad en los niveles de contaminación en estas áreas destaca la necesidad de enfoques más específicos. La distinción entre "contaminación moderada" y "contaminación alta" subraya la complejidad ambiental en estas regiones y la necesidad de estrategias adaptativas.

Riesgo Ecológico en Matorral Andino:

*Riesgo en Altarani:*

Las estaciones AL1, AL2 y AL3 presentan un "riesgo muy alto", indicando un peligro inminente para la biodiversidad en esta área. El IRE respalda estos hallazgos, subrayando la crítica situación que enfrenta el sector de Altarani, que va asociado a su cercanía a las actividades de la minera AngloAmerican Quellaveco..

*Riesgo en Calientes y Charaque:*

Ambos sectores muestran un "riesgo ecológico considerable", enfatizando la necesidad de estrategias adaptativas y restaurativas. La variabilidad en las estaciones destaca la complejidad local que debe ser abordada en futuras intervenciones.

*Riesgo en Tala:*

La diversidad en los niveles de riesgo en las estaciones de Tala destaca la complejidad de los factores locales. Estrategias de gestión que consideren esta variabilidad son cruciales para garantizar la eficacia a largo plazo.

En resumen, estos resultados subrayan la urgencia de intervenciones específicas en áreas de alto riesgo ecológico y contaminación. La implementación de estrategias de mitigación y

restauración debe adaptarse a las características únicas de cada región, considerando factores geográficos y antropogénicos. Futuras investigaciones podrían centrarse en identificar las fuentes específicas de contaminación y riesgo ecológico, permitiendo un enfoque más preciso para la gestión ambiental.

### ***3.2.4. Correlación del factor de respuesta tóxica (FC), riesgo ecológico (REE) con el índice de biodiversidad de Shannon (H'), Simpson (D) y Equidad de Pielou (J).***

Los resultados obtenidos en este estudio proporcionan una visión detallada de las interacciones entre el Factor de Respuesta Tóxica (FCE), el Riesgo Ecológico (REE) y diversos índices de biodiversidad en dos ecosistemas cruciales: lomas costeras y matorral andino. La discusión de estos resultados nos permite comprender mejor las complejidades y la dinámica de estos ecosistemas particulares.

#### *Relación entre Toxicidad y Riesgo Ecológico:*

En ambos ecosistemas, se observó una correlación positiva significativa entre el FCE y el REE, destacando la estrecha vinculación entre la respuesta tóxica y el riesgo ambiental. Este hallazgo resalta la importancia de considerar no solo la presencia de contaminantes, sino también su impacto potencial en la salud general del ecosistema. La correlación altamente positiva indica que a medida que aumenta la toxicidad, también lo hace el riesgo ecológico, subrayando la necesidad de estrategias de gestión ambiental que aborden simultáneamente estos dos factores.

#### *Impacto en la Biodiversidad:*

Las correlaciones con los índices de biodiversidad proporcionan una perspectiva valiosa sobre cómo la toxicidad y el riesgo ecológico pueden afectar la estructura y la salud de la comunidad biológica en estos ecosistemas.

En el caso de las lomas costeras, se observaron correlaciones positivas moderadas entre el FCE y la abundancia, así como correlaciones bajas pero positivas con la riqueza de especies, el índice de biodiversidad de Shannon y el índice de biodiversidad de Simpson. Estas asociaciones sugieren que, a medida que aumenta la toxicidad, algunas especies pueden verse favorecidas en términos de abundancia, mientras que la diversidad y la equidad de

especies pueden experimentar impactos más modestos. Estos resultados indican posibles efectos selectivos de la toxicidad en la composición de la comunidad.

En el matorral andino, las correlaciones fueron más pronunciadas. La fuerte correlación positiva entre el FCE y el REE indica que la toxicidad está directamente relacionada con el riesgo ecológico en este ecosistema. Además, las correlaciones negativas con la abundancia, la riqueza de especies y los índices de biodiversidad de Shannon y Simpson sugieren que la toxicidad puede estar asociada con una disminución en la diversidad y la presencia de ciertas especies. Este patrón puede indicar que el matorral andino es más vulnerable a los impactos negativos de la toxicidad.

#### *Influencia del Clima:*

Las correlaciones con factores climáticos, como la temperatura y la precipitación, también son aspectos fundamentales de la discusión. En ambos ecosistemas, se observaron correlaciones despreciables con estos factores, lo que indica que la toxicidad y el riesgo ecológico no están directamente influenciados por las condiciones climáticas medidas en este estudio. Sin embargo, estas correlaciones podrían ser más complejas y requerir un análisis más detallado en futuras investigaciones.

#### *Implicaciones para la Conservación y la Gestión Ambiental:*

Los resultados de este estudio tienen importantes implicaciones para la conservación y la gestión ambiental en lomas costeras y matorral andino. La estrecha relación entre toxicidad y riesgo ecológico destaca la importancia de evaluar y gestionar estos dos factores de manera conjunta. Además, las correlaciones con la biodiversidad subrayan la necesidad de estrategias de conservación adaptativas que consideren no solo la presencia de contaminantes, sino también su impacto específico en la composición y la salud de las comunidades biológicas.

#### *Limitaciones y Futuras Direcciones:*

Es fundamental reconocer las limitaciones de este estudio. Se necesitan investigaciones adicionales para comprender mejor las causas subyacentes de las correlaciones observadas y su variabilidad en diferentes contextos. Además, la inclusión de más variables ambientales

y el monitoreo a largo plazo podrían proporcionar una comprensión más completa de las dinámicas ecológicas en estos ecosistemas.

En resumen, este estudio destaca la complejidad de las interacciones entre la toxicidad, el riesgo ecológico y la biodiversidad en lomas costeras y matorral andino. Estos resultados ofrecen una base sólida para futuras investigaciones y acciones de conservación dirigidas a mantener la salud y la diversidad de estos ecosistemas únicos en un mundo en constante cambio.



## CONCLUSIONES

**PRIMERO:** En conclusión, los resultados de este estudio revelan una diversidad significativa de líquenes en la región de estudio, con un total de 267 especímenes de líquenes distribuidos en 33 especies, 19 géneros, 8 familias, 7 órdenes y 2 clases. El sector de Tala y Calientes, emergen como áreas de especial riqueza y abundancia de especies. En cada ecosistema estudiado, distintas especies de líquenes sobresalen por su frecuencia y cobertura. En el ecosistema altoandino, se destacan especies como *Umbilicaria polyphylla*, *Calogaya saxicola*, *Candelaria concolor* y *Psiloparmelia distincta*. Por otro lado, en el ecosistema de lomas costeras, resaltan *Canoparmelia texana* y *Flavopunctelia sp.* La detección de diferencias estadísticas significativas en los índices de biodiversidad de Shannon y Simpson entre los sectores de Charaque, Calientes y Lomas de Huacaluna subraya la variabilidad ecológica en estos ambientes, lo que resalta la importancia de considerar la diversidad de líquenes como indicador de funcionalidad en estos ecosistemas. Estos hallazgos proporcionan una base sólida para futuras investigaciones y acciones de conservación dirigidas a preservar la biodiversidad en estas áreas específicas.

**SEGUNDO:** En conclusión, los hallazgos derivados de los ecosistemas de lomas costeras y matorral andino ofrecen una visión detallada sobre la distribución de elementos traza y la bioacumulación. En relación con el ecosistema de lomas costeras, el sector de Tacahuay muestra las concentraciones más altas de elementos traza, tales como Al, Cr, Fe, Hg, Ni, Pb y U. Por otro lado, el sector de Huaca Luna destaca por tener concentraciones elevadas de Cd y Mn. En cuanto a la bioacumulación, se observa que *Physcia eurupens* presenta niveles significativos de As, Cu, Ni, Pb, U y Zn. En el ecosistema de matorral andino, el sector de Altarani se distingue por presentar concentraciones elevadas de Cu y Zn, mientras que en Calientes se exhibe la mayor presencia de As. La bioacumulación varía entre las especies, destacando *Calogaya saxicola* por su acumulación de As y Cr, *Squamulea subsoluta* por Al, Fe y Pb, *Placomaronea mendozae* por Mn, *Squamulea squamosa* por Cd, *Scutaria andina* por Zn, y *Psiloparmelia subcrustosa* por Cu. Estos resultados

proporcionan una comprensión valiosa de la distribución y acumulación de elementos traza en diferentes entornos, lo que contribuye significativamente al conocimiento de la ecología y la calidad ambiental.

**TERCERO:** En conclusión, los hallazgos resaltan la urgencia de abordar la situación de contaminación en los ecosistemas de lomas costeras y matorral andino en la región estudiada. El ecosistema de lomas costeras presenta un nivel crítico de "contaminación muy alta" y un consiguiente "riesgo muy alto", indicando una situación ambiental alarmante. Por otro lado, en el ecosistema de matorral andino, específicamente en los sectores de Charaque y Altarani, se evidencia un grado preocupante de "contaminación muy alta" y un correspondiente "riesgo considerable" en todas las áreas evaluadas. Estos resultados subrayan la necesidad de implementar medidas de mitigación y políticas ambientales efectivas para preservar la salud de estos ecosistemas, garantizando así la sostenibilidad a largo plazo y la conservación de la biodiversidad en la región.

**CUARTO:** En conclusión, los resultados revelan patrones significativos en las correlaciones entre el factor de respuesta tóxica (FCE), el riesgo ecológico (REE) y diversas variables ecológicas en los ecosistemas de lomas costeras y matorral andino. En las lomas costeras, se destaca una fuerte asociación positiva entre el FCE y el REE, indicando una alta sensibilidad al riesgo ecológico, especialmente en relación con la abundancia. No obstante, la baja correlación con la riqueza de especies y otros índices de biodiversidad sugiere una relación indirecta con la diversidad específica. En el matorral andino, la correlación positiva entre el FCE y el REE es aún más marcada, indicando una alta coherencia entre la respuesta tóxica y el riesgo ecológico. Aunque se observan correlaciones negativas bajas con la abundancia, la riqueza de especies y los índices de biodiversidad, estas asociaciones son despreciables, resaltando la complejidad de las interacciones en este entorno. La baja correlación con factores climáticos sugiere que las condiciones ambientales locales pueden tener un impacto menor en comparación con los efectos tóxicos. Estos hallazgos resaltan la importancia de considerar no solo la presencia de elementos tóxicos, sino también sus efectos en las comunidades biológicas,

destacando la necesidad de enfoques integrados para evaluar y gestionar los riesgos ecológicos en estos frágiles ecosistemas andinos.



## RECOMENDACIONES

- Basándonos en los resultados obtenidos, se recomienda implementar medidas de conservación y gestión específicas para los sectores identificados como ricos en biodiversidad, como el sector de Tala y la familia Parmeliaceae. Dada la importancia de estos ambientes, se sugiere establecer programas de monitoreo continuo para evaluar cambios en la diversidad de líquenes y detectar posibles impactos ambientales. En resumen, las recomendaciones se centran en la implementación de acciones concretas orientadas a la conservación, el monitoreo continuo y la promoción de prácticas sostenibles, con el objetivo de salvaguardar la riqueza biológica de los líquenes en la región de estudio.
- Monitoreo continuo: Se sugiere establecer programas de monitoreo a largo plazo en los ecosistemas identificados, especialmente en Tacahuay y Huaca Luna, para evaluar cambios en las concentraciones de elementos traza y bioacumulación a lo largo del tiempo. Esto permitirá una comprensión más completa de las dinámicas ambientales y la capacidad de respuesta de los líquenes a posibles cambios en las fuentes de contaminación.
- Evaluación específica de especies: Dada la variabilidad en la capacidad de bioacumulación entre especies de líquenes, se recomienda realizar investigaciones adicionales para comprender las características específicas de cada especie en relación con la acumulación de elementos traza. Esto podría proporcionar información clave para identificar bioindicadores más precisos y sensibles a la contaminación.
- Concienciación y educación ambiental: Es esencial implementar programas de concienciación y educación ambiental en las comunidades locales, destacando la importancia de la biodiversidad y la influencia de las actividades humanas en los ecosistemas circundantes. Esto puede fomentar prácticas sostenibles y la participación activa de la comunidad en la conservación del entorno.
- Aplicación de prácticas sostenibles: En áreas identificadas con concentraciones elevadas de elementos traza, se recomienda implementar medidas para reducir la contaminación, como regulaciones ambientales más estrictas y prácticas sostenibles en actividades industriales y mineras cercanas. Esto contribuirá a mitigar los impactos negativos en la calidad del aire y la salud de los ecosistemas locales.

**BIBLIOGRAFÍA**

- Abdulmanova, S. U., & Ektova, S. N. (2015). Variations in the growth rate of Cladonia lichens during long-term postfire successions in the north of West Siberia. *Contemporary Problems of Ecology*, 8(3), 326–336. <https://doi.org/10.1134/S1995425515030026>
- Abraham, J., Dowling, K., & Florentine, S. (2018). Assessment of potentially toxic metal contamination in the soils of a legacy mine site in Central Victoria, Australia. *Chemosphere*, 192, 122–132. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.10.150>
- Alizadeh-Choobari, O., Bidokhti, A. A., Ghafarian, P., & Najafi, M. S. (2016). Temporal and spatial variations of particulate matter and gaseous pollutants in the urban area of Tehran. *Atmospheric Environment*, 141, 443–453. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.07.003>
- Allen, J. L., & Lendemer, J. C. (2022). A call to reconceptualize lichen symbioses. In *Trends in Ecology and Evolution* (Vol. 37, Issue 7, pp. 582–589). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2022.03.004>
- Ametrano, C. G., Lumbsch, H. T., Di Stefano, I., Sangvichien, E., Muggia, L., & Grewe, F. (2022). Should we hail the Red King? Evolutionary consequences of a mutualistic lifestyle in genomes of lichenized ascomycetes. *Ecology and Evolution*, 12(1). <https://doi.org/10.1002/ece3.8471>
- Anderson, J., Lévesque, N., Caron, F., Beckett, P., & Spiers, G. A. (2022a). A review on the use of lichens as a biomonitoring tool for environmental radioactivity. In *Journal of Environmental Radioactivity* (Vol. 243). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2021.106797>
- Anderson, J., Lévesque, N., Caron, F., Beckett, P., & Spiers, G. A. (2022b). A review on the use of lichens as a biomonitoring tool for environmental radioactivity. In *Journal of Environmental Radioactivity* (Vol. 243). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2021.106797>
- Aragón, G., Martínez, I., Hurtado, P., Benítez, Á., Rodríguez, C., & Prieto, M. (2019). Using growth forms to predict epiphytic lichen abundance in a wide variety of forest types. *Diversity*, 11(4). <https://doi.org/10.3390/d11040051>

- Arakaki, M., & Cano, A. (2003). Composición florística de la cuenca del río Ilo-Moquegua y Lomas de Ilo, Moquegua, Perú. *Revista Peruana de Biología*, 10(1), 5–19.
- Arenas Parisuaña, J. L. (2021). LIQUENOBIOTA DE LA LOMA DE TACAHUAY, TACNA, PERÚ. In Á. M. Ramírez Ordaya (Ed.), *IV CONGRESO NACIONAL DE LIQUENOLOGÍA DEL PERÚ I CONGRESO NACIONAL DE LOMAS* (pp. 128–132).
- Armstrong, R. A. (2015a). Lichen growth and lichenometry. In *Recent Advances in Lichenology: Modern Methods and Approaches in Biomonitoring and Bioprospection, Volume 1* (pp. 213–228). Springer India. [https://doi.org/10.1007/978-81-322-2181-4\\_10](https://doi.org/10.1007/978-81-322-2181-4_10)
- Armstrong, R. A. (2015b). Lichen growth and lichenometry. In *Recent Advances in Lichenology: Modern Methods and Approaches in Biomonitoring and Bioprospection, Volume 1* (pp. 213–228). Springer India. [https://doi.org/10.1007/978-81-322-2181-4\\_10](https://doi.org/10.1007/978-81-322-2181-4_10)
- Arroyo Sánchez, J. A. (2022). *LOS LÍQUENES COMO BIOINDICADORES DE PRESENCIA DE METALES PESADOS EN ECOSISTEMAS DE MONTAÑA: EXPERIENCIA EN LA CORDILLERA BLANCA, ANCASH-PERÚ* [Universidad Nacional Agraria La Molina]. <https://repositorio.inaigem.gob.pe/items/24203ef3-99d2-4f5f-858e-6bea3ee2458a>
- Asplund, J., & Wardle, D. A. (2017). How lichens impact on terrestrial community and ecosystem properties. *Biological Reviews*, 92(3), 1720–1738. <https://doi.org/10.1111/brv.12305>
- Astocaza, M. A. A., Ramos Méndez, D. C., La Rosa Uribe, M. W., & Niño de Guzmán Sotomayor, P. (2021). DIVERSIDAD DE LÍQUENES ASOCIADOS A *Vasconcellea candicans* (A. GRAY) A. DC (MITO) EN LA RESERVA NACIONAL DE LACHAY, LIMA, PERÚ. In Á. M. Ramírez Ordaya (Ed.), *IV CONGRESO NACIONAL DE LIQUENOLOGÍA DEL PERÚ I CONGRESO NACIONAL DE LOMAS* (pp. 106–114).
- Aubert, S., Juge, C., Boisson, A. M., Gout, E., & Bligny, R. (2007). Metabolic processes sustaining the reviviscence of lichen *Xanthoria elegans* (Link) in high mountain environments. *Planta*, 226(5), 1287–1297. <https://doi.org/10.1007/s00425-007-0563-6>

- Bačkor, M., & Fahselt, D. (2004). Physiological attributes of the lichen *Cladonia pleurota* in heavy metal-rich and control sites near Sudbury (Ont., Canada). *Environmental and Experimental Botany*, 52(2), 149–159. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2004.01.014>
- Bačkor, M., & Loppi, S. (2009a). Interactions of lichens with heavy metals. In *BIOLOGIA PLANTARUM* (Vol. 53, Issue 2).
- Bačkor, M., & Loppi, S. (2009b). Interactions of lichens with heavy metals. In *BIOLOGIA PLANTARUM* (Vol. 53, Issue 2).
- Bajpai, R., Upreti, D. K., Nayaka, S., & Kumari, B. (2010). Biodiversity, bioaccumulation and physiological changes in lichens growing in the vicinity of coal-based thermal power plant of Raebareli district, north India. *Journal of Hazardous Materials*, 174(1–3), 429–436. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.09.071>
- Banerjee, A., Sarkar, P., & Banerjee, S. (2016). Application of statistical design of experiments for optimization of As(V) biosorption by immobilized bacterial biomass. *Ecological Engineering*, 86, 13–23. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2015.10.015>
- Bargagli, R. (2016). Moss and lichen biomonitoring of atmospheric mercury: A review. In *Science of the Total Environment* (Vol. 572, pp. 216–231). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.07.202>
- Barnaba, F., Alvan Romero, N., Bolignano, A., Basart, S., Renzi, M., & Stafoggia, M. (2022). Multiannual assessment of the desert dust impact on air quality in Italy combining PM10 data with physics-based and geostatistical models. *Environment International*, 163, 107204. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2022.107204>
- Bennett, J. W., Hung, R., Lee, S., & Padhi, S. (n.d.). *8 Fungal and Bacterial Volatile Organic Compounds: An Overview and Their Role as Ecological Signaling Agents*.
- Bezuidenhout, H., Bredenkamp, G. J., Theron, G. K., & Morrissett, J. W. (1994). A Braun-Blanquet reclassification of the Bankenveld Grassland in the Lichtenburg area, southwestern Transvaal. In *S. Afr. J. Bot* (Vol. 60, Issue 6).
- Bhainsa, K. C., & D'Souza, S. F. (2009). Thorium biosorption by *Aspergillus fumigatus*, a filamentous fungal biomass. *Journal of Hazardous Materials*, 165(1–3), 670–676. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.10.033>

- Bhakta, S., Rout, T. K., Karmakar, D., Pawar, C., & Padhy, P. K. (2022). Trace elements and their potential risk assessment on polar ecosystem of Larsemann Hills, East Antarctica. *Polar Science*, 31. <https://doi.org/10.1016/j.polar.2022.100788>
- Bierman-Lytle, P. W. (2015). Climate change impact on high-altitude ecosystems and their impact on human communities: Case study: San bernardino mountains and urban communities interface: Historical, contemporary, and future. In *Climate Change Impacts on High-Altitude Ecosystems* (pp. 289–341). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-12859-7\\_12](https://doi.org/10.1007/978-3-319-12859-7_12)
- Birke, M., Rauch, U., & Hofmann, F. (2018). Tree bark as a bioindicator of air pollution in the city of Stassfurt, Saxony-Anhalt, Germany. *Journal of Geochemical Exploration*, 187, 97–117. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2017.09.007>
- Blaha, J., Baloch, E., & Grube, M. (2006). High photobiont diversity associated with the euryoecious lichen-forming ascomycete *Lecanora rupicola* (Lecanoraceae, Ascomycota). In *Biological Journal of the Linnean Society* (Vol. 88). <https://academic.oup.com/biolinnean/article/88/2/283/2691652>
- Boustie, J., & Herbet, G. (2015). Analysis of lichen metabolites, a variety of approaches. In *Recent Advances in Lichenology: Modern Methods and Approaches in Biomonitoring and Bioprospection, Volume 1* (pp. 229–261). Springer India. [https://doi.org/10.1007/978-81-322-2181-4\\_11](https://doi.org/10.1007/978-81-322-2181-4_11)
- Branquinho, C., Catarino, F., Brown, D. H., Pereira, M. J., & Soares, A. (1999). Improving the use of lichens as biomonitors of atmospheric metal pollution. In *The Science of the Total Environment* (Vol. 232).
- Brück, S. A., Amán, K. T., Buitrón, P. B., Paredes, W. P., Quituizaca, P. R., & de Lourdes Teixeira de Moraes Polizeli, M. (2023). Potential impacts of seasonal and altitudinal changes on enzymatic peat decomposition in the High Andean Paramo region of Ecuador. *Science of the Total Environment*, 890. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.164365>
- Calvo, A. I., Alves, C., Castro, A., Pont, V., Vicente, A. M., & Fraile, R. (2013). Research on aerosol sources and chemical composition: Past, current and emerging issues. In

*Atmospheric Research* (Vols. 120–121, pp. 1–28).  
<https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2012.09.021>

Cardinale, M., Vieira De Castro, J., Müller, H., Berg, G., & Grube, M. (2008). In situ analysis of the bacterial community associated with the reindeer lichen *Cladonia arbuscula* reveals predominance of Alphaproteobacteria. *FEMS Microbiology Ecology*, 66(1), 63–71. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6941.2008.00546.x>

Carmelo, B., & Delgado, T. (2013). *Lomas de Atiquipa*. [https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.minam.gob.pe%2Fdiadiversidad%2Fwp-content%2Fuploads%2Fsites%2F63%2F2015%2F01%2Fresumen3.pdf&psig=A0vVaw3sH87XBMeuFIPuwSgKz7YC&ust=1671014700244000&source=images&cd=vfe&ved=2ahUKEwj\\_9p\\_-tPb7AhU2vpUCHZQRA\\_EQr4kDegUIARDGAQ](https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.minam.gob.pe%2Fdiadiversidad%2Fwp-content%2Fuploads%2Fsites%2F63%2F2015%2F01%2Fresumen3.pdf&psig=A0vVaw3sH87XBMeuFIPuwSgKz7YC&ust=1671014700244000&source=images&cd=vfe&ved=2ahUKEwj_9p_-tPb7AhU2vpUCHZQRA_EQr4kDegUIARDGAQ)

Carr, E. C., Harris, S. D., Herr, J. R., & Riekhof, W. R. (2021). Lichens and biofilms: Common collective growth imparts similar developmental strategies. In *Algal Research* (Vol. 54). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2021.102217>

Casano, L. M., Braga, M. R., Álvarez, R., del Campo, E. M., & Barreno, E. (2015). Differences in the cell walls and extracellular polymers of the two *Trebouxia* microalgae coexisting in the lichen *Ramalina farinacea* are consistent with their distinct capacity to immobilize extracellular Pb. *Plant Science*, 236, 195–204. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2015.04.003>

Casano, L. M., Del Campo, E. M., García-Breijo, F. J., Reig-Armiñana, J., Gasulla, F., Del Hoyo, A., Guéra, A., & Barreno, E. (2011). Two *Trebouxia* algae with different physiological performances are ever-present in lichen thalli of *Ramalina farinacea*. Coexistence versus Competition? *Environmental Microbiology*, 13(3), 806–818. <https://doi.org/10.1111/j.1462-2920.2010.02386.x>

Castillo Pretel, R., & Ramírez Ordaya, Á. M. (2021). LIQUENOBIOTA, FLORA Y FAUNA DE LA LOMA DE AUCALLAMA, LIMA, PERÚ. In Á. M. Ramírez Ordaya (Ed.), *IV CONGRESO NACIONAL DE LIQUENOLOGÍA DEL PERÚ I CONGRESO NACIONAL DE LOMAS* (pp. 95–105).

- Caughlan, L., & Oakley, K. L. (2001). Cost considerations for long-term ecological monitoring. In *Ecological Indicators* (Vol. 1).
- Ccancapa-Cartagena, A., Chavez-Gonzales, F. D., Paredes, B., Vera, C., Gutierrez, G., Valencia, R., Lucia Paz Alcázar, A., Zyaykina, N. N., Filley, T. R., & Jafvert, C. T. (2023). Seasonal differences in trace metal concentrations in the major rivers of the hyper-arid southwestern Andes basins of Peru. *Journal of Environmental Management*, 344. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118493>
- Conti, M. E., & Tudino, M. B. (2016). Lichens as Biomonitors of Heavy-Metal Pollution. *Comprehensive Analytical Chemistry*, 73, 117–145. <https://doi.org/10.1016/bs.coac.2016.02.005>
- Correa, A., Forero, J., Marco Renau, J., Lizarazo, I., Mulligan, M., & Codato, D. (2023). Advancing spatial decision-making in a transboundary catchment through multidimensional ecosystem services assessment. *Ecosystem Services*, 64. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2023.101554>
- Daillant, O., Boilley, D., Gerzabek, M., Porstendörfer, J., Porstendörfer, P., & Tesch, R. (2004). Metabolised Tritium and Radiocarbon in Lichens and Their Use as Biomonitors. In *Journal of Atmospheric Chemistry* (Vol. 49). Kluwer Academic Publishers.
- de La Cruz, A. R. H., de La Cruz, J. K. H., Tolentino, D. A., & Gioda, A. (2018). Trace element biomonitoring in the Peruvian andes metropolitan region using *Flavoparmelia caperata* lichen. *Chemosphere*, 210, 849–858. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.07.013>
- De La Cruz, A. R. H., De La Cruz, J. K. H., Tolentino, D. A., & Gioda, A. (2018). Trace element biomonitoring in the Peruvian andes metropolitan region using *Flavoparmelia caperata* lichen. *Chemosphere*, 210, 849–858. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.07.013>
- de Vasconcelos, T. L., de Oliveira, A. K., Pereira, E. C., da Silva, N. H., Vicente, C., & Legaz, M. E. (2015). The lichen *Cladonia verticillaris* retains and modifies mineral soil particles inside the thallus. *Catena*, 135, 70–77. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2015.07.002>

- Delgado Manrique, F. A., & Villegas Paredes, L. N. (2021). DIVERSIDAD DE LÍQUENES EN LA QUEBRADA DEL PUEBLO, LOMAS DE ATIQUIPA, PROVINCIA DE CARAVELI, DE AREQUIPA, PERÚ, 2008. In Á. M. Ramírez Ordaya (Ed.), *IV CONGRESO NACIONAL DE LIQUENOLOGÍA DEL PERÚ I CONGRESO NACIONAL DE LOMAS* (pp. 115–127).
- Dillon, M. O., Leiva González, S., Zapata Cruz, M., Asencio, P. L., & Silvestre, V. Q. (2011). Floristic Checklist of the Peruvian Lomas Formations Lomas peruanas. *Arnaldoa*, 8(1), 7–32.
- Dörter, M., Karadeniz, H., Saklangıç, U., & Yenisoy-Karakaş, S. (2020). The use of passive lichen biomonitors in combination with positive matrix factor analysis and stable isotopic ratios to assess the metal pollution sources in throughfall deposition of Bolu plain, Turkey. *Ecological Indicators*, 113. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106212>
- Duran-Nebreda, S., & Valverde, S. (2023). Composition, structure and robustness of Lichen guilds. *Scientific Reports*, 13(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-30357-w>
- Elix, J. A., & Stocker-Wörgötter, E. (2008). Biochemistry and secondary metabolites. In *Lichen Biology, Second Edition* (pp. 104–133). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511790478.008>
- Ferreira, S. L. C., da Silva, J. B., dos Santos, I. F., de Oliveira, O. M. C., Cerda, V., & Queiroz, A. F. S. (2022). Use of pollution indices and ecological risk in the assessment of contamination from chemical elements in soils and sediments – Practical aspects. In *Trends in Environmental Analytical Chemistry* (Vol. 35). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.teac.2022.e00169>
- Forbes, P. B. C., van der Wat, L., & Kroukamp, E. M. (2015). Biomonitors. *Comprehensive Analytical Chemistry*, 70, 53–108. <https://doi.org/10.1016/bs.coac.2015.09.003>
- Fortuna, L., Adami, G., Princivalle, F., & Tretiach, M. (2021). New insight on element bioaccumulation performance of two lichen biomonitors: When morpho-chemical details mark the difference. *Science of the Total Environment*, 782. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146360>

- Fortuna, L., Carniel, F. C., Capozzi, F., & Tretiach, M. (2019). Congruence evaluation of mercury pollution patterns around a waste incinerator over a 16-year-long period using different biomonitors. *Atmosphere*, 10(4). <https://doi.org/10.3390/atmos10040183>
- Fortuna, L., & Tretiach, M. (2018). Effects of site-specific climatic conditions on the radial growth of the lichen biomonitor *Xanthoria parietina*. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(34), 34017–34026. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3155-z>
- García Huazo, F. (2017). *ESTUDIO DE LA VARIACIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL DE LA CALIDAD DEL AGUA DE NIEBLA EN LAS LOMAS DE VILLA MARÍA* [Tesis para optar el Título Profesional de: INGENIERO AMBIENTAL]. UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA.
- Garty, J. (2001a). Biomonitoring atmospheric heavy metals with lichens: Theory and application. In *Critical Reviews in Plant Sciences* (Vol. 20, Issue 4, pp. 309–371). Taylor and Francis Inc. <https://doi.org/10.1080/20013591099254>
- Garty, J. (2001b). Biomonitoring atmospheric heavy metals with lichens: Theory and application. In *Critical Reviews in Plant Sciences* (Vol. 20, Issue 4, pp. 309–371). Taylor and Francis Inc. <https://doi.org/10.1080/20013591099254>
- Gonzales, F. N., Craven, D., & Armesto, J. J. (2023). Islands in the mist: A systematic review of the coastal lomas of South America. In *Journal of Arid Environments* (Vol. 211). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2023.104942>
- González-Burgos, E., Fernández-Moriano, C., & Gómez-Serranillos, M. P. (2019). Current knowledge on *Parmelia* genus: Ecological interest, phytochemistry, biological activities and therapeutic potential. In *Phytochemistry* (Vol. 165). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2019.112051>
- Graney, J. R., Edgerton, E. S., & Landis, M. S. (2019). Using Pb isotope ratios of particulate matter and epiphytic lichens from the Athabasca Oil Sands Region in Alberta, Canada to quantify local, regional, and global Pb source contributions. *Science of the Total Environment*, 654, 1293–1304. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.047>
- Grantz, D. A., Garner, J. H. B., & Johnson, D. W. (2003). Ecological effects of particulate matter. In *Environment International* (Vol. 29, Issues 2–3, pp. 213–239). Elsevier Ltd. [https://doi.org/10.1016/S0160-4120\(02\)00181-2](https://doi.org/10.1016/S0160-4120(02)00181-2)

- Grube, M., & Berg, G. (2009). Microbial consortia of bacteria and fungi with focus on the lichen symbiosis. In *Fungal Biology Reviews* (Vol. 23, Issue 3, pp. 72–85). <https://doi.org/10.1016/j.fbr.2009.10.001>
- Grube, M., Cernava, T., Soh, J., Fuchs, S., Aschenbrenner, I., Lassek, C., Wegner, U., Becher, D., Riedel, K., Sensen, C. W., & Berg, G. (2015). Exploring functional contexts of symbiotic sustain within lichen-associated bacteria by comparative omics. *ISME Journal*, 9(2), 412–424. <https://doi.org/10.1038/ismej.2014.138>
- Guarnieri, M., & Balmes, J. R. (2014). Outdoor air pollution and asthma. *The Lancet*, 383(9928), 1581–1592. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(14\)60617-6](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(14)60617-6)
- Guo, L., & Maghirang, R. G. (2012). Numerical simulation of airflow and particle collection by vegetative barriers. *Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics*, 6(1), 110–122. <https://doi.org/10.1080/19942060.2012.11015407>
- Gupta, D. K., Chatterjee, S., & Walther, C. (n.d.). *Radionuclides and Heavy Metals in the Environment Lead in Plants and the Environment*. <http://www.springer.com/series/16207>
- Han, D., Shen, H., Duan, W., & Chen, L. (2020). A review on particulate matter removal capacity by urban forests at different scales. In *Urban Forestry and Urban Greening* (Vol. 48). Elsevier GmbH. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.126565>
- Hao, Y., Gao, C., Deng, S., Yuan, M., Song, W., Lu, Z., & Qiu, Z. (2019). Chemical characterisation of PM 2.5 emitted from motor vehicles powered by diesel, gasoline, natural gas and methanol fuel. *Science of the Total Environment*, 674, 128–139. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.410>
- Hawksworth, D. L., & Grube, M. (2020). Lichens redefined as complex ecosystems. In *New Phytologist* (Vol. 227, Issue 5, pp. 1281–1283). Blackwell Publishing Ltd. <https://doi.org/10.1111/nph.16630>
- Henskens, F. L., Green, T. G. A., & Wilkins, A. (2012). Cyanolichens can have both cyanobacteria and green algae in a common layer as major contributors to photosynthesis. *Annals of Botany*, 110(3), 555–563. <https://doi.org/10.1093/aob/mcs108>

- Honegger, R. (1991). FUNCTIONAL ASPECTS OF THE LICHEN SYMBIOSIS\*. In *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Bioi* (Vol. 42). [www.annualreviews.org](http://www.annualreviews.org)
- Honegger, R. (1993). Developmental biology of lichens. *New Phytologist*, 125(4), 659–677. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1993.tb03916.x>
- HONEGGER, R. (1993). Developmental biology of lichens. *New Phytologist*, 125(4), 659–677. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1993.tb03916.x>
- Honegger, R., & Haisch, A. (2001). Immunocytochemical location of the (1→3) (1→4)-β-glucan lichenin in the lichen-forming ascomycete *Cetraria islandica* (Icelandic moss). *New Phytologist*, 150(3), 739–746. <https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.2001.00122.x>
- Hussain, M. M., Bibi, I., Niazi, N. K., Nawaz, M. F., & Rinklebe, J. (2021). Impact of organic and inorganic amendments on arsenic accumulation by rice genotypes under paddy soil conditions: A pilot-scale investigation to assess health risk. *Journal of Hazardous Materials*, 420. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126620>
- Jin, L., Luo, X., Fu, P., & Li, X. (2017). Airborne particulate matter pollution in urban China: A chemical mixture perspective from sources to impacts. In *National Science Review* (Vol. 4, Issue 4, pp. 593–610). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/nsr/nww079>
- Ju, H., Niu, C., Zhang, S., Jiang, W., Zhang, Z., Zhang, X., Yang, Z., & Cui, Y. (2021). Spatiotemporal patterns and modifiable areal unit problems of the landscape ecological risk in coastal areas: A case study of the Shandong Peninsula, China. *Journal of Cleaner Production*, 310. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127522>
- Keke, U. N., Arimoro, F. O., Ayanwale, A. V., Odume, O. N., & Edegbene, A. O. (2021). Weak relationships among macroinvertebrates beta diversity (β), river status, and environmental correlates in a tropical biodiversity hotspot. *Ecological Indicators*, 129. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107868>
- Klapstein, S. J., Walker, A. K., Saunders, C. H., Cameron, R. P., Murimboh, J. D., & O'Driscoll, N. J. (2020). Spatial distribution of mercury and other potentially toxic elements using epiphytic lichens in Nova Scotia. *Chemosphere*, 241. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125064>

- Kłos, A., Rajfur, M., Šrámek, I., & Waclawek, M. (2011). Use of lichen and moss in assessment of forest contamination with heavy metals in Praded and Glacensis Euroregions (Poland and Czech Republic). *Water, Air, and Soil Pollution*, 222(1–4), 367–376. <https://doi.org/10.1007/s11270-011-0830-9>
- Koskella, B. (2013). Phage-mediated selection on microbiota of a long-lived host. *Current Biology*, 23(13), 1256–1260. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2013.05.038>
- Landis, M. S., Berryman, S. D., White, E. M., Graney, J. R., Edgerton, E. S., & Studabaker, W. B. (2019). Use of an epiphytic lichen and a novel geostatistical approach to evaluate spatial and temporal changes in atmospheric deposition in the Athabasca Oil Sands Region, Alberta, Canada. *Science of the Total Environment*, 692, 1005–1021. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.07.011>
- Li, Y., Qu, X., Zhang, M., Peng, W., Yu, Y., & Gao, B. (2018). Anthropogenic impact and ecological risk assessment of thallium and cobalt in Poyang Lake using the geochemical baseline. *Water (Switzerland)*, 10(11). <https://doi.org/10.3390/w10111703>
- Loaiza, I., De Boeck, G., & De Troch, M. (2022). Peruvian marine ecosystems under metal contamination: First insights for marine species consumption and sustainable management. In *Science of the Total Environment* (Vol. 826). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154132>
- Lucheta, F., Mossmann Koch, N., Käffer, M. I., Plangg Riegel, R., de Azevedo Martins, S. M., & Schmitt, J. L. (2019). Lichens as indicators of environmental quality in southern Brazil: An integrative approach based on community composition and functional parameters. *Ecological Indicators*, 107. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105587>
- Lücking, R., Hodkinson, B. P., & Leavitt, S. D. (2016a). The 2016 classification of lichenized fungi in the Ascomycota and Basidiomycota-Approaching one thousand genera. *Bryologist*, 119(4), 361–416. <https://doi.org/10.1639/0007-2745-119.4.361>
- Lücking, R., Hodkinson, B. P., & Leavitt, S. D. (2016b). The 2016 classification of lichenized fungi in the Ascomycota and Basidiomycota-Approaching one thousand genera. *Bryologist*, 119(4), 361–416. <https://doi.org/10.1639/0007-2745-119.4.361>
- Lücking, R., Hodkinson, B. P., & Leavitt, S. D. (2017). Erratum: The 2016 classification of lichenized fungi in the Ascomycota and Basidiomycota (Bryologist (2016)). In

- Bryologist* (Vol. 120, Issue 1, pp. 58–69). American Bryological and Lichenological Society Inc. <https://doi.org/10.1639/0007-2745-120.1.058>
- Luo, M., Hou, X., Gu, Y., Lau, N. C., & Yim, S. H. L. (2018). Trans-boundary air pollution in a city under various atmospheric conditions. *Science of the Total Environment*, 618, 132–141. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.001>
- Luo, X., Bing, H., Luo, Z., Wang, Y., & Jin, L. (2019a). Impacts of atmospheric particulate matter pollution on environmental biogeochemistry of trace metals in soil-plant system: A review. In *Environmental Pollution* (Vol. 255). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113138>
- Luo, X., Bing, H., Luo, Z., Wang, Y., & Jin, L. (2019b). Impacts of atmospheric particulate matter pollution on environmental biogeochemistry of trace metals in soil-plant system: A review. *Environmental Pollution*, 255, 113138. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113138>
- Luo, X., Zhao, Z., Xie, J., Luo, J., Chen, Y., Li, H., & Jin, L. (2019). Pulmonary bioaccessibility of trace metals in PM<sub>2.5</sub> from different megacities simulated by lung fluid extraction and DGT method. *Chemosphere*, 218, 915–921. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.11.079>
- Lutzoni, F., & Miadlikowska, J. (2009). Lichens. In *Current Biology* (Vol. 19, Issue 13). Cell Press. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2009.04.034>
- Mama, C. N., Nnaji, C. C., Emenike, P. C., & Chibueze, C. V. (2020). Potential environmental and human health risk of soil and roadside dust in a rapidly growing urban settlement. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 17(4), 2385–2400. <https://doi.org/10.1007/s13762-020-02637-9>
- Mandal, M., Das, S., Roy, A., Rakwal, R., Jones, O. A. H., Popek, R., Agrawal, G. K., & Sarkar, A. (2023). Interactive relations between plants, the phyllosphere microbial community, and particulate matter pollution. In *Science of the Total Environment* (Vol. 890). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.164352>
- Mansfield, J., Genin, S., Magori, S., Citovsky, V., Sriariyanum, M., Ronald, P., Dow, M., Verdier, V., Beer, S. V., Machado, M. A., Toth, I., Salmond, G., & Foster, G. D. (2012). Top 10 plant pathogenic bacteria in molecular plant pathology. In *Molecular Plant*

- Pathology* (Vol. 13, Issue 6, pp. 614–629). <https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2012.00804.x>
- Marié, D. C., Chaparro, M. A. E., Irurzun, M. A., Lavornia, J. M., Marinelli, C., Cepeda, R., Böhnelt, H. N., Castañeda Miranda, A. G., & Sinito, A. M. (2016). Magnetic mapping of air pollution in Tandil city (Argentina) using the lichen *Parmotrema pilosum* as biomonitor. *Atmospheric Pollution Research*, 7(3), 513–520. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2015.12.005>
- Massimi, L., Conti, M. E., Mele, G., Ristorini, M., Astolfi, M. L., & Canepari, S. (2019). Lichen transplants as indicators of atmospheric element concentrations: a high spatial resolution comparison with PM 10 samples in a polluted area (Central Italy). *Ecological Indicators*, 101, 759–769. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.12.051>
- Mcgeoch, M. A. (1998). *Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society The selection, testing and application of terrestrial insects as bioindicators*. <http://journals.cambridge.org/BRE>
- MINAM. (2019). *Mapa Nacional de Ecosistemas*. [www.minam.gob.pe](http://www.minam.gob.pe)
- Minganti, V., Drava, G., De Pellegrini, R., Modenesi, P., Malaspina, P., & Giordani, P. (2014). Temporal trends (1981-2007) of trace and rare earth elements in the lichen *Cetraria islandica* (L.) Ach. from Italian herbaria. *Chemosphere*, 99, 180–185. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.10.067>
- Moat, J., Orellana-Garcia, A., Tovar, C., Arakaki, M., Arana, C., Cano, A., Faundez, L., Gardner, M., Hechenleitner, P., Hepp, J., Lewis, G., Mamani, J. M., Miyasiro, M., & Whaley, O. Q. (2021). Seeing through the clouds – Mapping desert fog oasis ecosystems using 20 years of MODIS imagery over Peru and Chile. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 103. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2021.102468>
- Morillas, L., Roales, J., Cruz, C., & Munzi, S. (2022). Lichen as Multipartner Symbiotic Relationships. *Encyclopedia*, 2(3), 1421–1431. <https://doi.org/10.3390/encyclopedia2030096>
- Mróz, T., Szufa, K., Frontasyeva, M. V., Tselmovich, V., Ostrovnaya, T., Kornaś, A., Olech, M. A., Mietelski, J. W., & Brudecki, K. (2018). Determination of element composition

- and extraterrestrial material occurrence in moss and lichen samples from King George Island (Antarctica) using reactor neutron activation analysis and SEM microscopy. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(1), 436–446. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0431-2>
- Natasha, Bibi, I., Niazi, N. K., Shahid, M., Ali, F., Masood ul Hasan, I., Rahman, M. M., Younas, F., Hussain, M. M., Mehmood, T., Shaheen, S. M., Naidu, R., & Rinklebe, J. (2022). Distribution and ecological risk assessment of trace elements in the paddy soil-rice ecosystem of Punjab, Pakistan. *Environmental Pollution*, 307. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119492>
- Nordberg, G. F., Fowler, B. A., Nordberg, M., Boston, A. •, Heidelberg, •, London, •, San, P. •, San, D., Singapore, F. •, & Tokyo, S. •. (n.d.). *Handbook on the Toxicology of Metals Fourth Edition Volume I: General Considerations*.
- Paoli, L., Corsini, A., Bigagli, V., Vannini, J., Bruscoli, C., & Loppi, S. (2012). Long-term biological monitoring of environmental quality around a solid waste landfill assessed with lichens. *Environmental Pollution*, 161, 70–75. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.09.028>
- Paoli, L., Munzi, S., Guttová, A., Senko, D., Sardella, G., & Loppi, S. (2015). Lichens as suitable indicators of the biological effects of atmospheric pollutants around a municipal solid waste incinerator (S Italy). *Ecological Indicators*, 52, 362–370. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.12.018>
- Parviainen, A., Casares-Porcel, M., Marchesi, C., & Garrido, C. J. (2019). Lichens as a spatial record of metal air pollution in the industrialized city of Huelva (SW Spain). *Environmental Pollution*, 253, 918–929. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.07.086>
- Piercey-Normore, M. D., & DePriest, P. T. (2001). Algal switching among lichen symbioses. *American Journal of Botany*, 88(8), 1490–1498. <https://doi.org/10.2307/3558457>
- Popoola, O. A. M., Carruthers, D., Lad, C., Bright, V. B., Mead, M. I., Stettler, M. E. J., Saffell, J. R., & Jones, R. L. (2018). Use of networks of low cost air quality sensors to quantify air quality in urban settings. *Atmospheric Environment*, 194, 58–70. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.09.030>

- Pulleman, M., Creamer, R., Hamer, U., Helder, J., Pelosi, C., Pérès, G., & Rutgers, M. (2012). Soil biodiversity, biological indicators and soil ecosystem services-an overview of European approaches. In *Current Opinion in Environmental Sustainability* (Vol. 4, Issue 5, pp. 529–538). <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2012.10.009>
- Purvis", O. W., Williamson#, B. J., Bartok\$, K., & Zoltani%, □□□ N. (2000). Bioaccumulation of lead by the lichen *Acarospora smaragdula* from smelter emissions. In *RESEARCH New Phytol* (Vol. 147).
- Quijano, M. F. C., Mateus, V. L., Saint’Pierre, T. D., Bott, I. S., & Gioda, A. (2019). Exploratory and comparative analysis of the morphology and chemical composition of PM 2.5 from regions with different socioeconomic characteristics. *Microchemical Journal*, 147(March), 507–515. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2019.03.071>
- Rai, P. K. (2016). Impacts of particulate matter pollution on plants: Implications for environmental biomonitoring. In *Ecotoxicology and Environmental Safety* (Vol. 129, pp. 120–136). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2016.03.012>
- Rai, P. K., & Singh, M. M. (2015). Lantana camara invasion in urban forests of an Indo-Burma hotspot region and its ecosustainable management implication through biomonitoring of particulate matter. *Journal of Asia-Pacific Biodiversity*, 8(4), 375–381. <https://doi.org/10.1016/j.japb.2015.09.003>
- Ramić, E., Huremović, J., Muhić-Šarac, T., Đug, S., Žero, S., & Olovčić, A. (2019). Biomonitoring of Air Pollution in Bosnia and Herzegovina Using Epiphytic Lichen *Hypogymnia physodes*. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 102(6), 763–769. <https://doi.org/10.1007/s00128-019-02595-0>
- Ramos, D. (2014). Lista de especies de líquenes y hongos liquenícolas del Perú. *Revista Electrónica Del Grupo Latinoamericano de Liquenólogos*. <https://glalia.blogspot.com/2014/>
- Ramos, D., Ramírez. Ángel, Quipuscoa, V., Durand Károl, & Huallpa Jackelyn. (2103). Diversidad de Líquenes en el Anexo de Tuctumpaya, Distrito de Pocsi, Arequipa, Perú. *Arnaldoa*, 20(1).
- Rani, S., Ahmed, M. K., Xiongzi, X., Keliang, C., Islam, M. S., & Habibullah-Al-Mamun, M. (2021). Occurrence, spatial distribution and ecological risk assessment of trace

- elements in surface sediments of rivers and coastal areas of the East Coast of Bangladesh, North-East Bay of Bengal. *Science of the Total Environment*, 801. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149782>
- Ranković, B., & Kosanić, M. (2019a). Lichens as a Potential Source of Bioactive Secondary Metabolites. In *Lichen Secondary Metabolites* (pp. 1–29). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-16814-8\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-16814-8_1)
- Ranković, B., & Kosanić, M. (2019b). Lichens as a Potential Source of Bioactive Secondary Metabolites. In *Lichen Secondary Metabolites* (pp. 1–29). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-16814-8\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-16814-8_1)
- Ranković, B., & Kosanić, M. (2019c). Lichens as a Potential Source of Bioactive Secondary Metabolites. In *Lichen Secondary Metabolites* (pp. 1–29). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-16814-8\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-16814-8_1)
- Rawat, B., Zhang, Q., Sharma, C. M., Tripathee, L., Pandey, A., Kandel, K., Sun, X., Li, M., Li, S., & Kang, S. (2021). Glacial record of trace metal pollution over the Central Himalayas and its surroundings: Distribution, variation, and anthropogenic signals. *Atmospheric Research*, 251(June 2020), 105428. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2020.105428>
- REYES, P., & TORRES, J. (2009). Diversidad, distribución, riqueza y abundancia de conductos de aguas profundas a través del archipiélago patagónico austral, Cabo de Hornos, Islas Diego Ramírez y el sector norte del paso Drake. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 44(1), 243–251.
- Roberto Hernández Sampieri, & Collado, Carlos Fernández, M. del P. B. L. (2014). *Metodología de la Investigación* (S. A. MCGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, Ed.; Sexta edic).
- Rocha, B., Matos, P., Giordani, P., Piret, L., Branquinho, C., Casanelles-Abella, J., Aleixo, C., Deguines, N., Hallikma, T., Laanisto, L., Moretti, M., Alós Ortí, M., Samson, R., Tryjanowski, P., & Pinho, P. (2022). Modelling the response of urban lichens to broad-scale changes in air pollution and climate. *Environmental Pollution*, 315. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.120330>

- Rola, K. (2020). Insight into the pattern of heavy-metal accumulation in lichen thalli. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 61. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2020.126512>
- Rola, K., & Osyczka, P. (2019). Temporal changes in accumulation of trace metals in vegetative and generative parts of *Xanthoria parietina* lichen thalli and their implications for biomonitoring studies. *Ecological Indicators*, 96, 293–302. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.09.004>
- Rolando, J. L., Turin, C., Ramírez, D. A., Mares, V., Moneris, J., & Quiroz, R. (2017). Key ecosystem services and ecological intensification of agriculture in the tropical high-Andean Puna as affected by land-use and climate changes. In *Agriculture, Ecosystems and Environment* (Vol. 236, pp. 221–233). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.12.010>
- Salbu, B., Skipperud, L., & Lind, O. C. (2015). Sources contributing to radionuclides in the environment: With focus on radioactive particles. In *Radionuclides in the Environment: Influence of Chemical Speciation and Plant Uptake on Radionuclide Migration* (pp. 1–36). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-22171-7\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-22171-7_1)
- Sancho, L. G., Pintado, A., & Green, T. G. A. (2019). Antarctic Studies Show Lichens to be Excellent Biomonitoring of Climate Change. In *Diversity* (Vol. 11, Issue 3). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/D11030042>
- Sanità Di Toppi, L., Musetti, R., Vattuone, Z., Pawlik-Skowrońska, B., Fossati, F., Bertoli, L., Badiani, M., & Favali, M. A. (2005). Cadmium distribution and effects on ultrastructure and chlorophyll status in photobionts and mycobionts of *Xanthoria parietina*. *Microscopy Research and Technique*, 66(5), 229–238. <https://doi.org/10.1002/jemt.20166>
- Scerbo, R., Ristori, T., Possenti, L., Lampugnani, L., Barale, R., & Barghigiani, C. (2002). Lichen (*Xanthoria parietina*) biomonitoring of trace element contamination and air quality assessment in Pisa Province (Tuscany, Italy). *Science of the Total Environment*, 286(1–3), 27–40. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(01\)00959-7](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(01)00959-7)

- Shahid, M. (2021). Effect of soil amendments on trace element-mediated oxidative stress in plants: Meta-analysis and mechanistic interpretations. In *Journal of Hazardous Materials* (Vol. 407). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.124881>
- Shakir, S., Zaidi, S. S. e. A., de Vries, F. T., & Mansoor, S. (2021). Plant Genetic Networks Shaping Phyllosphere Microbial Community. In *Trends in Genetics* (Vol. 37, Issue 4, pp. 306–316). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.tig.2020.09.010>
- Shojaee Barjoe, S., Malverdi, E., Kouhkan, M., Alipourfard, I., Rouhani, A., Farokhi, H., & Khaledi, A. (2023). Health assessment of industrial ecosystems of Isfahan (Iran) using phytomonitoring: Chemometric, micromorphology, phytoremediation, air pollution tolerance and anticipated performance indices. *Urban Climate*, 48. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2022.101394>
- Simon, J. C., Marchesi, J. R., Mougel, C., & Selosse, M. A. (2019). Host-microbiota interactions: From holobiont theory to analysis. *Microbiome*, 7(1). <https://doi.org/10.1186/s40168-019-0619-4>
- Sujetovienė, G., Smilgaitis, P., Dagiliūtė, R., & Žaltauskaitė, J. (2019). Metal accumulation and physiological response of the lichens transplanted near a landfill in central Lithuania. *Waste Management*, 85, 60–65. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.12.017>
- Talavera, C., Pauca, A., Fernández, C., Villasante, F., Villegas, L., & Delgado, A. (2017). *Flora de Lomas de Atiquipa*. UNSA.
- Tiwari, S., Agrawal, M., & Marshall, F. M. (2006). Evaluation of ambient air pollution impact on carrot plants at a sub urban site using open top chambers. *Environmental Monitoring and Assessment*, 119(1–3), 15–30. <https://doi.org/10.1007/s10661-005-9001-z>
- Tripathi, M., & Joshi, Y. (2019). Endolichenic Fungi: Present and Future Trends. In *Endolichenic Fungi: Present and Future Trends*. Springer Singapore. <https://doi.org/10.1007/978-981-13-7268-1>
- Trzyna, A., Rybak, J., Górka, M., Olszowski, T., Kamińska, J. A., Węsierski, T., & Majder-Łopatka, M. (2023). Comparison of active and passive methods for atmospheric

- particulate matter collection: From case study to a useful biomonitoring tool. *Chemosphere*, 334. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.139004>
- Tuovinen, V., Ekman, S., Thor, G., Vanderpool, D., Spribille, T., & Johannesson, H. (2019). Two Basidiomycete Fungi in the Cortex of Wolf Lichens. *Current Biology*, 29(3), 476-483.e5. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2018.12.022>
- Vardar, Ç., Basaran, E., Cansaran-Duman, D., & Aras, S. (2014). Air-quality biomonitoring: Assessment of genotoxicity of air pollution in the Province of Kayseri (Central Anatolia) by use of the lichen *Pseudevernia furfuracea* (L.) Zopf and amplified fragment-length polymorphism markers. *Mutation Research - Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, 759, 43–50. <https://doi.org/10.1016/j.mrgentox.2013.09.011>
- Vardhan, K. H., Kumar, P. S., & Panda, R. C. (2019). A review on heavy metal pollution, toxicity and remedial measures: Current trends and future perspectives. In *Journal of Molecular Liquids* (Vol. 290). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2019.111197>
- Vargas Castillo, R., Stanton, D., & Nelson, P. R. (2017). *Aportes al conocimiento de la biota líquénica del oasis de neblina de Alto Patache, Desierto de Atacama I.*
- Vig, N., Ravindra, K., & Mor, S. (2023). Environmental impacts of Indian coal thermal power plants and associated human health risk to the nearby residential communities: A potential review. In *Chemosphere* (Vol. 341). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.140103>
- Vithanage, M., Bandara, P. C., Novo, L. A. B., Kumar, A., Ambade, B., Naveendrakumar, G., Ranagalage, M., & Magana-Arachchi, D. N. (2022). Deposition of trace metals associated with atmospheric particulate matter: Environmental fate and health risk assessment. *Chemosphere*, 303. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.135051>
- Vuille, M., Francou, B., Wagnon, P., Juen, I., Kaser, G., Mark, B. G., & Bradley, R. S. (2008). Climate change and tropical Andean glaciers: Past, present and future. *Earth-Science Reviews*, 89(3–4), 79–96. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2008.04.002>
- Wang, J., Hu, Z., Chen, Y., Chen, Z., & Xu, S. (2013). Contamination characteristics and possible sources of PM10 and PM2.5 in different functional areas of Shanghai, China.

- Atmospheric Environment*, 68, 221–229.  
<https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.10.070>
- Wang, X., & Sun, W. (2019). Meteorological parameters and gaseous pollutant concentrations as predictors of daily continuous PM 2.5 concentrations using deep neural network in Beijing–Tianjin–Hebei, China. *Atmospheric Environment*, 211(November 2018), 128–137. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2019.05.004>
- Warnasuriya, S. D., Udayanga, D., Manamgoda, D. S., & Biles, C. (2023). Fungi as environmental bioindicators. In *Science of the Total Environment* (Vol. 892). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.164583>
- Watkinson, S. C. (2016). Mutualistic Symbiosis Between Fungi and Autotrophs. In *The Fungi: Third Edition* (pp. 205–243). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-382034-1.00007-4>
- Weerakoon, G., Wolseley, P., Will-Wolf, S., & Wijeyaratne, C. (2020). Corticolous lichen species as indicators of disturbed/undisturbed vegetation types in the central mountains of Sri Lanka. *Lichenologist*, 52(3), 233–245.  
<https://doi.org/10.1017/S0024282920000109>
- Wu, Y., Zhang, J., Ni, Z., Liu, S., Jiang, Z., & Huang, X. (2018). Atmospheric deposition of trace elements to Daya Bay, South China Sea: Fluxes and sources. *Marine Pollution Bulletin*, 127(November 2017), 672–683.  
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.12.046>
- Yu MPH, W., Ye, T., Zhang, Y., Xu, R., Yang MPH, Z., Zhang, Y., Li, S., Guo, Y., Key, J., Guo, Y., Li, S., Yu, W., Ye, T., Zhang, Y., Xu, R., Lei, Y., Chen, Z., Yang, Z., Zhang, Y., ... Yue, X. (2023). Global estimates of daily ambient fine particulate matter concentrations and unequal spatiotemporal distribution of population exposure: a machine learning modelling study. In *Articles Lancet Planet Health* (Vol. 7). [www.thelancet.com/](http://www.thelancet.com/)
- Zaghloul, A., Saber, M., Gadow, S., & Awad, F. (2020). Biological indicators for pollution detection in terrestrial and aquatic ecosystems. *Bulletin of the National Research Centre*, 44(1). <https://doi.org/10.1186/s42269-020-00385-x>

Zhang, D., Li, H., Luo, X.-S., Huang, W., Pang, Y., Yang, J., Tang, M., Mehmood, T., & Zhao, Z. (2022). Toxicity assessment and heavy metal components of inhalable particulate matters (PM<sub>2.5</sub> & PM<sub>10</sub>) during a dust storm invading the city. *Process Safety and Environmental Protection*, 162, 859–866. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2022.04.065>

Zong, S., Hu, Y., Zhang, Y., & Wang, W. (2021). Identification of land use conflicts in China's coastal zones: From the perspective of ecological security. *Ocean and Coastal Management*, 213. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2021.105841>



## ANEXOS

### Anexo 1. Identificación de especies



INSTITUTO CIENTIFICO MICHAEL OWEN DILLON (IMOD)

Investigación, Conservación, Educación y Transformación de Recursos  
Reconocido por Resolución de Dirección General Nro. 140-2016-SERFOR/DGGSPPFS



"Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional"

### CONSTANCIA DE DETERMINACIÓN DE MUESTRAS N° 014-2022

El Director del Instituto Científico Michael Owen Dillon (IMOD).

#### HACE CONSTAR:

Que las 53 muestras de líquenes presentadas por el Sr. **Mg. José Antonio Valeriano Zapana**, recolectadas en la provincia de Sánchez Cerro, localidades de Alto Coscore, Calientes, Tala y Altarani, departamento de Moquegua y provincia de Jorge Basadre, localidad de Lomas de Tacahuay, departamento de Tacna, para la realización del proyecto: " **Variabilidad espacio temporal de elementos traza, utilizando líquenes y tillandsias como bioindicadores de la calidad del aire en el ámbito del proyecto minero Anglo American Quellaveco, provincia de Mariscal Nieto, región Moquegua-2021**" aprobado con Resolución de Comisión Organizadora N° 428-2021- UNAM, con referencia a la orden de servicio N° 0001232 – 07/06/2022 con SIAF 2176, fueron determinadas taxonómicamente en las instalaciones del Herbario del Instituto Científico Michael Owen Dillon, "Herbario Sur Peruano" (HSP), se adjunta lista con las determinaciones.

La clasificación se ha realizado según lo propuesto por: Lücking *et al.* (2016) *The 2016 classification of lichenized fungi in the Ascomycota and Basidiomycota-Approaching one thousand genera* y su actualización Lücking *et al.* (2017) *Corrections and amendments to the 2016 classification of lichenized fungi in the Ascomycota and Basidiomycota*

Se expide la presente, a solicitud del interesado, para los fines que estime convenientes.  
Arequipa, 1 de agosto del 2022



Dr. Blgo. Víctor Quipuscoa Silvestre  
C. B. P. N° 2484

Director del Instituto Científico Michael Owen Dillon (IMOD)  
Herbario Sur Peruano (HSP)  
vquipuscoas@hotmail.com  
[vquipuscoa@imod.org.pe](mailto:vquipuscoa@imod.org.pe)





**INSTITUTO CIENTIFICO MICHAEL OWEN DILLON (IMOD)**

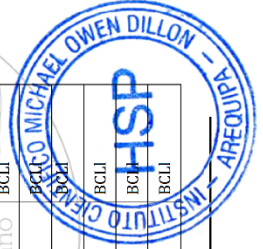
Investigación, Conservación, Educación y Transformación de Recursos

Reconocido por Resolución de Dirección General Nro. 140-2016-SERFOR/DGSGSPFHS



Familia	Especie	Departamento	Provincia	Localidad	Fecha	Código	Colector
Parmeliaceae	<i>Flavoparmelia</i> sp.	Tacna	Jorge Basadre	Lomas Tacahuay	17/11/2021	T-01	PRZ
Candelariaceae	<i>Candelaria concolor</i> (Dicks.) Arnold	Tacna	Jorge Basadre	Lomas Tacahuay	17/11/2021	T-01	PRZ
Parmeliaceae	<i>Canoparmelia texana</i> (Tuck.) Elix & Hale	Tacna	Jorge Basadre	Lomas Tacahuay	17/11/2021	T-02	LPS
Physciaceae	<i>Physcia erumpens</i> Moberg	Tacna	Jorge Basadre	Lomas Tacahuay	17/11/2021	T-03	IVZ & CCN
Parmeliaceae	<i>Canoparmelia texana</i> (Tuck.) Elix & Hale	Tacna	Jorge Basadre	Lomas Tacahuay	17/11/2021	T-04	PRZ
Candelariaceae	<i>Candelaria concolor</i> (Dicks.) Arnold	Tacna	Jorge Basadre	Lomas Tacahuay	17/11/2021	T-04	PRZ
Physciaceae	<i>Physcia erumpens</i> Moberg	Tacna	Jorge Basadre	Lomas Tacahuay	17/11/2021	T-04	PRZ
Candelariaceae	<i>Candelaria concolor</i> (Dicks.) Arnold	Tacna	Jorge Basadre	Lomas Tacahuay	17/11/2021	T-05	FSC
Physciaceae	<i>Physcia erumpens</i> Moberg	Tacna	Jorge Basadre	Lomas Tacahuay	17/11/2021	T-05	FSC
Parmeliaceae	<i>Crespoa crozalsiana</i> (B. de Lesd. ex Harm.) Lendemer & B.P. Hodk.	Tacna	Jorge Basadre	Lomas Tacahuay	17/11/2021	T-07	BCLI
Parmeliaceae	<i>Flavopunctelia flaventior</i> (Stirt.) Hale	Tacna	Jorge Basadre	Lomas Tacahuay	17/11/2021	T-10	BCLI
Chysothricaceae	<i>Chrysothrix chlorina</i> (Ach.) J.R. Laundon	Tacna	Jorge Basadre	Lomas Tacahuay	17/11/2021	T-10	BCLI
Candelariaceae	<i>Candelaria concolor</i> (Dicks.) Arnold	Moquegua	Mariscal Nieto	Alto Coscore	4/04/2022	10A-AC	IVZ & CCN
Physciaceae	<i>Physcia pachyphylla</i> Müll. Arg.	Moquegua	Mariscal Nieto	Alto Coscore	4/04/2022	10A-AC	IVZ & CCN
Physciaceae	<i>Physcia</i> cf. <i>albata</i> (F. Wilson) Hale	Moquegua	Mariscal Nieto	Alto Coscore	4/04/2022	10A-AC	IVZ & CCN
Teloschistaceae	<i>Scutaria andina</i> (Räsänen) Söchting, Frödén & Arup	Moquegua	Mariscal Nieto	Alto Coscore	4/04/2022	11A-AC	LPS & CCN
Umbilicariaceae	<i>Umbilicaria</i> sp.	Moquegua	Mariscal Nieto	Alto Coscore	4/04/2022	2A-AC	FSC
Parmeliaceae	<i>Xanthoparmelia farinosa</i> (Vain.) T.H. Nash, Elix & Johnston	Moquegua	Mariscal Nieto	Alto Coscore	4/04/2022	2A-AC	FSC
Umbilicariaceae	<i>Umbilicaria polyphylla</i> (L.) Baumg	Moquegua	Mariscal Nieto	Alto Coscore	4/04/2022	46-AC, iano	BCLI
Candelariaceae	<i>Placomaronea candelarioides</i> Räsänen	Moquegua	Mariscal Nieto	Alto Coscore	4/04/2022	46-AC	BCLI
Parmeliaceae	<i>Psiloparmelia distincta</i> (Nyl.) Hale	Moquegua	Mariscal Nieto	Alto Coscore	4/04/2022	46-AC	BCLI
Acarosporaceae	<i>Acarospora xanthophana</i> (Nyl.) Jatta	Moquegua	Mariscal Nieto	Calientes	5/04/2022	12A-CAL	BCLI
Acarosporaceae	<i>Acarospora lorentzii</i> (Müll. Arg.) Hue	Moquegua	Mariscal Nieto	Calientes	5/04/2022	12A-CAL	BCLI
Teloschistaceae	<i>Squamulea</i> cf. <i>squamosa</i> (B. de Lesd.) Arup, Söchting & Frödén	Moquegua	Mariscal Nieto	Calientes	5/04/2022	12A-CAL	BCLI

Dirección: Av. Jorge Chávez No. 610 Cercado, Arequipa - Peru  
 Página web: <http://www.imod.org.pe/>  
 Correo: [imod.per@gmail.com](mailto:imod.per@gmail.com)





## INSTITUTO CIENTIFICO MICHAEL OWEN DILLON (IMOD)

Investigación, Conservación, Educación y Transformación de Recursos  
Reconocido por Resolución de Dirección General Nro. 140-2016-SERFOR/DGSGPFFS



Familia	Especie	Departamento	Provincia	Localidad	Fecha	Código	Colector
Parmeliaceae	<i>Xanthoparmelia cf. flavescens</i> (Gyelnik) D. Galloway	Moquegua	Mariscal Nieto	Calientes	5/04/2022	12B-CAL	PRZ
Parmeliaceae	<i>Everniopsis trulla</i> (Ach.) Nyl.	Moquegua	Mariscal Nieto	Calientes	5/04/2022	12D-CAL	BCLI
Parmeliaceae	<i>Xanthoparmelia farinosa</i> (Vain.) T.H. Nash, Elix & Johnston	Moquegua	Mariscal Nieto	Calientes	5/04/2022	12H-CAL	BCLI
Teloschistaceae	<i>Calogaya saxicola</i> (Hoffm.) Vondrák	Moquegua	Mariscal Nieto	Calientes	5/04/2022	12H-CAL	BCLI
Umbilicariaceae	<i>Umbilicaria polyphylla</i> (L.) Baumg	Moquegua	Mariscal Nieto	Tala	5/04/2022	9A-TAL	PSC
Candelariaceae	<i>Placomaronea sp.</i>	Moquegua	Mariscal Nieto	Tala	5/04/2022	9A-TAL	PSC
Parmeliaceae	<i>Psiloparmelia distincta</i> (Nyl.) Hale	Moquegua	Mariscal Nieto	Tala	5/04/2022	9A-TAL	PSC
Candelariaceae	<i>Placomaronea candelarioides</i> Räsänen	Moquegua	Mariscal Nieto	Tala	6/04/2022	14A-TA	BCLI
Teloschistaceae	<i>Squamulea cf. squamosa</i> (B. de Lesd.) Arup, Søchting & Frödén	Moquegua	Mariscal Nieto	Tala	6/04/2022	14B-TA	LPS & CCN
Umbilicariaceae	<i>Umbilicaria polyphylla</i> (L.) Baumg	Moquegua	Mariscal Nieto	Tala	6/04/2022	14E-TA	PSC
Teloschistaceae	<i>Calogaya saxicola</i> (Hoffm.) Vondrák	Moquegua	Mariscal Nieto	Tala	6/04/2022	14E-TA	PSC
Parmeliaceae	<i>Psiloparmelia subcrustosa</i> Elix & T.H. Nash	Moquegua	Mariscal Nieto	Tala	6/04/2022	14E-TA	PSC
Candelariaceae	<i>Placomaronea candelarioides</i> Räsänen	Moquegua	Mariscal Nieto	Tala	6/04/2022	8A-TAL	PRZ
Acarosporaceae	<i>Acarospora xanthophana</i> (Nyl.) Jatta	Moquegua	Mariscal Nieto	Tala	6/04/2022	8A-TAL	PRZ
Parmeliaceae	<i>Psiloparmelia distincta</i> (Nyl.) Hale	Moquegua	Mariscal Nieto	Tala	6/04/2022	8A-TAL	PRZ
Umbilicariaceae	<i>Umbilicaria polyphylla</i> (L.) Baumg	Moquegua	Mariscal Nieto	Tala	6/04/2022	8A-TAL	PRZ
Teloschistaceae	<i>Squamulea subsoluta</i> (Nyl.) Arup, Søchting & Frödén	Moquegua	Mariscal Nieto	Tala	6/04/2022	8D-TAL	JVZ & CCN
Parmeliaceae	<i>Usnea diuertzi</i> Motyka	Moquegua	Mariscal Nieto	Tala	6/04/2022	8J-TAL	PRZ
Parmeliaceae	<i>Psiloparmelia distincta</i> (Nyl.) Hale	Moquegua	Mariscal Nieto	Altarani	7/04/2022	-	JVZ & CCN
Teloschistaceae	<i>Squamulea subsoluta</i> (Nyl.) Arup, Søchting & Frödén	Moquegua	Mariscal Nieto	Altarani	7/04/2022	-	JVZ & CCN
Candelariaceae	<i>Placomaronea candelarioides</i> Räsänen	Moquegua	Mariscal Nieto	Altarani	7/04/2022	-	BCLI
Umbilicariaceae	<i>Umbilicaria polyphylla</i> (L.) Baumg	Moquegua	Mariscal Nieto	Altarani	7/04/2022	-	BCLI
Parmeliaceae	<i>Psiloparmelia distincta</i> (Nyl.) Hale	Moquegua	Mariscal Nieto	Altarani	7/04/2022	13C-AL	PRZ
Parmeliaceae	<i>Psiloparmelia distincta</i> (Nyl.) Hale	Moquegua	Mariscal Nieto	Altarani	7/04/2022	5A-AL	BCLI





## INSTITUTO CIENTIFICO MICHAEL OWEN DILLON (IMOD)

Investigación, Conservación, Educación y Transformación de Recursos

Reconocido por Resolución de Dirección General Nro. 140-2016-SERFOR/DGSGPFFS



Familia	Especie	Departamento	Provincia	Localidad	Fecha	Código	Colector
Caliciaceae	<i>Buellia</i> sp.	Moquegua	Mariscal Nieto	Altarani	7/04/2022	6D-AL	LPS
Candelariaceae	<i>Candelaria concolor</i> (Dicks.) Arnold	Tacna	Jorge Basadre	Lomas Tacahuay	-	T-06	JVZ & CCN
Parmeliaceae	<i>Parmotrema</i> sp.	Tacna	Jorge Basadre	Lomas Tacahuay	-	T-06	JVZ & CCN
Candelariaceae	<i>Candelaria concolor</i> (Dicks.) Arnold	Tacna	Jorge Basadre	Lomas Tacahuay	-	T-08	JVZ & CCN
Parmeliaceae	<i>Parmotrema</i> sp.	Tacna	Jorge Basadre	Lomas Tacahuay	-	T-12	JVZ & CCN

Las determinaciones fueron realizadas por Daniel F. Ramos Aranibar especialista en Líquenes.



HSP



Dirección: Av. Jorge Chávez No. 610 Cercado, Arequipa - Perú

Página web: <http://www.imod.org.pe/>

Correo: [imod.per@gmail.com](mailto:imod.per@gmail.com)



INSTITUTO CIENTIFICO MICHAEL OWEN DILLON (IMOD)

Investigación, Conservación, Educación y Transformación de Recursos

Reconocido por Resolución de Dirección General Nro. 140-2016-SERFOR/DGGSPFFS



"Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional"

## CONSTANCIA DE DETERMINACIÓN DE MUESTRAS N° 020-2022

El Director del Instituto Científico Michael Owen Dillon (IMOD).

### HACE CONSTAR:

Que las siete (7) muestras de líquenes presentadas por el Sr. **Mg. José Antonio Valeriano Zapana**, recolectadas en la provincia de Mariscal Nieto, localidades de Alto Coscore, Calientes, Tala y Chaquane, departamento de Moquegua para la realización del proyecto: "Variabilidad espacio temporal de elementos traza, utilizando líquenes y tillandsias como bioindicadores de la calidad del aire en el ámbito del proyecto minero Anglo American Quellaveco, provincia de Mariscal Nieto, región Moquegua-2021" aprobado con Resolución de Comisión Organizadora N° 428-2021- UNAM, con referencia a la orden de servicio N° 0001995 - 24/08/2022 con SIAF 3442, fueron determinadas taxonómicamente en las instalaciones del "Herbario Sur Peruano" (HSP), del Instituto Científico Michael Owen Dillon, se adjunta lista con las determinaciones.

La clasificación se ha realizado según lo propuesto por: Lücking *et al.* (2016) *The 2016 classification of lichenized fungi in the Ascomycota and Basidiomycota-Approaching one thousand genera* y su actualización Lücking *et al.* (2017) *Corrections and amendments to the 2016 classification of lichenized fungi in the Ascomycota and Basidiomycota*

Se expide la presente, a solicitud del interesado, para los fines que estime conveniente.  
Arequipa, 10 de octubre del 2022



Dr. Blgo. Víctor Quipuscoa Silvestre  
C. B. P. N° 2484

Director del Instituto Científico Michael Owen Dillon (IMOD)  
Herbario Sur Peruano (HSP)  
vquipuscoas@hotmail.com  
[vquipuscoa@imod.org.pe](mailto:vquipuscoa@imod.org.pe)





**INSTITUTO CIENTIFICO MICHAEL OWEN DILLON (IMOD)**  
Investigación, Conservación, Educación y Transformación de Recursos

Reconocido por Resolución de Dirección General Nro. 140-2016-SERFOR/DGSGPFFS



Familia	Especie	Departamento	Provincia	Localidad	Fecha	Código	Colector
Caliciaceae	<i>Buellia cf. bacida</i> (Fr.) A. Massal.	Moquegua	Mariscal Nieto	Altarani	-	22D	-
Parmeliaceae	<i>Xanthoparmelia farinosa</i> (Vain.) T.H. Nash, Elix & Johnston	Moquegua	Mariscal Nieto	Charaque	-	62	-
Acarosporaceae	<i>Acarospora xanthophana</i> (Nyl.) Jatta	Moquegua	Mariscal Nieto	Charaque	-	62	-
Caliciaceae	<i>Buellia sp.2</i>	Moquegua	Mariscal Nieto	Alto Coscove	-	A2	FSC
Ochrolechiaceae	<i>Ochrolechia sp.</i>	Moquegua	Mariscal Nieto	Calientes	-	E2	BCH
Lecideaceae	<i>Lecidea sp.</i>	Moquegua	Mariscal Nieto	Tala	-	B4	-
Candelariaceae	<i>Pilocarpona mendocina</i> (Räsänen) M. Westb.	Moquegua	Mariscal Nieto	Charaque	-	24F	-

Las determinaciones fueron realizadas por Daniel F. Ramos Aranibar especialista en Líquenes.



Dirección: Av. Jorge Chávez No. 610 Cercado, Arequipa - Peru  
Página web: <http://www.imod.org.pe/>  
Correo: [imod.per@gmail.com](mailto:imod.per@gmail.com)



## INSTITUTO CIENTIFICO MICHAEL OWEN DILLON (IMOD)

Investigación, Conservación, Educación y Transformación de Recursos

"Año de la Universalización de la Salud"

Arequipa, 9 de julio de 2020

### SOLICITUD N° 001 - 2020

**Solicitó:** Emisión de documento de conformidad por identificación taxonómica de líquenes con orden de servicio N° 871, SIAF 1531.

Señor:

**Blgo. José Antonio Valeriano Zapana**

Director de Proyecto

Universidad Nacional de Moquegua (UNAM)

Presente.-

Yo, Víctor Quipuscoa Silvestre, identificado con DNI 19032372, presidente del Instituto Científico Michael Owen Dillon (IMOD), me presento ante Ud., y expongo:

Que, habiéndose concluido de forma satisfactoria el servicio de identificación de muestras de líquenes, provenientes de las lomas de Amoquinto, distrito de Ite, provincia de Jorge Basadre, departamento de Tacna, con referencia a la orden de servicio: N° 871, SIAF 1531, con fecha 21 de mayo de 2020, y habiéndose entregado los resultados mediante correo electrónico a Ud. el día 6 de julio del año en curso, por motivos de la emergencia nacional por el SARS-COVID 19. Solicito a Ud. Se emita el documento de conformidad del servicio para proceder con los trámites para el pago del mismo.

#### Por lo expuesto:

Pido a Ud. acceder a la solicitud por ser de justicia.

  
**Dr. Blgo. Víctor Quipuscoa Silvestre**  
CBP 2484  
Presidente del Instituto Científico Michael Owen Dillon IMOD - Arequipa  
[vquipuscoas@hotmail.com](mailto:vquipuscoas@hotmail.com)





INSTITUTO CIENTIFICO MICHAEL OWEN DILLON (IMOD)

Investigación, Conservación, Educación y Transformación de Recursos

Reconocido por Resolución de Dirección General Nro. 140-2016-SERFOR/DGGSPFFS



"Año de la Universalización de la Salud"

**CONSTANCIA DE DETERMINACIÓN DE MUESTRAS  
N° 003-2020**

El Director del Instituto Científico Michael Owen Dillon (IMOD).

**HACE CONSTAR:**

Que las muestras de líquenes presentadas por el Sr. **Armando André Salinas Delgado** provenientes de "Lomas de Amoquinto", distrito de Ite, provincia de Jorge Basadre, departamento de Tacna, recolectadas para la realización de la Tesis titulada: "**Biodiversidad, Índice de Pureza Ambiental (IPA) y Bioacumulación de metales (Pb, Cr, Cd, Cu, Ni, Zn), en los líquenes presentes en las lomas de Amoquinto, Distrito de Pacocha, Ilo-2019**" en la Universidad Nacional de Moquegua, fueron determinadas taxonómicamente en las instalaciones del Herbario del Instituto Científico Michael Owen Dillon, "Herbario Sur Peruano" (HSP), se adjunta en anexo la lista de determinaciones.

La clasificación se ha realizado según la propuesta por: Lücking *et al.* en "*The 2016 classification of lichenized fungi in the Ascomycota and Basidiomycota – Approaching one thousand genera*" (2016) y Lücking *et al.* en "*Corrections and amendments to the 2016 classification of lichenized fungi in the Ascomycota and Basidiomycota*" (2017).

Se expide la presente, a solicitud del interesado para los fines que estime conveniente.


Arequipa, 6 de julio del 2020



  
Dr. Blgo. Víctor Quipuscoa Silvestre  
C. B. P. N° 2484  
Director del Instituto Científico Michael Owen Dillon (IMOD)  
Herbario Sur Peruano (HSP)  
vquipuscoas@hotmail.com  
vquipuscoa@imod.org.pe



UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA

  
JOSE ANTONIO VALERIANO ZAPANA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL  
DOCENTE ORDINARIO  
DIRECTOR DE PROYECTO

Dirección: Av. Jorge Chávez No. 610 Cercado, Arequipa - Perú

Página web: <http://www.imod.org.pe/>

Correo: [imod.per@gmail.com](mailto:imod.per@gmail.com)



**INSTITUTO CIENTIFICO MICHAEL OWEN DILLON (IMOD)**

Investigación, Conservación, Educación y Transmisión de Recursos

Reconocido por Resolución de Dirección General Nro. 140-2016-SERFOR/DGSGPFFS



UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA

JOSE ANTONIO VALERIANO ZAPANA  
ESCUOLA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL  
DOCENTE ORDINARIO  
DIRECTOR DE PROYECTO

País	Departamento	Provincia	Distrito	Estación	Este	Norte	Elevación	Colector	Familia	Especie
Perú	Tacna	Jorge Basadre	Ite	Bio-01	277397	8035520	763 m	A. Salinas D.	Chysootrichaceae	<i>Chysothrix candalaris</i> (L.) J.R. Laundon
Perú	Tacna	Jorge Basadre	Ite	Bio-04	277313	8035371	755 m	A. Salinas D.	Chysootrichaceae	<i>Chysothrix candalaris</i> (L.) J.R. Laundon
Perú	Tacna	Jorge Basadre	Ite	Bio-05	277321	8035376	761 m	A. Salinas D.	Caliciaceae	<i>Rinodina</i> sp.1
Perú	Tacna	Jorge Basadre	Ite	Bio-05	277321	8035376	761 m	A. Salinas D.	Physciaceae	<i>Physcia cf. erumpens</i> Moberg
Perú	Tacna	Jorge Basadre	Ite	Bio-05	277321	8035376	761 m	A. Salinas D.	Teloschistaceae	<i>Fulgogasparrea brouardii</i> (B. de Lesd.) S.Y. Kondr.
Perú	Tacna	Jorge Basadre	Ite	Bio-06	277332	8034971	709 m	A. Salinas D.	Teloschistaceae	<i>Fulgogasparrea brouardii</i> (B. de Lesd.) S.Y. Kondr.
Perú	Tacna	Jorge Basadre	Ite	Bio-07	277329	8034983	709 m	A. Salinas D.	Physciaceae	<i>Ditriaria applanata</i> (Fée) D.D. Awasthi
Perú	Tacna	Jorge Basadre	Ite	Bio-07	277329	8034983	709 m	A. Salinas D.	Physciaceae	<i>Physcia erumpens</i> Moberg
Perú	Tacna	Jorge Basadre	Ite	Bio-08	277329	8034983	709 m	A. Salinas D.	Candelariaceae	<i>Candelaria concolor</i> (Dicks.) Arnold
Perú	Tacna	Jorge Basadre	Ite	Bio-08	277329	8034983	709 m	A. Salinas D.	Physciaceae	<i>Physcia erumpens</i> Moberg
Perú	Tacna	Jorge Basadre	Ite	Bio-09	277329	8034983	709 m	A. Salinas D.	Physciaceae	<i>Hyperphyscia adglutinata</i> (Flörke) Mayrhofer & Poelt
Perú	Tacna	Jorge Basadre	Ite	Bio-09	277329	8034983	709 m	A. Salinas D.	Physciaceae	<i>Physcia erumpens</i> Moberg
Perú	Tacna	Jorge Basadre	Ite	Bio-09	277329	8034983	709 m	A. Salinas D.	Teloschistaceae	<i>Xanthomendoza cf. fulva</i> (Hoffm.) Sochting, Kärmeleit & S.Y. Kondr.
Perú	Tacna	Jorge Basadre	Ite	Bio-10	277306	8035003	711 m	A. Salinas D.	Candelariaceae	<i>Candelaria concolor</i> (Dicks.) Arnold
Perú	Tacna	Jorge Basadre	Ite	Bio-10	277306	8035003	711 m	A. Salinas D.	Physciaceae	<i>Physcia erumpens</i> Moberg
Perú	Tacna	Jorge Basadre	Ite	Bio-11	277306	8035003	711 m	A. Salinas D.	Parmeliaceae	<i>Flavopunctelia flaviventris</i> (Surt.) Hale
Perú	Tacna	Jorge Basadre	Ite	Bio-12	277293	8034960	708 m	A. Salinas D.	Parmeliaceae	<i>Canoparmelia</i> sp.1
Perú	Tacna	Jorge Basadre	Ite	Bio-12	277293	8034960	708 m	A. Salinas D.	Parmeliaceae	<i>Canoparmelia</i> sp.1
Perú	Tacna	Jorge Basadre	Ite	Bio-13	277293	8034960	708 m	A. Salinas D.	Parmeliaceae	<i>Flavopunctelia flaviventris</i> (Surt.) Hale
Perú	Tacna	Jorge Basadre	Ite	Bio-13	277293	8034960	708 m	A. Salinas D.	Physciaceae	<i>Ditriaria applanata</i> (Fée) D.D. Awasthi
Perú	Tacna	Jorge Basadre	Ite	Bio-14	277293	8034960	708 m	A. Salinas D.	Candelariaceae	<i>Candelaria concolor</i> (Dicks.) Arnold
Perú	Tacna	Jorge Basadre	Ite	Bio-14	277293	8034960	708 m	A. Salinas D.	Chysootrichaceae	<i>Chysothrix candalaris</i> (L.) J.R. Laundon
Perú	Tacna	Jorge Basadre	Ite	Bio-14	277293	8034960	708 m	A. Salinas D.	Parmeliaceae	<i>Flavopunctelia flaviventris</i> (Surt.) Hale
Perú	Tacna	Jorge Basadre	Ite	Bio-14	277293	8034960	708 m	A. Salinas D.	Physciaceae	<i>Hyperphyscia adglutinata</i> (Flörke) Mayrhofer & Poelt

Dirección: Av. Jorge Chávez No. 610 Cercado, Arequipa - Perú

Página web: <http://www.imod.org.pe/>

Correo: [imod-per@gmail.com](mailto:imod-per@gmail.com)

Bigo, Daniel Fernando Ramos Aramibar  
CNP 9552 Especialista en líquenes



INSTITUTO CIENTIFICO MICHAEL OWEN DILLON (IMOD)

Investigación, Conservación, Educación y Transformación de Recursos

Reconocido por Resolución de Dirección General Nro. 140-2016-SERFOR/DGSGPFFS



Perú	Tacna	Jorge Basadre	Ite	Bio-14	277293	8034960	708 m	A. Salinas D.	Physciaceae	<i>Physcia erumpens</i> Moberg
Perú	Tacna	Jorge Basadre	Ite	Bio-15	277301	8034967	702 m	A. Salinas D.	Parmeliaceae	<i>Flavopunctelia flaventior</i> (Stirt.) Hale
Perú	Tacna	Jorge Basadre	Ite	Bio-15	277301	8034967	702 m	A. Salinas D.	Parmeliaceae	<i>Parmotrema reticulatum</i> (Taylor) M. Choisy
Perú	Tacna	Jorge Basadre	Ite	Bio-16	277301	8034967	702 m	A. Salinas D.	Chysostrichaceae	<i>Chrysothrix candelaris</i> (L.) J.R. Laundon
Perú	Tacna	Jorge Basadre	Ite	Bio-17	277301	8034967	702 m	A. Salinas D.	Parmeliaceae	<i>Canoparmelia texana</i> (Tuck.) Elix & Hale
Perú	Tacna	Jorge Basadre	Ite	Bio-17	277301	8034967	702 m	A. Salinas D.	Physciaceae	<i>Dirinaria cf. appianata</i> (Fée) D.D. Awasthi
Perú	Tacna	Jorge Basadre	Ite	Bio-18	277312	8034893	685 m	A. Salinas D.	Candelariaceae	<i>Candelaria concolor</i> (Dickens) Arnold
Perú	Tacna	Jorge Basadre	Ite	Bio-21	277306	8034848	683 m	A. Salinas D.	Parmeliaceae	<i>Canoparmelia texana</i> (Tuck.) Elix & Hale
Perú	Tacna	Jorge Basadre	Ite	Bio-22	277306	8034848	683 m	A. Salinas D.	Candelariaceae	<i>Chrysothrix candelaris</i> (L.) J.R. Laundon
Perú	Tacna	Jorge Basadre	Ite	Bio-22	277306	8034848	683 m	A. Salinas D.	Chysostrichaceae	<i>Chrysothrix candelaris</i> (L.) J.R. Laundon
Perú	Tacna	Jorge Basadre	Ite	Bio-22	277306	8034848	683 m	A. Salinas D.	Physciaceae	<i>Hyperphyscia adglutinata</i> (Flörke) Mayrhofer & Poelt
Perú	Tacna	Jorge Basadre	Ite	Bio-22	277306	8034848	683 m	A. Salinas D.	Physciaceae	<i>Leucodermia leucomelos</i> (L.) Kalb
Perú	Tacna	Jorge Basadre	Ite	Bio-22	277306	8034848	683 m	A. Salinas D.	Physciaceae	<i>Physcia erumpens</i> Moberg
Perú	Tacna	Jorge Basadre	Ite	Bio-25	277338	8034796	685 m	A. Salinas D.	Parmeliaceae	<i>Canoparmelia texana</i> (Tuck.) Elix & Hale
Perú	Tacna	Jorge Basadre	Ite	Bio-25	277338	8034796	685 m	A. Salinas D.	Physciaceae	<i>Dirinaria cf. appianata</i> (Fée) D.D. Awasthi
Perú	Tacna	Jorge Basadre	Ite	Bio-26	277338	8034796	685 m	A. Salinas D.	Parmeliaceae	<i>Canoparmelia texana</i> (Tuck.) Elix & Hale
Perú	Tacna	Jorge Basadre	Ite	Bio-27	277228	8034540	654 m	A. Salinas D.	Candelariaceae	<i>Candelaria concolor</i> (Dickens) Arnold
Perú	Tacna	Jorge Basadre	Ite	Bio-27	277228	8034540	654 m	A. Salinas D.	Parmeliaceae	<i>Canoparmelia texana</i> (Tuck.) Elix & Hale
Perú	Tacna	Jorge Basadre	Ite	Bio-27	277228	8034540	654 m	A. Salinas D.	Physciaceae	<i>Dirinaria appianata</i> (Fée) D.D. Awasthi
Perú	Tacna	Jorge Basadre	Ite	Bio-27	277228	8034540	654 m	A. Salinas D.	Physciaceae	<i>Hyperphyscia adglutinata</i> (Flörke) Mayrhofer & Poelt
Perú	Tacna	Jorge Basadre	Ite	Bio-28	277228	8034540	654 m	A. Salinas D.	Candelariaceae	<i>Candelaria concolor</i> (Dickens) Arnold
Perú	Tacna	Jorge Basadre	Ite	Bio-28	277228	8034540	654 m	A. Salinas D.	Physciaceae	<i>Hyperphyscia adglutinata</i> (Flörke) Mayrhofer & Poelt
Perú	Tacna	Jorge Basadre	Ite	Bio-28	277228	8034540	654 m	A. Salinas D.	Stereocaulaceae	<i>Lepraria</i> sp.
Perú	Tacna	Jorge Basadre	Ite	Bio-29	277228	8034540	654 m	A. Salinas D.	Parmeliaceae	<i>Canoparmelia texana</i> (Tuck.) Elix & Hale
Perú	Tacna	Jorge Basadre	Ite	IPA-01	277397	8035520	763 m	A. Salinas D.	Parmeliaceae	<i>Parmotrema reticulatum</i> (Taylor) M. Choisy

Dirección: Av. Jorge Chávez No. 610 Cercado, Arequipa - Perú

Página web: <http://www.imod.org.pe/>

Correo: [tmod.per@gmail.com](mailto:tmod.per@gmail.com)

  
 Bigo. Daniel Fernando Ramos Arambar  
 CBP 9552 Especialista en líquenes

UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA

JOSE ANTONIO VALERIANO ZAPANA  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL  
 DOCENTE ORDINARIO  
 DIRECTOR DE PROYECTO





**INSTITUTO CIENTIFICO MICHAEL OWEN DILLON (IMOD)**

Investigación, Conservación, Educación y Transformación de Recursos

Reconocido por Resolución de Dirección General Nro. 140-2016-SERFOR/DGGSPFFS

Perú	Tachna	Jorge Basadre	Ite	IPA-02	277397	8035520	763 m	A. Salinas D.	Parmeliaceae	<i>Canoparmelia</i> sp.1
Perú	Tachna	Jorge Basadre	Ite	IPA-03	277313	8035371	755 m	A. Salinas D.	Parmeliaceae	<i>Canoparmelia</i> sp.1
Perú	Tachna	Jorge Basadre	Ite	IPA-04	277313	8035371	755 m	A. Salinas D.	Graphidaceae	<i>Graphis</i> sp.
Perú	Tachna	Jorge Basadre	Ite	IPA-04	277313	8035371	755 m	A. Salinas D.	Graphidaceae	<i>Phaeographis dendritica</i> (Ach.) Mill. Arg.
Perú	Tachna	Jorge Basadre	Ite	IPA-04	277313	8035371	755 m	A. Salinas D.	Lecanoraceae	<i>Lecanora</i> sp.
Perú	Tachna	Jorge Basadre	Ite	IPA-04	277313	8035371	755 m	A. Salinas D.	Parmeliaceae	<i>Canoparmelia texana</i> (Tuck.) Elix & Hale
Perú	Tachna	Jorge Basadre	Ite	IPA-05	277332	8034971	709 m	A. Salinas D.	Caliciaceae	<i>Rinodina</i> sp.2
Perú	Tachna	Jorge Basadre	Ite	IPA-05	277332	8034971	709 m	A. Salinas D.	Candelariaceae	<i>Candelaria concolor</i> (Dicks.) Arnold
Perú	Tachna	Jorge Basadre	Ite	IPA-05	277332	8034971	709 m	A. Salinas D.	Physciaceae	<i>Hyperphyscia adglutinata</i> (Förste) Mayrhofer & Poelt
Perú	Tachna	Jorge Basadre	Ite	IPA-05	277332	8034971	709 m	A. Salinas D.	Physciaceae	<i>Phaeophyscia</i> sp.
Perú	Tachna	Jorge Basadre	Ite	IPA-05	277332	8034971	709 m	A. Salinas D.	Physciaceae	<i>Physcia erumpens</i> Moberg
Perú	Tachna	Jorge Basadre	Ite	IPA-06	277312	8034893	685 m	A. Salinas D.	Parmeliaceae	<i>Canoparmelia</i> sp.
Perú	Tachna	Jorge Basadre	Ite	IPA-07	277312	8034893	685 m	A. Salinas D.	Parmeliaceae	<i>Canoparmelia</i> cf. <i>raunkaeri</i> (Vain.) Elix & Hale
Perú	Tachna	Jorge Basadre	Ite	IPA-07	277312	8034893	685 m	A. Salinas D.	Parmeliaceae	<i>Canoparmelia texana</i> (Tuck.) Elix & Hale
Perú	Tachna	Jorge Basadre	Ite	IPA-07	277312	8034893	685 m	A. Salinas D.	Parmeliaceae	<i>Flavopunctelia flaventior</i> (Sirt.) Jorg.
Perú	Tachna	Jorge Basadre	Ite	IPA-07	277312	8034893	685 m	A. Salinas D.	Physciaceae	<i>Physcia erumpens</i> Moberg
Perú	Tachna	Jorge Basadre	Ite	IPA-08	277306	8034848	683 m	A. Salinas D.	Parmeliaceae	<i>Canoparmelia texana</i> (Tuck.) Elix & Hale
Perú	Tachna	Jorge Basadre	Ite	IPA-09	277306	8034848	683 m	A. Salinas D.	Parmeliaceae	<i>Canoparmelia texana</i> (Tuck.) Elix & Hale
Perú	Tachna	Jorge Basadre	Ite	IPA-10	277196	8034510	641 m	A. Salinas D.	Parmeliaceae	<i>Canoparmelia texana</i> (Tuck.) Elix & Hale
Perú	Tachna	Jorge Basadre	Ite	IPA-11	277196	8034510	641 m	A. Salinas D.	Chysostrichaceae	<i>Chysothrix candelaris</i> (L.) J. & S. Gondon
Perú	Tachna	Jorge Basadre	Ite	IPA-11	277196	8034510	641 m	A. Salinas D.	Stereocaulaceae	<i>Lepraria</i> sp.



*[Signature]*  
 Blgo. Daniel Fernando Ramos Aramibar  
 CBF 9552 Especialista en líquenes

UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA  
 JOSE ANTONIO VALERIANO ZAPANA  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL  
 DOCENTE ORDINARIO  
 DIRECTOR DE PROYECTO

Dirección: Av. Jorge Chávez No. 610 Cercado, Arequipa - Perú  
 Página web: <http://www.imod.org.pe/>  
 Correo: [imod.per@gmail.com](mailto:imod.per@gmail.com)



INSTITUTO CIENTIFICO MICHAEL OWEN DILLON (IMOD)

Investigación, Conservación, Educación y Transformación de Recursos

Reconocido por Resolución de Dirección General Nro. 140-2016-SERFOR/DGGSPFFS



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

**CONSTANCIA DE DETERMINACIÓN DE MUESTRAS  
N° 007-2021**

El Director del Instituto Científico Michael Owen Dillon (IMOD).

**HACE CONSTAR:**

Que las 8 muestras de líquenes presentadas por el Sr. **Armando André Salinas Delgado**, provenientes de las "Lomas de Huacaluna", distrito y provincia de Ilo, departamento de Moquegua, recolectadas para la realización de la Tesis titulada: **"BIODIVERSIDAD, ÍNDICE DE PUREZA ATMOSFÉRICA (IPA) Y BIOACUMULACIÓN DE METALES (Pb, Cr, Cd, Cu, Ni, Zn) EN LOS LÍQUENES PRESENTES EN LAS LOMAS DE AMOQUINTO, HUACALUNA Y TACAHUAY PRESENTES EN LAS REGIONES DE MOQUEGUA Y TACNA, 2020 y 2021"**, en la Universidad Nacional de Moquegua, fueron determinadas taxonómicamente en las instalaciones del Herbario del Instituto Científico Michael Owen Dillon, "Herbario Sur Peruano" (HSP). Se adjunta en anexo la lista de determinaciones. Las muestras fueron determinadas por el Blgo. Daniel Fernando Ramos Aranibar especialista en líquenes.

La clasificación se ha realizado según la propuesta por: Lücking *et al.* en "The 2016 classification of lichenized fungi in the Ascomycota and Basidiomycota - Approaching one thousand genera" (2016) y Lücking *et al.* en "Corrections and amendments to the 2016 classification of lichenized fungi in the Ascomycota and Basidiomycota" (2017).

Se expide la presente, a solicitud del interesado, para los fines que estime convenientes.

Arequipa, 20 de agosto del 2021



Dr. Blgo. Víctor Quipuscoa Silvestre  
C. B. P. N° 2484

Director del Instituto Científico Michael Owen Dillon (IMOD)  
Herbario Sur Peruano (HSP)  
vquipuscoas@hotmail.com  
vquipuscoa@imod.org.pe

Dirección: Av. Jorge Chávez No. 610 Cercado, Arequipa - Perú  
Página web: <http://www.imod.org.pe/>  
Correo: [imod.per@gmail.com](mailto:imod.per@gmail.com)



## INSTITUTO CIENTIFICO MICHAEL OWEN DILLON (IMOD)

Investigación, Conservación, Educación y Transformación de Recursos

Reconocido por Resolución de Dirección General Nro. 140-2016-SERFOR/DGGSPPFS



Ítem	País	Provincia	Distrito	Estación	Este	Norte	Elevación	Colector	Familia	Especie
1	Perú	Ilo	Ilo	P-02	277047	8035841	1066 m	A. Salinas D.	Parmeliaceae	<i>Flavoparmelia caperata</i> (L.) Hale
2	Perú	Ilo	Ilo	P-04	277067	8035827	1056 m	A. Salinas D.	Candelariaceae	<i>Candelaria concolor</i> (Dieks.) Arnold
3	Perú	Ilo	Ilo	P-04	277067	8035827	1056 m	A. Salinas D.	Parmeliaceae	<i>Usnea cf. dasaea</i> Stirt.
4	Perú	Ilo	Ilo	P-07	277033	8035746	1056 m	A. Salinas D.	Parmeliaceae	<i>Canoparmelia texana</i> (Tuck.) Elix & Hale
5	Perú	Ilo	Ilo	P-10	276975	8035415	975 m	A. Salinas D.	Parmeliaceae	<i>Usnea subcornuta</i> Stirt.
6	Perú	Ilo	Ilo	P-10	276975	8035415	975 m	A. Salinas D.	Parmeliaceae	<i>Parmotrema</i> sp.
7	Perú	Ilo	Ilo	P-17	277804	8035371	1004 m	A. Salinas D.	Candelariaceae	<i>Candelariella cf. reflexa</i> (Nyl.) Lettau
8	Perú	Ilo	Ilo	P-17	277804	8035371	1004 m	A. Salinas D.	Physciaceae	<i>Physcia unculata</i> Moberg

Bigo. Daniel Fernando Ramos Aranibar  
CBP 9552, Especialista en líquenes



Dirección: Av. Jorge Chávez No. 610 Cercado, Arequipa - Perú

Página web: <http://www.imod.org.pe/>

Correo: [imod\\_per@gmail.com](mailto:imod_per@gmail.com)

## Anexo 2. Certificado de material de referencia



EUROPEAN COMMISSION  
JOINT RESEARCH CENTRE  
Institute for Reference Materials and Measurements



# CERTIFIED REFERENCE MATERIAL BCR<sup>®</sup> – 482

## CERTIFICATE OF ANALYSIS

LICHEN			
	Mass fraction based on dry mass		Number of accepted sets of data p
	Certified value <sup>1)</sup> [mg/kg]	Uncertainty <sup>2)</sup> [mg/kg]	
Al	1103	24	9
As	0.85	0.07	6
Cd	0.56	0.02	8
Cr	4.12	0.15	7
Cu	7.03	0.19	10
Hg	0.48	0.02	8
Ni	2.47	0.07	8
Pb	40.9	1.4	10
Zn	100.6	2.2	13

<sup>1)</sup> The certified value was calculated from the unweighted mean of the means of p accepted datasets. The certified value is traceable to the SI.  
<sup>2)</sup> Half-width of the 95 % confidence interval of the mean defined in <sup>1)</sup>.

This certificate is valid for one year after purchase.

Sales date:

The minimum amount of sample to be used is 250 mg.

### DESCRIPTION OF THE SAMPLE


The material consists of a lichen powder in a glass bottle containing about 15 g of powder. Additional information on the preparation, the certified and indicative values is given in the certification report.

### NOTE

This material has been certified by BCR (Community Bureau of Reference, the former reference materials programme of the European Commission). The certificate has been revised under the responsibility of IRMM.

Brussels, December 1995  
Revised: May 2007

Signed: \_\_\_\_\_

  
Prof. Dr. Hendrik Emons  
Unit for Reference Materials  
EC-JRC-IRMM  
Retieseweg 111  
2440 Geel, Belgium

#### **ANALYTICAL METHOD USED FOR CERTIFICATION**

- Cold vapour atomic absorption spectrometry
- Cold vapour atomic fluorescence spectrometry
- Direct current plasma atomic emission spectrometry
- Differential pulse anodic stripping voltammetry
- Electrothermal atomic absorption spectrometry
- Hydride generation atomic absorption spectrometry
- Inductively coupled plasma/isotope dilution mass spectrometry
- Inductively coupled plasma emission spectrometry
- Inductively coupled plasma mass spectrometry
- Instrumental neutron activation analysis
- Isotope dilution mass spectrometry
- Neutron activation analysis with radiochemical separation

#### **PARTICIPANTS**

- Acadia University, Department of Chemistry, Wolfville (CA)
- Arbeitsgemeinschaft für Bioindikation, Berne (CH)
- CNRS, Service Central d'Analyse, Vernaison (FR)
- ECN, Energieonderzoekcentrum, Petten (NL)
- GSF-Forschungszentrum, Neuherberg (DE)
- Istituto Superiore di Sanità, Roma (IT)
- Joint Research Centre, Environment Institute, Ispra (IT)
- LONZA AG, Visp (CH)
- Risø National Laboratory, Roskilde (DK)
- Saint Mary's University, Halifax (CA)
- Universidad de Oviedo, Facultad de Química, Oviedo (ES)
- Università di Pavia, Chimica Generale, Pavia (IT)
- University of Gent, Gent (BE)

#### **SAFETY INFORMATION**

The usual laboratory safety precautions apply.

#### **INSTRUCTIONS FOR USE**

It is intended for the verification or validation of an analytical procedure for the determination of the analytes or a certain part of them. This material is not intended for use as a calibrant. The sample can be used as it is from the bottle. Before the bottle is opened, it should be shaken manually so that the material is re-homogenised. The correction to dry mass should be made on a separate portion of 100 mg which should be dried in an oven at 102 °C for 3-4 h until constant mass is attained.

#### **STORAGE**

Upon arrival the material shall be stored at 18 °C in the dark.

However, the European Commission cannot be held responsible for changes that happen during storage of the material at the customer's premises, especially of opened samples.

#### **LEGAL NOTICE**

Neither IRMM, its subsidiaries, its contractors nor any person acting on their behalf,

(a) make any warranty or representation, express or implied that the use of any information, material, apparatus, method or process disclosed in this document does not infringe any privately owned intellectual property rights; or

(b) assume any liability with respect to, or for damages resulting from, the use of any information, material, apparatus, method or process disclosed in this document save for loss or damage arising solely and directly from the negligence of IRMM or any of its subsidiaries.

#### **NOTE**

A technical report on the production of BCR-482 is available on the internet (<http://www.irmm.jrc.be>).

A paper copy can be obtained from IRMM on request.

---

European Commission – Joint Research Centre  
Institute for Reference Materials and Measurements (IRMM)  
Retieseweg 111, B - 2440 Geel (Belgium)  
Telephone: +32-(0)14-571.722 - Telefax: +32-(0)14-590.406

---

### Anexo 3. Protocolo para la digestión acida

#### Procedimiento de digestión asistido con Ácido nítrico, Ácido Clorhídrico y Peróxido de hidrogeno

##### 1. Principio

La muestra seca y molida se digiere en Ácido nítrico, Ácido Clorhídrico y Peróxido de hidrogeno

##### 2. Equipos y materiales especiales

- Digestor de microondas.
- Rotor digestor de microondas.
- Sensor.
- Tubos de digestión.
- Balanza analítica.
- Material de referencia.

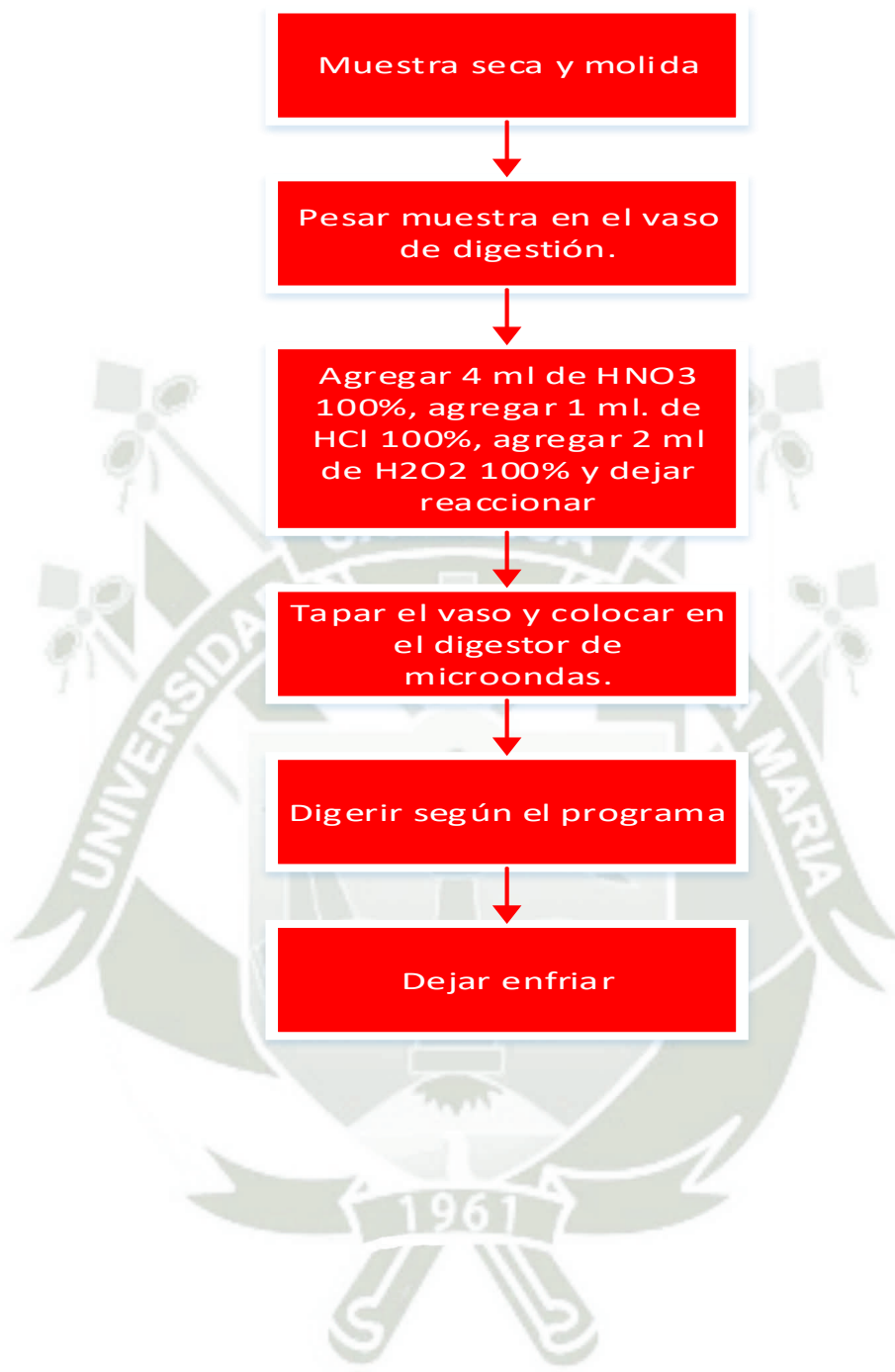
##### 3. Reactivos

Debe usarse solamente reactivos de grado analítico o grado para trazas

- 3.1. Ácido nítrico,  $\text{HNO}_3$  Ultra puro
- 3.2. Ácido clorhídrico,  $\text{HCl}$  Ultra puro
- 3.3. Peróxido de hidrogeno,  $\text{H}_2\text{O}_2$  Ultra puro

##### 4. Procedimiento

- 4.1. Pesar 0.25 g de muestra seca en los tubos de digestión microondas. Incluir 1 blanco, 1 muestra de referencia
- 4.2. Agregar 4 ml. de Ácido Nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) ultra puro, 1 ml. de Ácido clorhídrico ( $\text{HCl}$ ) ultra puro y peróxido de hidrogeno ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) ultra puro. Tapar y colocar los tubos en el rotor de microondas asegurándose de colocar el sensor en la posición uno.
- 4.3. Tapar el rotor cargado con las muestras y colocar dentro del equipo microondas, cerrar y seleccionar en la pantalla la programación específica para la digestión de muestras, procurando verificar los parámetros como numero de muestras, peso de muestras, volumen acido, venteo y tiempo de digestión.
- 4.4. Una vez acabada la digestión retirar el rotor del interior del equipo y quitar la tapa del rotor. Dejar enfriar.



## **Anexo 4.** Protocolo para lavado tubos de digestión asistido con Ácido nítrico

### Procedimiento de lavado tubos de digestión asistido con Ácido nítrico

#### **1. Principio**

Lavado de tubos de digestión en Ácido nítrico.

#### **2. Equipos y materiales especiales**

- Digestor de microondas.
- Rotor digestor de microondas.
- Sensor.
- Tubos de digestión.

#### **3. Reactivos**

3.1. Ácido nítrico,  $\text{HNO}_3$  5% PA

3.2. Agua ultra pura tipo 2

#### **4. Procedimiento**

4.1. Limpiar los vasos de digestión calentándolos en el microondas. Agregar 5 ml. de Ácido Nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) 5% PA. Tapar y colocar los tubos en el rotor de microondas asegurándose de colocar el sensor en la posición uno.

4.2. Tapar el rotor cargado con las muestras y colocar dentro del equipo microondas, cerrar y seleccionar en la pantalla la programación específica para lavado de tubos.

4.3. Una vez acabada la digestión retirar el rotor del interior del equipo y quitar la tapa del rotor. Dejar enfriar.

4.4. Lavar con agua ultra pura tipo 2 y secar.

**Anexo 5.** Validación de la metodología para el estudio de metales como Ni, Cu, Zn, Cd y Pb en las diferentes especies de líquenes

El análisis de metales traza sobre el material certificado BCR – 482 (liquen *Pseudevernia furfurácea*)

**Tabla 0-1.** Concentración de metales presentes en el material certificado evaluado en la metodología experimental

	<b>Valor certificado</b> [mg/kg]	<b>Incertidumbre</b> [mg/kg]	<b>Valor obtenido</b> [mg/kg]	<b>Incertidumbre</b> [mg/kg]
Cr	4.12	0.15	2.57	0.32
Ni	2.47	0.07	2.54	0.7
Cu	7.03	0.19	7.14	0.45
Zn	100.6	2.2	94.91	5.97
Cd	0.56	0.02	0.56	0.06
Pb	40.9	1.4	39.22	1.61

## Anexo 6. Resultados de análisis químicos



### INFORME DE ENSAYO N° 2-00001/23

Página 1/11

DATOS DEL CLIENTE	
Solicitado por	: UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA
Domicilio legal	: CAL. ANCASH 1RA CUADRA S/N - MARISCAL NIETO - MOQUEGUA - MOQUEGUA
DATOS DE LA MUESTRA	
Producto declarado <sup>(A)</sup>	: TEJIDO VEGETAL
Lugar de Muestreo <sup>(A)</sup>	: TORATA, MARISCAL NIETO, MOQUEGUA
Fecha de Muestreo <sup>(A)</sup>	: 2022-07-04, 05, 06, 07, 08
Procedencia	: Proporcionada por el solicitante.
Cantidad recibida	: 0,03 kg x muestra
Presentación y condición de recepción	: Bolsas de polipropileno
Identificación y descripción <sup>(A)</sup>	: Según se indica
Fecha de recepción	: 2022-10-28
Fecha de inicio del ensayo	: 2022-10-31
Fecha de término del ensayo	: 2022-12-23
Ensayo realizado en	: Laboratorio Ambiental Arequipa
Identificado con	: HS 22010536 (EXMA-14726-2022)
Validez del documento	: Este documento es válido solo para la muestra descrita

Proyecto <sup>(A)</sup> :				
Puntos de muestreo	Coordenadas UTM WGS 84		Descripción de la Estación de Monitoreo	Observaciones
	ESTE	NORTE		
B1-TALA	19K322115	8108411	-----	-----
21B-TALA	19K320680	8108605	-----	-----
21D-TALA	19K320586	8108484	-----	-----
21I-TALA	19K320669	8108460	-----	-----
21L-TALA	19K320902	8108523	-----	-----
21Q-TALA	19K320868	8180654	-----	-----
A1-ALTO COSCORE	19K316726	8106826	-----	-----
20A-ALTO COSCORE	19K317482	8106674	-----	-----
20M-ALTO COSCORE	19K317197	8106557	-----	-----
20N-ALTO COSCORE	19K317244	8106561	-----	-----

<sup>(A)</sup> Datos proporcionados por el solicitante. El laboratorio no es responsable cuando la información proporcionada por el solicitante pueda afectar la validez de los resultados

**"Este documento ha sido emitido con firma digital"**

AREQUIPA  
Calle Teniente Rodríguez N° 1415  
Miraflores – Arequipa  
T. (054) 265572

CALLAO  
Oficina Principal  
Av. Santa Rosa 601, La Perla – Callao  
T. (511) 319 9000

[info@cerper.com](mailto:info@cerper.com) – [www.cerper.com](http://www.cerper.com)

" EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"

**INFORME DE ENSAYO N° 2-00001/23**

Página 2/11

Puntos de muestreo	Proyecto <sup>(1)</sup> :		Descripción de la Estación de Monitoreo	Observaciones
	Coordenadas UTM WGS 84			
	ESTE	NORTE		
20F-ALTO COSCORE	19K317412	8106672	---	---
20K-ALTO COSCORE	19K317348	8106672	---	---
22A-ALTARANI	19K330596	8107418	---	---
22E-ALTARANI	19K330824	8107545	---	---
22I-ALTARANI	---	---	---	---
22H-ALTARANI	19K330725	8107401	---	---
22D-ALTARANI	19K330613	8107518	---	---
22J-ALTARANI	19K330499	8107544	---	---
23A-CALIENTES	19K315873	8104098	---	---
23C-CALIENTES	19K315856	8104031	---	---
23G-CALIENTES	19K315582	8104087	---	---
23J-CALIENTES	19K316173	8103959	---	---
E2-CALIENTES	19K330576	8107408	---	---
F1-CALIENTES	19K316002	8103970	---	---
24B-CHARAQUE	19K324693	8110012	---	---
24C-CHARAQUE	19K324689	8110039	---	---
24E-CHARAQUE	19K324739	8110048	---	---
24F-CHARAQUE	19K324772	8101996	---	---
G1-CHARAQUE	19K324778	8110128	---	---
G2-CHARAQUE	19K324732	8110153	---	---

<sup>(1)</sup> Datos proporcionados por el solicitante. El laboratorio no es responsable cuando la información proporcionada por el solicitante pueda afectar la validez de los resultados

"Este documento ha sido emitido con firma digital"

AREQUIPA  
Calle Teniente Rodríguez N° 1415  
Miraflores – Arequipa  
T. (054) 265572

CALLAO  
Oficina Principal  
Av. Santa Rosa 601, La Perla – Callao  
T. (511) 319 9000

[info@cerper.com](mailto:info@cerper.com) – [www.cerper.com](http://www.cerper.com)

\* EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE \*

**INFORME DE ENSAYO N° 2-00001/23**

Página 4/11

**RESULTADOS (Continuación)**

Parámetro	Límite de Detección	Unidad	Estación de Muestreo			
			21L-TALA	21Q-TALA	A1-ALTO COSCORE	20A-ALTO COSCORE
			Fecha y Hora de Muestreo			
			2022-07-05 14:17	2022-07-05 15:09	2022-07-04 14:35	2022-07-04 15:08
			Tipo de Muestra			
			Tejido Vegetal	Tejido Vegetal	Tejido Vegetal	Tejido Vegetal
Parámetro	Límite de Detección	Unidad	Resultados	Resultados	Resultados	Resultados
<b>Metales ICP-Masa</b>						
Aluminio (Al)	2	mg/kg	5 149	1 072	7 408	1 923
Antimonio (Sb)	0.04	mg/kg	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04
Arsénico (As)	0.02	mg/kg	6.37	2.08	12.14	3.52
Bario (Ba)	0.04	mg/kg	61.45	11.68	72.25	20.29
Berilio (Be)	0.01	mg/kg	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Bismuto (Bi)	0.05	mg/kg	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Boro (B)	1	mg/kg	<1	<1	<1	<1
Cadmio (Cd)	0.02	mg/kg	0.458	0.237	0.354	0.305
Calcio (Ca)	10	mg/kg	8 832	1 718	2 484	6 905
Cobalto (Co)	0.02	mg/kg	1.89	<0.02	3.37	<0.02
Cobre (Cu)	0.02	mg/kg	191.0	42.22	249.8	88.07
Cromo (Cr)	0.2	mg/kg	2.07	<0.2	3.53	<0.2
Estaño (Sn)	0.025	mg/kg	0.17	<0.025	0.18	<0.025
Estroncio (Sr)	0.045	mg/kg	37.04	11.05	46.82	20.10
Fósforo (P)	1	mg/kg	1 362	742	1 707	1 298
Hierro (Fe)	0.05	mg/kg	4 853	1 111	8 203	2 035
Litio (Li)	0.025	mg/kg	5.53	0.83	9.23	2.39
Magnesio (Mg)	1	mg/kg	1 745	565.1	2 931	918.1
Manganeso (Mn)	0.03	mg/kg	89.6	34.1	182.6	43.0
Mercurio (Hg)	0.03	mg/kg	0.245	<0.03	<0.03	<0.03
Molibdeno (Mo)	0.02	mg/kg	6.76	1.85	9.28	2.75
Níquel (Ni)	0.01	mg/kg	2.91	0.65	4.07	1.05
Plata (Ag)	0.02	mg/kg	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
Plomo (Pb)	0.02	mg/kg	11.05	4.04	16.64	5.31
Potasio (K)	10	mg/kg	3 895	2 892	3 941	3 950
Selenio (Se)	0.03	mg/kg	0.33	<0.03	0.77	<0.03
Silicio (Si)	1	mg/kg	<1	<1	<1	<1
Sodio (Na)	2	mg/kg	209.6	115.8	222.2	192.8
Talio (Tl)	0.02	mg/kg	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
Telurio (Te)	0.05	mg/kg	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Titanio (Ti)	0.05	mg/kg	122.19	27.13	110.71	55.08
Uranio (U)	0.005	mg/kg	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
Vanadio (V)	0.02	mg/kg	10.35	2.41	15.74	4.32
Wolframio (W)	0.05	mg/kg	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Zinc (Zn)	0.02	mg/kg	80.55	32.63	79.19	41.38

"Este documento ha sido emitido con firma digital"

 AREQUIPA  
 Calle Teniente Rodríguez N° 1415  
 Miraflores – Arequipa  
 T. (054) 265572

 CALLAO  
 Oficina Principal  
 Av. Santa Rosa 601, La Perla – Callao  
 T. (511) 319 9000

[info@cerper.com](mailto:info@cerper.com) – [www.cerper.com](http://www.cerper.com)

\* EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE

**INFORME DE ENSAYO N° 2-00001/23**

Página 5/11

**RESULTADOS (Continuación)**

Parámetro	Límite de Detección	Unidad	Estación de Muestreo				
			20M-ALTO COSCORE	20N-ALTO COSCORE	20F-ALTO COSCORE	20K-ALTO COSCORE	
			Fecha y Hora de Muestreo	2022-07-04 16:59	2022-07-04 17:15	2022-07-04 15:24	2022-07-04 16:52
			Tipo de Muestra	Tejido Vegetal	Tejido Vegetal	Tejido Vegetal	Tejido Vegetal
Resultados	Resultados	Resultados	Resultados	Resultados	Resultados		
<b>Metales ICP-Masa</b>							
Aluminio (Al)	2	mg/kg	4 206	1 205	2 332	4 332	
Antimonio (Sb)	0,04	mg/kg	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	
Arsénico (As)	0,02	mg/kg	8,71	4,34	5,36	7,27	
Bario (Ba)	0,04	mg/kg	23,8	19,9	36,9	41,9	
Berilio (Be)	0,01	mg/kg	<0,01	<0,01	<0,01	0,28	
Bismuto (Bi)	0,05	mg/kg	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
Boro (B)	1	mg/kg	<1	<1	<1	<1	
Cadmio (Cd)	0,02	mg/kg	0,344	0,292	0,473	0,394	
Calcio (Ca)	10	mg/kg	1 012	1 191	9 687	2 835	
Cobalto (Co)	0,02	mg/kg	1,39	<0,02	0,98	1,88	
Cobre (Cu)	0,02	mg/kg	136,4	155,0	68,2	139,3	
Cromo (Cr)	0,2	mg/kg	2,16	<0,2	1,16	2,00	
Estaño (Sn)	0,025	mg/kg	<0,025	<0,025	0,21	0,20	
Estroncio (Sr)	0,045	mg/kg	17,9	9,98	49,7	35,1	
Fósforo (P)	1	mg/kg	2 306	1 316	1 100	1 505	
Hierro (Fe)	0,05	mg/kg	4 387	1 390	2 356	4 543	
Litio (Li)	0,025	mg/kg	3,99	1,53	4,12	5,73	
Magnesio (Mg)	1	mg/kg	1 585	594,9	1 491	2 299	
Manganeso (Mn)	0,03	mg/kg	71,9	36,3	95,2	158,1	
Mercurio (Hg)	0,03	mg/kg	0,484	<0,03	0,254	<0,03	
Molibdeno (Mo)	0,02	mg/kg	7,94	4,67	2,57	5,65	
Níquel (Ni)	0,01	mg/kg	1,91	3,00	1,26	2,25	
Plata (Ag)	0,02	mg/kg	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	
Plomo (Pb)	0,02	mg/kg	9,29	7,26	7,10	9,91	
Potasio (K)	10	mg/kg	5 477	3 902	4 037	5 138	
Selenio (Se)	0,03	mg/kg	0,47	0,58	<0,03	<0,03	
Silicio (Si)	1	mg/kg	<1	<1	<1	<1	
Sodio (Na)	2	mg/kg	173,0	117,1	338,3	211,6	
Talio (Tl)	0,02	mg/kg	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	
Telurio (Te)	0,05	mg/kg	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
Titanio (Ti)	0,05	mg/kg	112,8	24,8	53,8	70,0	
Uranio (U)	0,005	mg/kg	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	
Vanadio (V)	0,02	mg/kg	9,74	2,62	4,87	8,38	
Wolframio (W)	0,05	mg/kg	0,21	<0,05	<0,05	0,25	
Zinc (Zn)	0,02	mg/kg	94,6	48,1	41,8	52,9	

“Este documento ha sido emitido con firma digital”

 AREQUIPA  
 Calle Teniente Rodríguez N° 1415  
 Miraflores – Arequipa  
 T. (054) 265572

 CALLAO  
 Oficina Principal  
 Av. Santa Rosa 601, La Perla – Callao  
 T. (511) 319 9000

[info@cerper.com](mailto:info@cerper.com) – [www.cerper.com](http://www.cerper.com)

“ EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUTE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE ”

**INFORME DE ENSAYO N° 2-00001/23**

Página 6/11

**RESULTADOS (Continuación)**

Parámetro	Límite de Detección	Unidad	Estación de Muestreo			
			22A-ALTARANI	22E-ALTARANI	22I-ALTARANI	22H-ALTARANI
			Fecha y Hora de Muestreo	2022-07-06 10:47	2022-07-06 14:10	2022-07-06 14:27
Tipo de Muestra	Tejido Vegetal	Tejido Vegetal	Tejido Vegetal	Tejido Vegetal		
Resultados	Resultados	Resultados	Resultados	Resultados		
<b>Metales ICP-Masa</b>						
Aluminio (Al)	2	mg/kg	5 569	2 536	3 331	1 973
Antimonio (Sb)	0,04	mg/kg	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04
Arsénico (As)	0,02	mg/kg	11,82	5,65	7,82	4,79
Bario (Ba)	0,04	mg/kg	43,0	29,6	41,2	23,9
Berilio (Be)	0,01	mg/kg	0,37	0,46	<0,01	0,28
Bismuto (Bi)	0,05	mg/kg	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Boro (B)	1	mg/kg	<1	<1	<1	<1
Cadmio (Cd)	0,02	mg/kg	0,222	0,227	0,381	0,260
Calcio (Ca)	10	mg/kg	859	791	7 328	1 129
Cobalto (Co)	0,02	mg/kg	2,04	0,81	2,01	0,85
Cobre (Cu)	0,02	mg/kg	218,7	284,2	153,0	263,8
Cromo (Cr)	0,2	mg/kg	2,34	<0,2	1,38	<0,2
Estañio (Sn)	0,025	mg/kg	0,24	0,25	1,01	0,17
Estroncio (Sr)	0,045	mg/kg	18,5	12,5	29,8	12,4
Fósforo (P)	1	mg/kg	1 727	864	1 650	1 374
Hierro (Fe)	0,05	mg/kg	6 177	2 800	3 776	2 290
Litio (Li)	0,025	mg/kg	4,36	1,54	3,20	2,17
Magnesio (Mg)	1	mg/kg	1 599	833,9	1 032	777,0
Manganeso (Mn)	0,03	mg/kg	241,4	48,7	442,6	49,1
Mercurio (Hg)	0,03	mg/kg	0,380	<0,03	0,300	<0,03
Molibdeno (Mo)	0,02	mg/kg	11,03	14,66	8,60	9,06
Níquel (Ni)	0,01	mg/kg	2,30	1,01	1,48	0,90
Plata (Ag)	0,02	mg/kg	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Plomo (Pb)	0,02	mg/kg	15,39	16,83	11,85	11,06
Potasio (K)	10	mg/kg	3 606	3 997	3 066	4 209
Selenio (Se)	0,03	mg/kg	0,80	0,64	0,69	0,36
Silicio (Si)	1	mg/kg	<1	<1	<1	<1
Sodio (Na)	2	mg/kg	153,6	167,7	156,0	117,3
Talio (Tl)	0,02	mg/kg	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Telurio (Te)	0,05	mg/kg	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Titanio (Ti)	0,05	mg/kg	117,2	58,3	83,9	38,5
Uranio (U)	0,005	mg/kg	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Vanadio (V)	0,02	mg/kg	11,05	5,18	7,07	3,82
Wolframio (W)	0,05	mg/kg	0,26	0,26	0,33	0,22
Zinc (Zn)	0,02	mg/kg	61,2	80,5	51,9	69,1

"Este documento ha sido emitido con firma digital"

AREQUIPA  
Calle Teniente Rodríguez N° 1415  
Miraflores – Arequipa  
T. (054) 265572

CALLAO  
Oficina Principal  
Av. Santa Rosa 601, La Perla – Callao  
T. (511) 319 9000

[info@cerper.com](mailto:info@cerper.com) – [www.cerper.com](http://www.cerper.com)

" EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUTE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"

## INFORME DE ENSAYO N° 2-00001/23

Página 7/11

### RESULTADOS (Continuación)

Parámetro	Límite de Detección	Unidad	Estación de Muestreo			
			22D-ALTARANI	22J-ALTARANI	23A-CALIENTES	23C-CALIENTES
			Fecha y Hora de Muestreo	Fecha y Hora de Muestreo	Fecha y Hora de Muestreo	Fecha y Hora de Muestreo
			Tejido Vegetal	Tejido Vegetal	Tejido Vegetal	Tejido Vegetal
			Resultados	Resultados	Resultados	Resultados
<b>Metales ICP-Masa</b>						
Aluminio (Al)	2	mg/kg	2 761	6 194	2 417	4 412
Antimonio (Sb)	0,04	mg/kg	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04
Arsénico (As)	0,02	mg/kg	5,21	12,12	3,75	6,64
Bario (Ba)	0,04	mg/kg	29,9	52,3	30,6	42,2
Berilio (Be)	0,01	mg/kg	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Bismuto (Bi)	0,05	mg/kg	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Boro (B)	1	mg/kg	<1	<1	<1	<1
Cadmio (Cd)	0,02	mg/kg	0,442	0,265	<0,02	0,399
Calcio (Ca)	10	mg/kg	4 755	1 454	4 825	14 301
Cobalto (Co)	0,02	mg/kg	1,10	2,18	1,05	1,66
Cobre (Cu)	0,02	mg/kg	272,5	296,1	47,9	77,2
Cromo (Cr)	0,2	mg/kg	1,09	2,71	<0,2	1,85
Estaño (Sn)	0,025	mg/kg	0,119	0,371	<0,025	<0,025
Estroncio (Sr)	0,045	mg/kg	21,5	28,6	24,7	41,1
Fósforo (P)	1	mg/kg	1 708	1 509	1 052	1 316
Hierro (Fe)	0,05	mg/kg	3 355	7 069	2 325	4 393
Litio (Li)	0,025	mg/kg	2,00	5,51	3,82	5,21
Magnesio (Mg)	1	mg/kg	991	1 855	1 111	1 704
Manganeso (Mn)	0,03	mg/kg	72,3	125,0	66,1	90,4
Mercurio (Hg)	0,03	mg/kg	<0,03	0,261	<0,03	<0,03
Molibdeno (Mo)	0,02	mg/kg	9,98	15,01	1,99	3,34
Níquel (Ni)	0,01	mg/kg	1,26	2,75	1,79	2,07
Plata (Ag)	0,02	mg/kg	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Plomo (Pb)	0,02	mg/kg	13,3	22,3	3,40	7,18
Potasio (K)	10	mg/kg	3 675	3 023	3 132	3 456
Selenio (Se)	0,03	mg/kg	0,41	0,38	<0,03	0,39
Silicio (Si)	1	mg/kg	<1	<1	<1	<1
Sodio (Na)	2	mg/kg	115,4	190,6	181,7	244,0
Talio (Tl)	0,02	mg/kg	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Telurio (Te)	0,05	mg/kg	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Titanio (Ti)	0,05	mg/kg	55,6	155,4	45,1	100,7
Uranio (U)	0,005	mg/kg	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Vanadio (V)	0,02	mg/kg	5,23	13,28	5,20	9,99
Wolframio (W)	0,05	mg/kg	0,21	0,33	<0,05	<0,05
Zinc (Zn)	0,02	mg/kg	55,9	57,5	36,2	55,5

"Este documento ha sido emitido con firma digital"

AREQUIPA  
Calle Teniente Rodríguez N° 1415  
Miraflores – Arequipa  
T. (054) 265572

CALLAO  
Oficina Principal  
Av. Santa Rosa 601, La Perla – Callao  
T. (511) 319 9000

[info@cerper.com](mailto:info@cerper.com) – [www.cerper.com](http://www.cerper.com)

" EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUTE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"

## INFORME DE ENSAYO N° 2-00001/23

Página 8/11

### RESULTADOS (Continuación)

Parámetro	Límite de Detección	Unidad	Estación de Muestreo			
			23G- CALIENTES	23J- CALIENTES	E2- CALIENTES	F1- CALIENTES
			Fecha y Hora de Muestreo	Fecha y Hora de Muestreo	Fecha y Hora de Muestreo	Fecha y Hora de Muestreo
			2022-07-07 ----	2022-07-07 12:02	2022-07-07 13:50	2022-07-07 10:00
			Tipo de Muestra			
			Tejido Vegetal	Tejido Vegetal	Tejido Vegetal	Tejido Vegetal
Parámetro	Límite de Detección	Unidad	Resultados	Resultados	Resultados	Resultados
<b>Metales ICP-Masa</b>						
Aluminio (Al)	2	mg/kg	4 403	4 757	2 451	6 073
Antimonio (Sb)	0,04	mg/kg	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04
Arsénico (As)	0,02	mg/kg	6,58	11,67	5,30	12,91
Bario (Ba)	0,04	mg/kg	53,5	43,9	27,9	44,7
Berilio (Be)	0,01	mg/kg	0,274	0,452	0,276	<0,01
Bismuto (Bi)	0,05	mg/kg	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Boro (B)	1	mg/kg	<1	<1	<1	<1
Cadmio (Cd)	0,02	mg/kg	0,518	0,293	0,294	0,283
Calcio (Ca)	10	mg/kg	15 659	10 928	966	2 193
Cobalto (Co)	0,02	mg/kg	1,76	1,87	0,97	2,54
Cobre (Cu)	0,02	mg/kg	89,7	81,5	355,2	126,8
Cromo (Cr)	0,2	mg/kg	1,89	2,37	<0,2	3,03
Estaño (Sn)	0,025	mg/kg	0,22	0,22	0,21	0,19
Estroncio (Sr)	0,045	mg/kg	47,7	44,9	12,2	37,4
Fósforo (P)	1	mg/kg	1 387	1 615	1 408	1 696
Hierro (Fe)	0,05	mg/kg	4 282	4 955	2 777	6 531
Litio (Li)	0,025	mg/kg	4,92	6,66	1,59	9,22
Magnesio (Mg)	1	mg/kg	1 718	1 960	780,0	2 544
Manganeso (Mn)	0,03	mg/kg	103,6	98,4	58,4	131,6
Mercurio (Hg)	0,03	mg/kg	0,302	0,263	<0,03	<0,03
Molibdeno (Mo)	0,02	mg/kg	3,55	4,73	10,03	5,89
Níquel (Ni)	0,01	mg/kg	2,14	2,41	1,15	3,05
Plata (Ag)	0,02	mg/kg	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Plomo (Pb)	0,02	mg/kg	7,65	8,89	15,19	10,66
Potasio (K)	10	mg/kg	3 664	3 290	4 491	4 686
Selenio (Se)	0,03	mg/kg	0,35	0,28	0,60	0,78
Silicio (Si)	1	mg/kg	<1	<1	<1	<1
Sodio (Na)	2	mg/kg	216,1	363,4	231,4	288,6
Talio (Tl)	0,02	mg/kg	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Telurio (Te)	0,05	mg/kg	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Titanio (Ti)	0,05	mg/kg	89,1	76,7	56,1	86,1
Uranio (U)	0,005	mg/kg	<0,005	1,16	<0,005	<0,005
Vanadio (V)	0,02	mg/kg	9,23	11,02	4,88	13,33
Wolframio (W)	0,05	mg/kg	0,27	0,26	0,26	0,29
Zinc (Zn)	0,02	mg/kg	61,8	54,9	91,2	91,6

"Este documento ha sido emitido con firma digital"

AREQUIPA  
Calle Teniente Rodríguez N° 1415  
Miraflores – Arequipa  
T. (054) 265572

CALLAO  
Oficina Principal  
Av. Santa Rosa 601, La Perla – Callao  
T. (511) 319 9000

[info@cerper.com](mailto:info@cerper.com) – [www.cerper.com](http://www.cerper.com)

" EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUTE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"

**INFORME DE ENSAYO N° 2-00001/23**

Página 9/11

**RESULTADOS (Continuación)**

Parámetro	Límite de Detección	Unidad	Estación de Muestreo			
			24B-CHARAQUE	24C-CHARAQUE	24E-CHARAQUE	24F-CHARAQUE
			Fecha y Hora de Muestreo	Fecha y Hora de Muestreo	Fecha y Hora de Muestreo	Fecha y Hora de Muestreo
			Tejido Vegetal	Tejido Vegetal	Tejido Vegetal	Tejido Vegetal
			Resultados	Resultados	Resultados	Resultados
<b>Metales ICP-Masa</b>						
Aluminio (Al)	2	mg/kg	6 967	6 390	4 344	3 022
Antimonio (Sb)	0,04	mg/kg	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04
Arsénico (As)	0,02	mg/kg	6,85	10,29	5,64	3,92
Bario (Ba)	0,04	mg/kg	133,7	52,7	90,0	26,8
Berilio (Be)	0,01	mg/kg	0,367	<0,01	<0,01	<0,01
Bismuto (Bi)	0,05	mg/kg	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Boro (B)	1	mg/kg	<1	<1	<1	<1
Cadmio (Cd)	0,02	mg/kg	0,362	0,267	0,387	0,347
Calcio (Ca)	10	mg/kg	17 287	1 213	6 017	5 588
Cobalto (Co)	0,02	mg/kg	2,36	2,36	1,44	1,03
Cobre (Cu)	0,02	mg/kg	96,4	188,6	191,8	166,3
Cromo (Cr)	0,2	mg/kg	3,72	2,82	2,00	1,15
Estaño (Sn)	0,025	mg/kg	0,14	0,16	0,17	0,13
Estroncio (Sr)	0,045	mg/kg	92,1	26,1	27,8	25,0
Fósforo (P)	1	mg/kg	973	1 743	1 033	1 147
Hierro (Fe)	0,05	mg/kg	7 166	6 568	5 033	3 004
Litio (Li)	0,025	mg/kg	3,87	4,94	3,72	1,40
Magnesio (Mg)	1	mg/kg	1 479	1 899	1 009	904,3
Manganeso (Mn)	0,03	mg/kg	101,9	122,0	74,7	56,9
Mercurio (Hg)	0,03	mg/kg	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Molibdeno (Mo)	0,02	mg/kg	4,94	7,67	7,09	5,78
Níquel (Ni)	0,01	mg/kg	4,13	2,83	2,09	1,28
Plata (Ag)	0,02	mg/kg	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Piombo (Pb)	0,02	mg/kg	14,02	11,95	12,02	8,42
Potasio (K)	10	mg/kg	2 347	4 790	2 856	3 171
Selenio (Se)	0,03	mg/kg	0,67	0,47	0,60	0,27
Silicio (Si)	1	mg/kg	<1	<1	<1	<1
Sodio (Na)	2	mg/kg	347,9	216,3	166,8	167,3
Talio (Tl)	0,02	mg/kg	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Telurio (Te)	0,05	mg/kg	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Titanio (Ti)	0,05	mg/kg	332,9	124,8	146,1	92,3
Uranio (U)	0,005	mg/kg	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Vanadio (V)	0,02	mg/kg	18,96	14,48	11,31	6,40
Wolframio (W)	0,05	mg/kg	<0,05	0,23	0,20	0,17
Zinc (Zn)	0,02	mg/kg	40,0	78,7	44,3	52,7

"Este documento ha sido emitido con firma digital"

 AREQUIPA  
 Calle Teniente Rodríguez N° 1415  
 Miraflores – Arequipa  
 T. (054) 265572

 CALLAO  
 Oficina Principal  
 Av. Santa Rosa 601, La Perla – Callao  
 T. (511) 319 9000

[info@cerper.com](mailto:info@cerper.com) – [www.cerper.com](http://www.cerper.com)

" EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"

**INFORME DE ENSAYO N° 2-00001/23**

Página 9/11

**RESULTADOS** (Continuación)

Parámetro	Limite de Detección	Unidad	Estación de Muestreo	24B-CHARAQUE	24C-CHARAQUE	24E-CHARAQUE	24F-CHARAQUE
			Fecha y Hora de Muestreo	2022-07-08 ----	2022-07-08 11:22	2022-07-08 12:00	2022-07-08 ----
			Tipo de Muestra	Tejido Vegetal	Tejido Vegetal	Tejido Vegetal	Tejido Vegetal
<b>Metales ICP-Masa</b>							
Aluminio (Al)	2	mg/kg	6 967	6 390	4 344	3 022	
Antimonio (Sb)	0,04	mg/kg	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	
Arsénico (As)	0,02	mg/kg	6,85	10,29	5,64	3,92	
Bario (Ba)	0,04	mg/kg	133,7	52,7	90,0	26,8	
Berilio (Be)	0,01	mg/kg	0,367	<0,01	<0,01	<0,01	
Bismuto (Bi)	0,05	mg/kg	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
Boro (B)	1	mg/kg	<1	<1	<1	<1	
Cadmio (Cd)	0,02	mg/kg	0,362	0,267	0,387	0,347	
Calcio (Ca)	10	mg/kg	17 287	1 213	6 017	5 588	
Cobalto (Co)	0,02	mg/kg	2,36	2,36	1,44	1,03	
Cobre (Cu)	0,02	mg/kg	96,4	188,6	191,8	166,3	
Cromo (Cr)	0,2	mg/kg	3,72	2,82	2,00	1,15	
Estaño (Sn)	0,025	mg/kg	0,14	0,16	0,17	0,13	
Estroncio (Sr)	0,045	mg/kg	92,1	26,1	27,8	25,0	
Fósforo (P)	1	mg/kg	973	1 743	1 033	1 147	
Hierro (Fe)	0,05	mg/kg	7 166	6 568	5 033	3 004	
Litio (Li)	0,025	mg/kg	3,87	4,94	3,72	1,40	
Magnesio (Mg)	1	mg/kg	1 479	1 899	1 009	904,3	
Manganeso (Mn)	0,03	mg/kg	101,9	122,0	74,7	56,9	
Mercurio (Hg)	0,03	mg/kg	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	
Molibdeno (Mo)	0,02	mg/kg	4,94	7,67	7,09	5,78	
Níquel (Ni)	0,01	mg/kg	4,13	2,83	2,09	1,28	
Plata (Ag)	0,02	mg/kg	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	
Plomo (Pb)	0,02	mg/kg	14,02	11,95	12,02	8,42	
Potasio (K)	10	mg/kg	2 347	4 790	2 856	3 171	
Selenio (Se)	0,03	mg/kg	0,67	0,47	0,60	0,27	
Silicio (Si)	1	mg/kg	<1	<1	<1	<1	
Sodio (Na)	2	mg/kg	347,9	216,3	166,8	167,3	
Talio (Tl)	0,02	mg/kg	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	
Telurio (Te)	0,05	mg/kg	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
Titanio (Ti)	0,05	mg/kg	332,9	124,8	146,1	92,3	
Uranio (U)	0,005	mg/kg	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	
Vanadio (V)	0,02	mg/kg	18,96	14,48	11,31	6,40	
Wolframio (W)	0,05	mg/kg	<0,05	0,23	0,20	0,17	
Zinc (Zn)	0,02	mg/kg	40,0	78,7	44,3	52,7	

"Este documento ha sido emitido con firma digital"

AREQUIPA  
Calle Teniente Rodríguez N° 1415  
Miraflores – Arequipa  
T. (054) 265572

CALLAO  
Oficina Principal  
Av. Santa Rosa 601, La Perla – Callao  
T. (511) 319 9000

[info@cerper.com](mailto:info@cerper.com) – [www.cerper.com](http://www.cerper.com)

" EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"

**INFORME DE ENSAYO N° 2-00001/23**

Página 10/11

**RESULTADOS** (Continuación)

Parámetro	Límite de Detección	Unidad	Estación de Muestreo	
			G1-CHARAQUE	G2-CHARAQUE
			Fecha y Hora de Muestreo	2022-07-08 10:28
		Tipo de Muestra	Tejido Vegetal	Tejido Vegetal
		Resultados	Resultados	
<b>Metales ICP-Masa</b>				
Aluminio (Al)	2	mg/kg	1 729	2 355
Antimonio (Sb)	0,04	mg/kg	<0,04	<0,04
Arsénico (As)	0,02	mg/kg	4,58	5,12
Bario (Ba)	0,04	mg/kg	26,3	39,3
Berilio (Be)	0,01	mg/kg	0,277	<0,01
Bismuto (Bi)	0,05	mg/kg	<0,05	<0,05
Boro (B)	1	mg/kg	<1	<1
Cadmio (Cd)	0,02	mg/kg	0,346	0,401
Calcio (Ca)	10	mg/kg	995	1 416
Cobalto (Co)	0,02	mg/kg	<0,02	0,999
Cobre (Cu)	0,02	mg/kg	202,7	221,3
Cromo (Cr)	0,2	mg/kg	<0,2	<0,2
Estaño (Sn)	0,025	mg/kg	0,141	<0,025
Estroncio (Sr)	0,045	mg/kg	10,72	15,25
Fósforo (P)	1	mg/kg	1 390	1 530
Hierro (Fe)	0,05	mg/kg	2 094	2 496
Litio (Li)	0,025	mg/kg	1,20	2,13
Magnesio (Mg)	1	mg/kg	691,6	751,9
Manganeso (Mn)	0,03	mg/kg	44,9	53,6
Mercurio (Hg)	0,03	mg/kg	<0,03	<0,03
Molibdeno (Mo)	0,02	mg/kg	6,52	6,25
Níquel (Ni)	0,01	mg/kg	0,96	1,08
Plata (Ag)	0,02	mg/kg	<0,02	<0,02
Plomo (Pb)	0,02	mg/kg	9,38	11,24
Potasio (K)	10	mg/kg	4 549	4 275
Selenio (Se)	0,03	mg/kg	0,55	0,57
Silicio (Si)	1	mg/kg	<1	<1
Sodio (Na)	2	mg/kg	226,5	240,5
Talio (Tl)	0,02	mg/kg	<0,02	<0,02
Telurio (Te)	0,05	mg/kg	<0,05	<0,05
Titanio (Ti)	0,05	mg/kg	51,7	61,9
Uranio (U)	0,005	mg/kg	<0,005	<0,005
Vanadio (V)	0,02	mg/kg	4,28	4,81
Wolframio (W)	0,05	mg/kg	<0,05	0,18
Zinc (Zn)	0,02	mg/kg	75,0	72,3

"Este documento ha sido emitido con firma digital"

AREQUIPA  
Calle Teniente Rodríguez N° 1415  
Miraflores – Arequipa  
T. (054) 265572

CALLAO  
Oficina Principal  
Av. Santa Rosa 601, La Perla – Callao  
T. (511) 319 9000

[info@cerper.com](mailto:info@cerper.com) – [www.cerper.com](http://www.cerper.com)

" EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUTE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"

**INFORME DE ENSAYO N° 2-00001/23**

Página 10/11

**RESULTADOS** (Continuación)

Parámetro	Límite de Detección	Unidad	Estación de Muestreo	
			G1-CHARAQUE	G2-CHARAQUE
			Fecha y Hora de Muestreo	Fecha y Hora de Muestreo
			2022-07-08 10:28	2022-07-08 11:00
			Tipo de Muestra	Tejido Vegetal
			Tejido Vegetal	Tejido Vegetal
Parámetro	Límite de Detección	Unidad	Resultados	Resultados
<b>Metales ICP-Masa</b>				
Aluminio (Al)	2	mg/kg	1 729	2 355
Antimonio (Sb)	0,04	mg/kg	<0,04	<0,04
Arsénico (As)	0,02	mg/kg	4,58	5,12
Bario (Ba)	0,04	mg/kg	26,3	39,3
Berilio (Be)	0,01	mg/kg	0,277	<0,01
Bismuto (Bi)	0,05	mg/kg	<0,05	<0,05
Boro (B)	1	mg/kg	<1	<1
Cadmio (Cd)	0,02	mg/kg	0,346	0,401
Calcio (Ca)	10	mg/kg	995	1 416
Cobalto (Co)	0,02	mg/kg	<0,02	0,999
Cobre (Cu)	0,02	mg/kg	202,7	221,3
Cromo (Cr)	0,2	mg/kg	<0,2	<0,2
Estaño (Sn)	0,025	mg/kg	0,141	<0,025
Estroncio (Sr)	0,045	mg/kg	10,72	15,25
Fósforo (P)	1	mg/kg	1 390	1 530
Hierro (Fe)	0,05	mg/kg	2 094	2 496
Litio (Li)	0,025	mg/kg	1,20	2,13
Magnesio (Mg)	1	mg/kg	691,6	751,9
Manganeso (Mn)	0,03	mg/kg	44,9	53,6
Mercurio (Hg)	0,03	mg/kg	<0,03	<0,03
Molibdeno (Mo)	0,02	mg/kg	6,52	6,25
Níquel (Ni)	0,01	mg/kg	0,96	1,08
Plata (Ag)	0,02	mg/kg	<0,02	<0,02
Plomo (Pb)	0,02	mg/kg	9,38	11,24
Potasio (K)	10	mg/kg	4 549	4 275
Selenio (Se)	0,03	mg/kg	0,55	0,57
Silicio (Si)	1	mg/kg	<1	<1
Sodio (Na)	2	mg/kg	226,5	240,5
Talio (Tl)	0,02	mg/kg	<0,02	<0,02
Telurio (Te)	0,05	mg/kg	<0,05	<0,05
Titanio (Ti)	0,05	mg/kg	51,7	61,9
Uranio (U)	0,005	mg/kg	<0,005	<0,005
Vanadio (V)	0,02	mg/kg	4,28	4,81
Wolframio (W)	0,05	mg/kg	<0,05	0,18
Zinc (Zn)	0,02	mg/kg	75,0	72,3

“Este documento ha sido emitido con firma digital”

AREQUIPA  
Calle Teniente Rodríguez N° 1415  
Miraflores – Arequipa  
T. (054) 265572

CALLAO  
Oficina Principal  
Av. Santa Rosa 601, La Perla – Callao  
T. (511) 319 9000

[info@cerper.com](mailto:info@cerper.com) – [www.cerper.com](http://www.cerper.com)

“ EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE”

## INFORME DE ENSAYO N° 2-00001/23

Página 11/11

### MÉTODOS

**Metales por ICP-MS:** EPA Method 6020B (Preparación de muestra: EPA Method 3051A, 2007). 2014. Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry (Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils, and oils)

### OBSERVACIONES

Prohibida la reproducción parcial de este informe, sin la autorización escrita de CERPER S.A.  
Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de la calidad de la entidad que lo produce.

Arequipa, 03 de enero de 2023

Firmado Digitalmente  
CERTIFICACIONES DEL PERU S.A.  
  
L.c. Eddie Mendoza Mamani  
C.O.P. N° 779  
JEFE DEL LABORATORIO AREQUIPA

“Este documento ha sido emitido con firma digital”

AREQUIPA  
Calle Teniente Rodríguez N° 1415  
Miraflores – Arequipa  
T. (054) 265572

CALLAO  
Oficina Principal  
Av. Santa Rosa 601, La Perla – Callao  
T. (511) 319 9000

[info@cerper.com](mailto:info@cerper.com) – [www.cerper.com](http://www.cerper.com)

“ EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE”

## INFORME DE ENSAYO N° 2-03441/21

Página 1/15

Solicitante : UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA  
 Domicilio legal : CALLE ANCASH S/N CERCADO  
 Producto declarado : **MUESTRAS DE LIQUENES**  
 Lugar de Muestreo : Universidad Nacional de Moquegua - Laboratorio  
 Fecha de Muestreo : 2021-08-04  
 Método de Muestreo :  
 Acta de Inspección :  
 Cantidad de Muestras para el Ensayo : Muestra proporcionada por el solicitante  
 Forma de Presentación : En frasco de plástico, cerrado, refrigerado y preservado  
 Identificación de la muestra : Según se indica  
 Fecha de recepción : 2021-08-06  
 Fecha de inicio del ensayo : 2021-08-07  
 Fecha de término del ensayo :  
 Ensayo realizado en : Laboratorio Ambiental Arequipa  
 Identificado con :  
 Validez del documento : Este documento es válido solo para muestra descrita

Proyecto: "BIODIVERSIDAD, ÍNDICE DE PUREZA ATMOSFÉRICA (IPA) Y BIOACUMULACIÓN DE METALES (Pb, Cr, Cd, Cu, Ni, Zn) EN LOS LIQUENES PRESENTES EN LAS LOMAS DE AMOQUINTO, HUACALUNA (MOQUEGUA) Y TACAHUAY (TACNA), 2020 Y 2021.

Puntos de muestreo	Coordenadas UTM WGS 84		Descripción de la Estación de Monitoreo	Observaciones
	ESTE	NORTE		
Bio-11	19k 277306	8035003	Lomas de Tacahuay	<i>Flavopunctelia flaventior</i> (Stirt.) Hale
Bio-12 (a)	19k 277293	8034960	Lomas de Tacahuay	<i>Canoparmelia</i> sp.
Bio-12 (b)	19k 277293	8034960	Lomas de Tacahuay	<i>Canoparmelia texana</i> (Tuck.) Elix & Hale **
Bio-13 (a)	19k 277293	8034960	Lomas de Tacahuay	<i>Flavopunctelia flaventior</i> (Stirt.) Hale
Bio-13 (b)	19k 277293	8034960	Lomas de Tacahuay	<i>Dirinaria appianata</i> (Fée) D.D. Awasthi **
Bio-15	19k 277301	8034967	Lomas de Tacahuay	<i>Parmotrema reticulatum</i> (Taylor) M. Choisy

## INFORME DE ENSAYO N° 2-03441/21

Página 2/15

Proyecto: "BIODIVERSIDAD, ÍNDICE DE PUREZA ATMOSFÉRICA (IPA) Y BIOACUMULACIÓN DE METALES (Pb, Cr, Cd, Cu, Ni, Zn) EN LOS LÍQUENES PRESENTES EN LAS LOMAS DE AMOQUINTO, HUACALUNA (MOQUEGUA) Y TACAHUAY (TACNA), 2020 Y 2021.

Puntos de muestreo	Coordenadas UTM WGS 84		Descripción de la Estación de Monitoreo	Observaciones
	ESTE	NORTE		
Bio-17	19k 277301	8034967	Lomas de Tacahuay	<i>Canoparmelia texana</i> (Tuck.) Elix & Hale **
Bio-21	19k 277306	8034848	Lomas de Tacahuay	<i>Canoparmelia texana</i> (Tuck.) Elix & Hale
Bio-25	19k 277338	8034796	Lomas de Tacahuay	<i>Dirinaria cf. appplanata</i> (Fée) D.D. Awasthi **
Bio-26	19k 277338	8034796	Lomas de Tacahuay	<i>Canoparmelia texana</i> (Tuck.) Elix & Hale **
Bio-29	19k 277228	8034540	Lomas de Tacahuay	<i>Canoparmelia texana</i> (Tuck.) Elix & Hale **
IPA-01	19k 277397	8035520	Lomas de Tacahuay	<i>Parmotrema reticulatum</i> (Taylor) M. Choisy
IPA-02	19k 277397	8035520	Lomas de Tacahuay	<i>Canoparmelia</i> sp. 1 *
IPA-03	19k 277313	8035371	Lomas de Tacahuay	<i>Canoparmelia</i> sp. 1 **
IPA-04	19k 277313	8035371	Lomas de Tacahuay	<i>Canoparmelia texana</i> (Tuck.) Elix & Hale **
IPA-05 (a)	19k 277332	8034971	Lomas de Tacahuay	<i>Physcia eurupens</i>
IPA-05 (b)	19k 277332	8034971	Lomas de Tacahuay	<i>Phaeophyscia</i> sp.
IPA-06	19k 277312	8034893	Lomas de Tacahuay	<i>Canoparmelia</i> sp. **
IPA-07	19k 277312	8034893	Lomas de Tacahuay	<i>Canoparmelia texana</i> (Tuck.) Elix & Hale
IPA-08	19k 277306	8034848	Lomas de Tacahuay	<i>Canoparmelia texana</i> (Tuck.) Elix & Hale **
IPA-09	19k 277306	8034848	Lomas de Tacahuay	<i>Canoparmelia texana</i> (Tuck.) Elix & Hale **

## INFORME DE ENSAYO N° 2-03441/21

Página 4/15

### RESULTADOS

		Estación de Muestreo				
		IPA - 03 - (1)	IPA - 03 - (2)	IPA - 03 - (3)	IPA - 08 - (1)	
		Fecha y Hora de Muestreo				
		Tipo de Muestra	Líquenes	Líquenes	Líquenes	Líquenes
Parámetro	Límite de Detección	Unidad	Resultados	Resultados	Resultados	Resultados
<b>Metales Totales ICP-Masa</b>						
Cromo		mg/kg	4,9	5,1	4,8	7,1
	Incertidumbre±		3,5	3,7	3,5	5,1
Níquel		mg/kg	3,13	3,04	3,13	4,03
	Incertidumbre±		0,28	0,27	0,28	0,35
Cobre		mg/kg	64,4	65,9	63,2	67,5
	Incertidumbre±		7,4	7,6	7,3	7,8
Zinc		mg/kg	46,2	45,8	44	38,7
	Incertidumbre±		2,7	2,7	2,6	2,2
Cadmio		mg/kg	0,39	0,38	0,38	0,71
	Incertidumbre±		0,07	0,07	0,07	0,14
Plomo		mg/kg	10,6	11,0	10,9	25,9
	Incertidumbre±		0,65	0,67	0,66	1,58

		Estación de Muestreo				
		IPA - 08 - (2)	IPA - 08 - (3)	Bio - 21	IPA-05 (a)	
		Fecha y Hora de Muestreo				
		Tipo de Muestra	Líquenes	Líquenes	Líquenes	Líquenes
Parámetro	Límite de Detección	Unidad	Resultados	Resultados	Resultados	Resultados
<b>Metales Totales ICP-Masa</b>						
Cromo		mg/kg	8,6	8,2	4,8	7,0
	Incertidumbre±		6,2	5,9	3,5	5,1
Níquel		mg/kg	4,12	5,62	3,77	4,36
	Incertidumbre±		0,36	0,49	0,33	0,38
Cobre		mg/kg	67,7	69,8	104,3	113,5
	Incertidumbre±		7,8	8,0	12	13
Zinc		mg/kg	39,2	40,2	41,1	76,9
	Incertidumbre±		2,3	2,3	2,4	4,5
Cadmio		mg/kg	0,67	0,68	0,57	0,48
	Incertidumbre±		0,13	0,13	0,11	0,09
Plomo		mg/kg	26,2	27,0	26,1	34,3
	Incertidumbre±		1,6	1,6	1,6	2,1

(\*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA

INFORME DE ENSAYO N° 2-03441/21

Página 5/15

		Estación de Muestreo				
		Bio-12 (a)	IPA - 07	Bio - 17 - (1)	Bio - 17 - (2)	
		Fecha y Hora de Muestreo				
		Tipo de Muestra	Líquenes	Líquenes	Líquenes	Líquenes
Parámetro	Límite de Detección	Unidad	Resultados	Resultados	Resultados	Resultados
Metales Totales ICP-Masa						
Cromo		mg/kg	7,1	6,4	2,8	2,3
	Incertidumbre±		5,1	4,6	2,0	1,6
Níquel		mg/kg	4,49	3,9	2,39	1,95
	Incertidumbre±		0,4	0,34	0,21	0,17
Cobre		mg/kg	81,8	62,3	32,9	32,6
	Incertidumbre±		9,4	7,2	3,8	3,7
Zinc		mg/kg	52,3	46,6	31,7	32,5
	Incertidumbre±		3	2,7	1,8	1,9
Cadmio		mg/kg	0,3	0,31	0,56	0,55
	Incertidumbre±		0,06	0,06	0,11	0,11
Plomo		mg/kg	23,5	11,3	12,4	12,6
	Incertidumbre±		1,43	0,69	0,76	0,77

		Estación de Muestreo				
		Bio - 17 - (3)	Bio - 11	Bio-13 (a)	IPA - 07	
		Fecha y Hora de Muestreo				
		Tipo de Muestra	Líquenes	Líquenes	Líquenes	Líquenes
Parámetro	Límite de Detección	Unidad	Resultados	Resultados	Resultados	Resultados
Metales Totales ICP-Masa						
Cromo		mg/kg	2,4	3,4	2,5	5,7
	Incertidumbre±		1,7	2,5	1,8	4,1
Níquel		mg/kg	2,15	3,28	1,96	3,74
	Incertidumbre±		0,19	0,29	0,17	0,33
Cobre		mg/kg	31	66,6	50,6	56,8
	Incertidumbre±		3,6	7,7	5,8	6,5
Zinc		mg/kg	30,6	52,9	36,9	34
	Incertidumbre±		1,8	3,1	2,1	2
Cadmio		mg/kg	0,51	0,58	0,47	0,64
	Incertidumbre±		0,1	0,11	0,09	0,12
Plomo		mg/kg	11,8	19,2	18,9	13,2
	Incertidumbre±		0,72	1,17	1,15	0,81

INFORME DE ENSAYO N° 2-03441/21

Página 6/15

		Estación de Muestreo				
		Bio-12 (b) - (1)	Bio-12 (b) - (2)	IPA - 10 - (1)	IPA - 10 - (2)	
		Fecha y Hora de Muestreo				
		Tipo de Muestra				
Parámetro	Límite de Detección	Unidad	Resultados	Resultados	Resultados	Resultados
Metales Totales ICP-Masa						
Cromo		mg/kg	5,3	4,8	6,2	6,4
	Incertidumbre:		3,8	3,5	4,5	4,6
Níquel		mg/kg	3,3	3,14	3,5	3,46
	Incertidumbre:		0,29	0,28	0,31	0,3
Cobre		mg/kg	48,8	48	56,7	58,2
	Incertidumbre:		5,6	5,5	6,5	6,7
Zinc		mg/kg	35,7	35,5	54,1	52,7
	Incertidumbre:		2,1	2,1	3,1	3,1
Cadmio		mg/kg	0,67	0,69	0,64	0,69
	Incertidumbre:		0,13	0,13	0,12	0,13
Plomo		mg/kg	20,2	19,9	12,1	12,5
	Incertidumbre:		1,23	1,21	0,74	0,76

		Estación de Muestreo				
		IPA-05 (b)	IPA - 02 - (1)	IPA - 02 - (2)	IPA - 06 - (1)	
		Fecha y Hora de Muestreo				
		Tipo de Muestra				
Parámetro	Límite de Detección	Unidad	Resultados	Resultados	Resultados	Resultados
Metales Totales ICP-Masa						
Cromo		mg/kg	6,5	8,9	8,7	6,6
	Incertidumbre:		4,7	6,4	6,3	4,7
Níquel		mg/kg	3,48	4,45	4,49	3,55
	Incertidumbre:		0,31	0,39	0,4	0,31
Cobre		mg/kg	62,4	102,7	101,1	56,5
	Incertidumbre:		7,2	11,8	11,6	6,5
Zinc		mg/kg	39,3	62	61,6	39,7
	Incertidumbre:		2,3	3,6	3,6	2,3
Cadmio		mg/kg	0,37	0,21	0,2	0,27
	Incertidumbre:		0,07	0,04	0,04	0,05
Plomo		mg/kg	11,2	18,6	18,1	8,63
	Incertidumbre:		0,68	1,13	1,1	0,53

**INFORME DE ENSAYO N° 2-03441/21**

Página 7/15

		Estación de Muestreo				
		IPA - 06 - (2)	Bio - 26 - (1)	Bio - 26 - (2)	Bio - 29 - (1)	
		Fecha y Hora de Muestreo				
		Tipo de Muestra				
Parámetro	Límite de Detección	Unidad	Resultados	Resultados	Resultados	Resultados
<b>Metales Totales ICP-Masa</b>						
Cromo		mg/kg	6,1	3,3	3,2	2,8
	Incertidumbre:		4,4	2,4	2,3	2
Níquel		mg/kg	3,48	2,29	2,25	2,16
	Incertidumbre:		0,31	0,2	0,2	0,19
Cobre		mg/kg	56,6	46,8	44,8	30,1
	Incertidumbre:		6,5	5,4	5,2	3,5
Zinc		mg/kg	39,8	35,2	34,6	29,7
	Incertidumbre:		2,3	2,0	2,0	1,7
Cadmio		mg/kg	0,26	0,48	0,48	0,57
	Incertidumbre:		0,05	0,09	0,09	0,11
Plomo		mg/kg	8,5	10,7	10,6	12,2
	Incertidumbre:		0,52	0,65	0,65	0,74

		Estación de Muestreo				
		Bio - 29 - (2)	IPA - 04 - (1)	IPA - 04 - (2)	IPA - 01	
		Fecha y Hora de Muestreo				
		Tipo de Muestra				
Parámetro	Límite de Detección	Unidad	Resultados	Resultados	Resultados	Resultados
<b>Metales Totales ICP-Masa</b>						
Cromo		mg/kg	2,6	6,2	5,9	2,7
	Incertidumbre:		1,8	4,5	4,2	1,9
Níquel		mg/kg	2,14	3,58	3,5	2,46
	Incertidumbre:		0,19	0,32	0,31	0,22
Cobre		mg/kg	29,9	85,4	83,2	73,3
	Incertidumbre:		3,4	9,8	9,6	8,4
Zinc		mg/kg	29,9	54,2	53,2	32,7
	Incertidumbre:		1,7	3,1	3,1	1,9
Cadmio		mg/kg	0,57	0,24	0,26	0,29
	Incertidumbre:		0,11	0,05	0,05	0,06
Plomo		mg/kg	12,3	20	20,1	12,1
	Incertidumbre:		0,75	1,22	1,23	0,74

INFORME DE ENSAYO N° 2-03441/21

Página 8/15

		Estación de Muestreo				
		Bio - 15	IPA - 09 - (1)	IPA - 09 - (2)	Bio - 25 - (1)	
		Fecha y Hora de Muestreo				
		Tipo de Muestra				
Parámetro	Límite de Detección	Unidad	Resultados	Resultados	Resultados	Resultados
Metales Totales ICP-Masa						
Cromo	Incertidumbre±	mg/kg	1,7	1,9	1,9	10,3
				1,2	1,4	1,4
Níquel	Incertidumbre±	mg/kg	1,66	1,73	1,7	5,05
				0,15	0,15	0,15
Cobre	Incertidumbre±	mg/kg	50,3	32,3	32,9	85,3
				5,8	3,7	3,8
Zinc	Incertidumbre±	mg/kg	22,5	26,4	27,5	44,7
				1,3	1,5	1,6
Cadmio	Incertidumbre±	mg/kg	0,25	0,45	0,46	0,22
				0,05	0,09	0,09
Plomo	Incertidumbre±	mg/kg	12,6	13,3	13	17,9
				0,77	0,81	0,79

		Estación de Muestreo				
		Bio - 25 - (2)	Bio-13 (b) - (1)	Bio-13 (b) - (2)	Bio - 17	
		Fecha y Hora de Muestreo				
		Tipo de Muestra				
Parámetro	Límite de Detección	Unidad	Resultados	Resultados	Resultados	Resultados
Metales Totales ICP-Masa						
Cromo	Incertidumbre±	mg/kg	10	2,3	2	3,6
				7,2	1,6	1,4
Níquel	Incertidumbre±	mg/kg	5	2,73	1,78	2,66
				0,44	0,24	0,16
Cobre	Incertidumbre±	mg/kg	88	47,3	44,7	50,9
				10,1	5,4	5,1
Zinc	Incertidumbre±	mg/kg	44,1	31,2	29,7	39
				2,6	1,8	1,7
Cadmio	Incertidumbre±	mg/kg	0,22	0,32	0,3	0,26
				0,04	0,06	0,06
Plomo	Incertidumbre±	mg/kg	17,6	13,8	13,1	12,9
				1,07	0,84	0,8

INFORME DE ENSAYO N° 2-03441/21

Página 9/15

		Estación de Muestreo				
		P - 01 - (1)	P - 01 - (2)	P - 01 - (3)	P - 04 (b) - (1)	
		Fecha y Hora de Muestreo				
		Tipo de Muestra	Líquenes	Líquenes	Líquenes	Líquenes
Parámetro	Límite de Detección	Unidad	Resultados	Resultados	Resultados	Resultados
Metales Totales ICP-Masa						
Cromo		mg/kg	3	2,9	3,1	3,1
	Incertidumbre±		2,2	2,1	2,2	2,3
Níquel		mg/kg	2,45	2,42	2,51	2,6
	Incertidumbre±		0,22	0,21	0,22	0,23
Cobre		mg/kg	58,1	58,2	59,9	58,3
	Incertidumbre±		6,7	6,7	6,9	6,7
Zinc		mg/kg	53,8	53,6	54,6	72,5
	Incertidumbre±		3,1	3,1	3,2	4,2
Cadmio		mg/kg	0,93	0,91	0,96	0,92
	Incertidumbre±		0,18	0,17	0,18	0,18
Plomo		mg/kg	6,91	6,72	6,72	6,99
	Incertidumbre±		0,42	0,41	0,41	0,43

		Estación de Muestreo				
		P - 04 (b) - (2)	P - 04 (c) - (1)	P - 04 (c) - (2)	P - 04 (c) - (3)	
		Fecha y Hora de Muestreo				
		Tipo de Muestra	Líquenes	Líquenes	Líquenes	Líquenes
Parámetro	Límite de Detección	Unidad	Resultados	Resultados	Resultados	Resultados
Metales Totales ICP-Masa						
Cromo		mg/kg	3,3	2,2	2,1	2,2
	Incertidumbre±		2,3	1,6	1,5	1,6
Níquel		mg/kg	2,56	1,67	1,56	1,48
	Incertidumbre±		0,23	0,15	0,14	0,13
Cobre		mg/kg	57,6	31,7	30,5	29,7
	Incertidumbre±		6,6	3,6	3,5	3,4
Zinc		mg/kg	70,7	38,6	37	36,2
	Incertidumbre±		4,1	2,2	2,1	2,1
Cadmio		mg/kg	0,9	0,45	0,44	0,42
	Incertidumbre±		0,17	0,09	0,08	0,08
Plomo		mg/kg	6,9	5,99	5,81	5,81
	Incertidumbre±		0,42	0,37	0,35	0,35

**INFORME DE ENSAYO N° 2-03441/21**

Página 10/15

		Estación de Muestreo				
		P - 04 (a)	P - 07 - (1)	P - 07 - (2)	P - 07 - (3)	
		Fecha y Hora de Muestreo				
		Tipo de Muestra				
		Líquenes	Líquenes	Líquenes	Líquenes	
Parámetro	Límite de Detección	Unidad	Resultados	Resultados	Resultados	Resultados
Metales Totales ICP-Masa						
Cromo		mg/kg	3	2,4	2,3	2,2
	Incertidumbre:		2,1	1,7	1,6	1,6
Níquel		mg/kg	2,27	1,91	1,84	1,87
	Incertidumbre:		0,2	0,17	0,16	0,16
Cobre		mg/kg	35,6	46,6	44,9	44,5
	Incertidumbre:		4,1	5,4	5,2	5,1
Zinc		mg/kg	53,9	44,7	43,5	43,5
	Incertidumbre:		3,1	2,6	2,5	2,5
Cadmio		mg/kg	0,78	0,79	0,79	0,76
	Incertidumbre:		0,15	0,15	0,15	0,15
Plomo		mg/kg	7,9	5,75	5,59	5,57
	Incertidumbre:		0,48	0,35	0,34	0,34

		Estación de Muestreo				
		P - 10 - (1)	P - 10 - (2)	P - 11 - (1)	P - 11 - (2)	
		Fecha y Hora de Muestreo				
		Tipo de Muestra				
		Líquenes	Líquenes	Líquenes	Líquenes	
Parámetro	Límite de Detección	Unidad	Resultados	Resultados	Resultados	Resultados
Metales Totales ICP-Masa						
Cromo		mg/kg	2,5	2,4	2,8	2,8
	Incertidumbre:		1,8	1,7	2	2
Níquel		mg/kg	2,11	2,03	2,6	2,46
	Incertidumbre:		0,19	0,18	0,23	0,22
Cobre		mg/kg	42,4	41,7	54,6	54,3
	Incertidumbre:		4,9	4,8	6,3	6,2
Zinc		mg/kg	36,6	36,4	34,8	34,1
	Incertidumbre:		2,1	2,1	2	2
Cadmio		mg/kg	0,43	0,43	0,43	0,43
	Incertidumbre:		0,08	0,08	0,08	0,08
Plomo		mg/kg	7,74	7,48	7,58	7,53
	Incertidumbre:		0,47	0,46	0,46	0,46

INFORME DE ENSAYO N° 2-03441/21

Página 11/15

		Estación de Muestreo				
		P - 11 - (3)	P - 12 (a)	P - 12 (b)	P - 15 - (1)	
		Fecha y Hora de Muestreo				
		Tipo de Muestra				
		Líquenes	Líquenes	Líquenes	Líquenes	
Parámetro	Límite de Detección	Unidad	Resultados	Resultados	Resultados	Resultados
Metales Totales ICP-Masa						
Cromo		mg/kg	2,5	2,1	3,9	3,2
	Incertidumbre±		1,8	1,5	2,8	2,3
Níquel		mg/kg	2,5	1,69	3,45	3,14
	Incertidumbre±		0,22	0,15	0,3	0,28
Cobre		mg/kg	52,1	37,6	83,6	77,1
	Incertidumbre±		6	4,3	9,6	8,9
Zinc		mg/kg	32,7	33,5	88,8	54,1
	Incertidumbre±		1,9	1,9	5,2	3,1
Cadmio		mg/kg	0,43	0,43	2	0,91
	Incertidumbre±		0,08	0,08	0,38	0,17
Plomo		mg/kg	7,48	9,24	10,1	11
	Incertidumbre±		0,46	0,56	0,62	0,67

		Estación de Muestreo				
		P - 15 - (2)	P - 15 - (3)	P - 17 - (1)	P - 17 - (2)	
		Fecha y Hora de Muestreo				
		Tipo de Muestra				
		Líquenes	Líquenes	Líquenes	Líquenes	
Parámetro	Límite de Detección	Unidad	Resultados	Resultados	Resultados	Resultados
Metales Totales ICP-Masa						
Cromo		mg/kg	3,5	3,3	4	4,4
	Incertidumbre±		2,5	2,4	2,9	3,2
Níquel		mg/kg	3,19	3,01	3,89	3,99
	Incertidumbre±		0,28	0,26	0,34	0,35
Cobre		mg/kg	73,2	71,8	74,8	74,2
	Incertidumbre±		8,4	8,3	8,6	8,5
Zinc		mg/kg	52,9	52,7	61,3	61,4
	Incertidumbre±		3,1	3,1	3,6	3,6
Cadmio		mg/kg	0,92	0,9	1,44	1,4
	Incertidumbre±		0,18	0,17	0,28	0,27
Plomo		mg/kg	10,7	10,5	12,9	12,8
	Incertidumbre±		0,65	0,64	0,79	0,78

INFORME DE ENSAYO N° 2-03441/21

Página 12/15

		Estación de Muestreo				
		P - 17 - (3)	P - 18 - (1)	P - 18 - (2)	P - 18 - (3)	
		Fecha y Hora de Muestreo				
		Tipo de Muestra				
		Líquenes	Líquenes	Líquenes	Líquenes	
Parámetro	Límite de Detección	Unidad	Resultados	Resultados	Resultados	Resultados
Metales Totales ICP-Masa						
Cromo		mg/kg	4,5	4,4	4,4	4,2
	Incertidumbre:		3,2	3,1	3,2	3,1
Níquel		mg/kg	4,12	3,87	3,92	3,89
	Incertidumbre:		0,36	0,34	0,34	0,34
Cobre		mg/kg	72,1	85,5	84	84
	Incertidumbre:		8,3	9,8	9,7	9,7
Zinc		mg/kg	61,3	73,6	74,1	87,3
	Incertidumbre:		3,6	4,3	4,3	5,1
Cadmio		mg/kg	1,37	1,58	1,53	1,58
	Incertidumbre:		0,26	0,3	0,29	0,3
Plomo		mg/kg	12,6	14,8	14,4	14,4
	Incertidumbre:		0,77	0,9	0,88	0,88

		Estación de Muestreo				
		Bio-12 (b) - (3)	IPA - 10 - (3)	IPA - 06 - (3)	Bio - 26 - (3)	
		Fecha y Hora de Muestreo				
		Tipo de Muestra				
		Líquenes	Líquenes	Líquenes	Líquenes	
Parámetro	Límite de Detección	Unidad	Resultados	Resultados	Resultados	Resultados
Metales Totales ICP-Masa						
Cromo		mg/kg	4,6	4,5	5,2	2,5
	Incertidumbre:		3,3	3,3	3,7	1,8
Níquel		mg/kg	3,25	2,79	3,2	1,94
	Incertidumbre:		0,29	0,25	0,28	0,17
Cobre		mg/kg	47,9	50,7	53,9	42,3
	Incertidumbre:		5,5	5,8	6,2	4,9
Zinc		mg/kg	36,1	47	37,2	33
	Incertidumbre:		2,1	2,7	2,2	1,9
Cadmio		mg/kg	0,65	0,67	0,25	0,45
	Incertidumbre:		0,12	0,13	0,05	0,09
Plomo		mg/kg	19,5	11,6	8,2	9,8
	Incertidumbre:		1,19	0,71	0,5	0,6

**INFORME DE ENSAYO N° 2-03441/21**

Página 13/15

		<i>Estación de Muestreo</i>				
		<i>IPA - 04 - (3)</i>	<i>IPA - 09 - (3)</i>	<i>Bio - 29 - (3)</i>	<i>Bio - 25 - (3)</i>	
		<i>Fecha y Hora de Muestreo</i>				
		<i>Tipo de Muestra</i>				
<i>Parámetro</i>	<i>Límite de Detección</i>	<i>Unidad</i>	<i>Resultados</i>	<i>Resultados</i>	<i>Resultados</i>	<i>Resultados</i>
<b>Metales Totales ICP-Masa</b>						
Cromo		mg/kg	5	1,6	2,4	8,4
	Incertidumbre±		3,6	1,2	1,8	6,1
Níquel		mg/kg	3,08	1,49	2,05	4,78
	Incertidumbre±		0,27	0,13	0,18	0,42
Cobre		mg/kg	77	30,7	30,1	84,7
	Incertidumbre±		8,9	3,5	3,5	9,7
Zinc		mg/kg	48,4	25,9	30,1	42,9
	Incertidumbre±		2,8	1,5	1,7	2,5
Cadmio		mg/kg	0,23	0,44	0,59	0,22
	Incertidumbre±		0,04	0,08	0,11	0,04
Plomo		mg/kg	18,3	12,7	12,9	17,4
	Incertidumbre±		1,12	0,77	0,79	1,06

		<i>Estación de Muestreo</i>		
		<i>Bio-13 (b) - (3)</i>	<i>P - 10 - (3)</i>	
		<i>Fecha y Hora de Muestreo</i>		
		<i>Tipo de Muestra</i>		
<i>Parámetro</i>	<i>Límite de Detección</i>	<i>Unidad</i>	<i>Resultados</i>	<i>Resultados</i>
<b>Metales Totales ICP-Masa</b>				
Cromo		mg/kg	1,9	1,7
	Incertidumbre±		1,3	1,2
Níquel		mg/kg	1,69	1,35
	Incertidumbre±		0,15	0,12
Cobre		mg/kg	44,1	35,9
	Incertidumbre±		5,1	4,1
Zinc		mg/kg	29,2	30,3
	Incertidumbre±		1,7	1,8
Cadmio		mg/kg	0,3	0,35
	Incertidumbre±		0,06	0,07
Plomo		mg/kg	13	7,1
	Incertidumbre±		0,79	0,43

## INFORME DE ENSAYO N° 2-03441/21

Página 14/15

### CONTROLES DE CALIDAD

Metales por ICP-MS

Ensayos	BM	LFB	Criterio de Aceptación	Muestra	Duplicado	RPD	Criterio de aceptación
	< Limite Detección						
Aluminio (Al)	<2	101,1%	80-120%	4019	3346	18,28%	≤ 20%
Antimonio (Sb)	<0,04	104,0%	80-120%	<0,04	<0,04	N.A	≤ 20%
Arsénico (As)	<0,02	99,6%	80-120%	42,92	36,92	15,03%	≤ 20%
Bario (Ba)	<0,04	104,5%	80-120%	35,63	36,40	2,15%	≤ 20%
Berilio (Be)	<0,01	92,5%	80-120%	7,88	9,040	13,72%	≤ 20%
Cadmio (Cd)	<0,02	103,9%	80-120%	<0,02	<0,02	N.A	≤ 20%
Calcio (Ca)	<10	100,7%	80-120%	561	530,5	5,56%	≤ 20%
Cobalto (Co)	<0,02	99,4%	80-120%	0,468	0,478	6,54%	≤ 20%
Cobre (Cu)	<0,02	100,3%	80-120%	0,884	0,895	3,25%	≤ 20%
Cromo (Cr)	<0,2	99,5%	80-120%	1,52	1,72	2,26%	≤ 20%
Hierro (Fe)	<0,05	99,9%	80-120%	3290	3447	4,67%	≤ 20%
Magnesio (Mg)	<1	101,0%	80-120%	513	520	7,25%	≤ 20%
Manganeso (Mn)	<0,03	99,6%	80-120%	57,30	59,07	3,04%	≤ 20%
Mercurio (Hg)	<0,03	104,1%	80-120%	0,0784	0,08078	2,96%	≤ 20%
Niquel (Ni)	<0,01	100,2%	80-120%	0,494	0,497	2,26%	≤ 20%
Plata (Ag)	<0,02	103,8%	80-120%	<0,02	<0,02	N.A	≤ 20%
Piomo (Pb)	<0,02	105,1%	80-120%	5,49	5,320	3,09%	≤ 20%
Potasio (K)	<10	101,2%	80-120%	959	904,2	5,92%	≤ 20%
Selenio (Se)	<0,03	99,6%	80-120%	0,264	0,269	2,25%	≤ 20%
Sodio (Na)	<2	101,4%	80-120%	108	95,32	12,21%	≤ 20%
Talio (Tl)	<0,02	104,8%	80-120%	0,498	0,4589	8,16%	≤ 20%
Vanadio (V)	<0,02	99,8%	80-120%	2,27	2,30	3,26%	≤ 20%
Zinc (Zn)	<0,02	98,0%	80-120%	20,62	19,51	5,51%	≤ 20%

BM: Blanco del Método  
 LFB: Blanco Fortificado de Laboratorio  
 LFM: Matriz Fortificada de Laboratorio.  
 LFMD: Duplicado de Matriz Fortificada de Laboratorio  
 % RPD: Diferencia Porcentual Relativa

## INFORME DE ENSAYO N° 2-03441/21

Página 15/15

### MÉTODOS

**Metales Totales ICP-Masa:** EPA METHOD 6020A. Revision 1. 2007. Inductively coupled plasma-mass spectrometry (Preparación de muestra EPA: Method 3051A. Microwave assisted acid digestion of Sediments, sludges, soils, and oils)

(\*) **Carbón Orgánico Total:** NOM 021-RECNAT-2000 sección 7.1.7 Especificaciones de Fertilidad, Salinidad y Clasificación de Suelos. Estudios, Muestreo y Análisis

(\*) **Potencial Redox:** ASTM G200 – 09. Reapproved 2014. Standard Test Method for Measurement of Oxidation-Reduction Potential (ORP) of Soil

(\*) **pH:** NOM-021-RECNAT-2000 Especificaciones de Fertilidad, Salinidad y Clasificación de suelos. Estudios, Muestreo y Análisis. 7.1.2. La determinación del PH: medido en agua.

(\*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA

### OBSERVACIONES

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin la autorización escrita de CERPER S.A.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Arequipa, 02 de noviembre de 2021

*"Este informe de ensayo, al estar en el marco de la acreditación del INACAL – DA, se encuentra dentro del ámbito de reconocimiento multilateral/ mutuo de los miembros firmantes de la IAAC e ILAC"*

## Anexo 7. Permisos de SERFOR



**SERFOR**

Firmado digitalmente por LAZO RAMOS Richard Sabino FAU  
20562836927 soft  
Cargo: Administrador Técnico FfE  
Motivo: Soy el autor del documento  
Fecha: 23.03.2022 10:42:04 -05:00

### RESOLUCIÓN ADMINISTRATIVA

Tacna, 23 de Marzo del 2022

**RA N° D000026-2022-MIDAGRI-SERFOR-ATFFS-MOQUEGUA-TACNA**

#### VISTO:

El Expediente N° 2022-0006631. La Solicitud de fecha 23 de febrero de 2022, presentado por Paulino Flavio Ríos Zapana identificado con DNI N° 29265730; FORMATO DE HOJA DE VIDA DEL INVESTIGADOR PRINCIPAL (ANEXO 1); el INFTEC N° D000003-2022-MIDAGRI-SERFOR-ATFFS-MOQUEGUA-TACNA-CFA de fecha 1 de marzo de 2022, INFORME TÉCNICO LEGAL N° 0167-2021-MIDAGRI-SERFOR- ATFFS MOQUEGUA TACNA/DCR de fecha 1 de marzo de 2022;

#### CONSIDERANDO:

Que, por Ley N° 29763 Ley Forestal y de Fauna Silvestre crea el Sistema Nacional de Gestión Forestal y de Fauna Silvestre (SINAFOR); asimismo, crea el Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR) como autoridad nacional forestal y de fauna silvestre y ente rector del sistema. El Decreto Supremo N° 016-2014-MINAGRI modifica el Decreto Supremo N° 007-2013-MINAGRI que aprueba el Reglamento de Organización y Funciones del SERFOR, cuya PRIMERA DISPOSICIÓN COMPLEMENTARIA TRANSITORIA establece que las Administraciones Técnicas Forestales y de Fauna Silvestre se incorporan al SERFOR como órganos desconcentrados de actuación local, estableciendo entre otras funciones las de: "a) actuar en primera instancia en la gestión y administración de los recursos forestales y de fauna silvestre, dentro del ámbito territorial de su competencia. (...) s) las demás que le asigne la Dirección Ejecutiva del SERFOR".

Que, el Artículo 66° de la Constitución Política del Perú, establece que los recursos naturales, renovables y no renovables, son patrimonio de la Nación. El Estado es soberano en su aprovechamiento; asimismo, en su Artículo 68° establece que es obligación del Estado promover la conservación de la diversidad biológica;

Que, la Ley N° 26821, Ley Orgánica para el Aprovechamiento Sostenible de los Recursos Naturales, establece en su Artículo 9°, referido a la investigación científica, que el Estado promueve la investigación científica y tecnológica sobre la diversidad, calidad, composición, potencialidad y gestión de los recursos naturales. Asimismo, promueve la información y el conocimiento sobre los recursos naturales; con cuyo fin el Estado establece los permisos sobre los recursos materia de investigación;

Que, el Artículo 137° de la Ley 29763, Ley Forestal y de Fauna Silvestre declara de interés nacional la investigación, el desarrollo tecnológico, la mejora del conocimiento y el monitoreo del estado de la conservación del patrimonio forestal y de fauna silvestre, el mismo que se realiza a través de entidades educativas de investigación o mediante iniciativas privadas, igualmente promueve la difusión de los resultados de la investigación; por Decreto Supremo N° 018-2015-MINAGRI se aprueba el Reglamento para la Gestión Forestal, que prevé que la investigación científica del patrimonio se aprueba mediante autorizaciones, salvaguardando los derechos del país respecto a su patrimonio genético, estableciendo además los requisitos, y demás consideraciones para su otorgamiento, de acuerdo a los lineamientos aprobados por el SERFOR;

Que, por Resolución de Dirección Ejecutiva N° 060-2016-SERFOR-DE se aprueba los "Lineamientos para el otorgamiento de la autorización con fines de investigación científica de flora y/o fauna silvestre", con la finalidad de dinamizar el procedimiento y generar información científica que contribuya al conocimiento de la biodiversidad y sus componentes, su conservación, manejo y uso sostenible; la investigación científica podrá ser con o sin acceso a los recursos genéticos y fuera de las Áreas Naturales Protegidas; el literal "a." del numeral 5.3.2 establece que: "a. La ARFFS conduce el procedimiento y, de ser el caso, otorga la autorización en los casos que la investigación: i) Implice la utilización de métodos directos e indirectos para especies no categorizadas como amenazadas. ii) Involucre especies no listadas en los Apéndices de la CITES. iii) No implique el acceso a los recursos genéticos o sus productos derivados. iv) Implice sólo el ámbito geográfico regional de la ARFFS", se procede a la emisión de la presente autorización;

Que, el administrado Paulino Flavio Ríos Zapana, solicita se le otorgue Autorización para realizar investigación científica fuera de las Áreas Naturales Protegidas, con colecta de flora silvestre, en el distrito de Torata de la provincia de Mariscal Nieto del departamento de Moquegua, para el desarrollo del Proyecto o Estudio denominado "VARIABILIDAD ESPACIO TEMPORAL DE ELEMENTOS TRAZA UTILIZANDO LIQUENES Y TILLANDSIAS COMO BIOMONITORES DE LA CALIDAD DEL AIRE EN EL ÁMBITO DEL PROYECTO MINERO ANGLOAMERICAN QUELLAVECO, PROVINCIA DE MARISCAL NIETO, REGIÓN MOQUEGUA 2022" habiendo establecido como plazo para la investigación, el periodo comprendido entre marzo y agosto de 2022, con cuyo fin adjunta los requisitos exigidos por el numeral 9 del ANEXO N° 1 del

Esta es una copia auténtica imprimible de un documento electrónico archivado en el Servicio Forestal y de Fauna Silvestre, aplicando lo dispuesto por el Art. 25 de D.S. 070-2013-PCM y la Tercera Disposición Complementaria Final del D.S. 026-2016-PCM. Su autenticidad e integridad pueden ser contrastadas a través de la siguiente dirección web: Url: <https://sgd.serfor.gob.pe/validadorDocumental/> Clave: 9GJWEPH



## RESOLUCIÓN ADMINISTRATIVA

Reglamento para la Gestión Forestal aprobado por Decreto Supremo N° 018-2015-MINAGRI y el numeral 6.6 de los Lineamientos;

Que, de la revisión de autos, se advierte que el solicitante ha cumplido con adjuntar los requisitos legales a que hace referencia el numeral 6.6 de los Lineamientos los que han sido evaluados previamente, como es de verse del informe técnico INFTEC N° D000003-2022-MIDAGRI-SERFOR-ATFFS-MOQUEGUA-TACNA-CFA el mismo que concluye que, es pertinente otorgar autorización con fines de investigación científica de flora silvestre, al administrado Paulino Flavio Ríos Zapana en su calidad de investigador principal para el desarrollo del proyecto titulado "VARIABILIDAD ESPACIO TEMPORAL DE ELEMENTOS TRAZA UTILIZANDO LIQUENES Y TILLANDSIAS COMO BIOMONITORES DE LA CALIDAD DEL AIRE EN EL ÁMBITO DEL PROYECTO MINERO ANGLAMERICAN QUELLAVECO, PROVINCIA DE MARISCAL NIETO, REGIÓN MOQUEGUA 2022" con colecta de flora silvestre con un máximo de 2 ejemplares por especie y por localidad para la determinación taxonómica correspondiente y 100 gramos por especie para el análisis de metales pesados, los ejemplares de flora silvestre serán colectados en las localidades de Tala, Charaque, Altarani, Calientes, Alto Coscore y Cortadera del distrito de Torata, de la provincia Mariscal Nieto del departamento de Moquegua; los ejemplares colectados deberán ser depositados en una institución científica nacional depositaria de material biológico registrada ante el Serfor;

Que, de acuerdo al Plan de Investigación que se adjunta a la solicitud y lo opinado en el informe técnico, los puntos de muestreo y/o colecta de flora silvestre se encuentran identificados en el Sistema de Coordenadas Projectadas UTM Zona 19S de DATUM WGS84:

UBICACIÓN	COORDENADAS		ALTITUD (m.s.n.m)
	Norte	Este	
Tala	8108719	321147	3310
Charaque	8110104	324782	3655
Altarani	8107505	330676	3764
Calientes	8104739	314672	2917
Alto Coscore	8106188	315390	3070
Cortadera	8096506	324756	3600

Que, mediante CARTA DE PRESENTACIÓN de fecha 16 de febrero de 2022 suscrita por el Vicepresidente de Investigación de la Universidad Nacional de Moquegua, presenta a esta Administración al solicitante y el personal participante en la investigación, conformado por:

NOMBRES Y APELLIDOS	DNI	TIPO DE PARTICIPACIÓN
Paulino Flavio RIOS ZAPANA	29265730	Investigador Principal
José Antonio VALERIANO ZAPANA	43500364	Investigador Asociado
Leonel Alonso PACCOSONCO SUCAPUCA	72482099	Asistente de Investigación
Betty Claudia CONDORI LLANQUE	71621743	Tesista
Pamela SUCAPUCA CARRISALES	73140723	Tesista
Cristell Elva COLQUE NINA	71821191	Asistente de proyecto

Que, por las consideraciones expuestas y conforme a la evaluación contenida en el informe técnico INFTEC N° D000003-2022-MIDAGRI-SERFOR-ATFFS-MOQUEGUA-TACNA-CFA el suscrito es de opinión que es legalmente procedente el otorgamiento de la presente autorización a favor del administrado Paulino Flavio Ríos Zapana, considerando la evaluación técnica realizada al expediente mediante el informe técnico antes mencionado, para el desarrollo de la investigación, conforme al cronograma de trabajo presentado por el solicitante,

Esta es una copia auténtica imprimible de un documento electrónico archivado en el Servicio Forestal y de Fauna Silvestre, aplicando lo dispuesto por el Art. 25 de D.S. 070-2013-PCM y la Tercera Disposición Complementaria Final del D.S. 026-2016-PCM. Su autenticidad e integridad pueden ser contrastadas a través de la siguiente dirección web: Url: <https://sgd.serfor.gob.pe/validadorDocumental/> Clave: 9GJWEPH



## RESOLUCIÓN ADMINISTRATIVA

quien deberá cumplir en estricto las obligaciones que establece la Ley, el Reglamento y los Lineamientos;

Que, el administrado, conforme a lo dispuesto por el Artículo 138° del Reglamento deberá cumplir con las siguientes obligaciones en concordancia con las Resolución de Dirección Ejecutiva N° 060-2016-SERFOR-DE:

- a) No extraer especímenes, ni muestras biológicas de flora silvestre no autorizada.
- b) No ceder el material colectado a terceros, ni utilizarlo para fines distintos a lo autorizado.
- c) Entregar al SERFOR un informe final en idioma español, incluyendo una versión digital, como resultado de la investigación autorizada, así como copia de las publicaciones realizadas en las que se indicará expresamente el Código de Autorización. El plazo para la entrega del informe no deberá exceder los seis meses (06) al vencimiento de la presente autorización.
- d) Depositar el material colectado en una institución científica nacional depositaria de material biológico y entregar al SERFOR la constancia de dicho depósito. En casos debidamente justificados, y siempre que el material colectado no constituya holotipos ni ejemplares únicos, el depósito se puede realizar en una institución distinta a la mencionada; para ello se requiere la autorización del SERFOR.
- e) Si por razones científicas, se requiere enviar al extranjero parte del material colectado, el interesado deberá gestionar el correspondiente permiso para la exportación ante el SERFOR, así como pasar el control respectivo;

Que, la información proporcionada por el administrado, tienen el carácter de declaración jurada y se tramita en concordancia con las normas legales vigentes y los procedimientos establecidos para tal fin; en tal sentido, en concordancia con lo dispuesto por el por el Artículo IV numeral 1.16 del Título Preliminar, 34° y 49° del Texto Único Ordenado de la Ley N° 27444 Ley del Procedimiento Administrativo General aprobado por Decreto Supremo N° 004-2019-JUS, esta Administración se reserva el derecho de fiscalización posterior en relación a la documentación ofrecida en el presente Procedimiento Administrativo;

Que, en uso de las funciones atribuidas por la Primera Disposición Complementaria Transitoria del Decreto Supremo N° 016-2014-MINAGRI modificatoria del Decreto Supremo N° 007-2013 Reglamento de Organización y Funciones del SERFOR;

### SE RESUELVE:

**Artículo 1°.- OTORGAR AUTORIZACIÓN N° 18-MOT-AUT-IFL-2022-001** con fines de investigación científica de flora silvestre, al administrado Paulino Flavio Ríos Zapana identificado con DNI N° 29265730, en calidad de investigador principal, y las personas que se detallan en el considerando noveno de la presente resolución en calidad de coinvestigadores, quienes han sido presentados por el vicepresidente de Investigación de la Universidad Nacional de Moquegua; el Plan de Investigación forma parte integrante de la presente resolución;

**Artículo 2°.-** La autorización otorgada por el artículo precedente, permite el desarrollo de la investigación denominada "VARIABILIDAD ESPACIO TEMPORAL DE ELEMENTOS TRAZA UTILIZANDO LÍQUENES Y TILLANDSIAS COMO BIOMONITORES DE LA CALIDAD DEL AIRE EN EL ÁMBITO DEL PROYECTO MINERO ANGLOAMERICAN QUELLAVECO, PROVINCIA DE MARISCAL NIETO, REGIÓN MOQUEGUA 2022", en la zona delimitada por el Sistema de Coordenadas Projectadas UTM Zona 19S de DATUM WGS84 que se inserta en el numeral octavo de la presente resolución;

**Artículo 3°.-** Se **AUTORIZA** la colecta de flora silvestre, hasta un máximo de dos (2) ejemplares por especie y por cada localidad para su determinación taxonómica y cien (100) gramos por especie para análisis de metales pesados;

**Artículo 4°.-** La presente autorización se otorga por el plazo comprendido entre marzo y agosto de 2022, conforme al cronograma de trabajo;

**Artículo 5°.-** El titular de la autorización para actividades de investigación de flora silvestre genera las siguientes obligaciones:

- a) No extraer especímenes, ni muestras biológicas de flora silvestre no autorizada.
- b) No ceder el material colectado a terceros, ni utilizarlo para fines distintos a lo autorizado.
- c) Entregar al SERFOR un informe final en idioma español, incluyendo una versión digital, como resultado de la investigación autorizada, así como copia de las publicaciones realizadas en las que se indicará expresamente el Código de Autorización. El plazo para la entrega del informe no deberá exceder los seis meses (06) al vencimiento de la presente autorización.
- d) Depositar el material colectado en una institución científica nacional depositaria de material biológico y entregar al SERFOR la constancia de dicho depósito. En casos debidamente justificados, y siempre que el material colectado no constituya holotipos ni ejemplares únicos, el depósito se puede realizar en una institución distinta a la mencionada; para ello se requiere la autorización del SERFOR.

Esta es una copia auténtica imprimible de un documento electrónico archivado en el Servicio Forestal y de Fauna Silvestre, aplicando lo dispuesto por el Art. 25 de D.S. 070-2013-PCM y la Tercera Disposición Complementaria Final del D.S. 026-2016-PCM. Su autenticidad e integridad pueden ser contrastadas a través de la siguiente dirección web: Url: <https://sgd.serfor.gob.pe/validadorDocumental/> Clave: 9GJWEPH



## RESOLUCIÓN ADMINISTRATIVA

- e) Si por razones científicas, se requiere enviar al extranjero parte del material colectado, el interesado deberá gestionar el correspondiente Permiso para la Exportación ante el SERFOR, así como pasar el control respectivo.
- f) El Informe final deberá contener una lista de las coordenadas en formato UTM (Datum WGS84), de los lugares en que se hubiere realizado la colecta de las especies;

**Artículo 6°.- EXHORTAR** al titular de la presente autorización, cumplir en estricto con las disposiciones legales en materia forestal y de fauna silvestre, caso contrario se procederá a instaurar procedimiento administrativo sancionador;

**Artículo 7°.-** La Administración Técnica Forestal y Fauna Silvestre se **RESERVA** el derecho de fiscalización posterior respecto de la información documental proporcionada por el administrado en el presente procedimiento administrativo;

**Artículo 8°.- TRANSCRÍBASE** copia de la presente resolución, a la Dirección de General de Información y Ordenamiento Forestal y de Fauna Silvestre, para los fines de Ley;

**Artículo 9°.- NOTIFIQUESE** con la presente resolución a Paulino Flavio Ríos Zapana y la Universidad Nacional de Moquegua, para los fines de Ley;

**REGÍSTRESE Y COMUNÍQUESE.**

Documento firmado digitalmente

**Richard Sabino Lazo Ramos**  
Administrador Técnico  
ATFFS Moquegua Tacna  
Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre - SERFOR

Esta es una copia auténtica imprimible de un documento electrónico archivado en el Servicio Forestal y de Fauna Silvestre, aplicando lo dispuesto por el Art. 25 de D.S. 070-2013-PCM y la Tercera Disposición Complementaria Final del D.S. 026-2016-PCM. Su autenticidad e integridad pueden ser contrastadas a través de la siguiente dirección web: Url: <https://sgd.serfor.gob.pe/validadorDocumental/> Clave: 9GJWEPH

## Anexo 8. Matriz de cobertura en las diferentes estaciones de muestreo



### RESOLUCIÓN ADMINISTRATIVA N° 0129-2019-MINAGRI-SERFOR-ATFFS-MOQUEGUA TACNA

EXPEDIENTE : 001-2019  
SEDE : MARISCAL NIETO  
MATERIA : AUTORIZACIÓN PARA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA  
ADMINISTRADO : SALINAS DELGADO ARMANDO ANDRE  
CUT N° : 41309-2019-MINAGRI-SERFOR

Tacna, 1 de octubre de 2019.

#### VISTO:

La Solicitud de fecha 28 de agosto de 2019, presentada por ARMANDO ANDRE SALINAS DELGADO identificado con DNI N° 29609940; FORMATO DE HOJA DE VIDA DEL INVESTIGADOR PRINCIPAL (ANEXO 1); el INFORME TÉCNICO N° 0003-MINAGRI-SERFOR-ATFFS MOQUEGUA TACNA/CRFA de fecha 12 de setiembre de 2019, INFORME TÉCNICO LEGAL N° 0133-2019-MINAGRI-SERFOR-ATFFS MOQUEGUA TACNA/DCR de fecha 1 de octubre de 2019;

#### CONSIDERANDO:

Que, por Ley N° 29763 Ley Forestal y de Fauna Silvestre crea el Sistema Nacional de Gestión Forestal y de Fauna Silvestre (SINAFOR); asimismo, crea el Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR) como autoridad nacional forestal y de fauna silvestre y ente rector del sistema. El Decreto Supremo N° 016-2014-MINAGRI modifica el Decreto Supremo N° 007-2013-MINAGRI que aprueba el Reglamento de Organización y Funciones del SERFOR, cuya PRIMERA DISPOSICIÓN COMPLEMENTARIA TRANSITORIA establece que las Administraciones Técnicas Forestales y de Fauna Silvestre se incorporan al SERFOR como órganos desconcentrados de actuación local, estableciendo entre otras funciones las de: "a) actuar en primera instancia en la gestión y administración de los recursos forestales y de fauna silvestre, dentro del ámbito territorial de su competencia. (...) s) las demás que le asigne la Dirección Ejecutiva del SERFOR".



Que, el Artículo 68° de la Constitución Política del Perú, establece que los recursos naturales, renovables y no renovables, son patrimonio de la Nación. El Estado es soberano en su aprovechamiento; asimismo, en su Artículo 68° establece que es obligación del Estado promover la conservación de la diversidad biológica;

Que, la Ley N° 26821, Ley Orgánica para el Aprovechamiento Sostenible de los Recursos Naturales, establece en su Artículo 9°, referido a la investigación científica, que el Estado promueve la investigación científica y tecnológica sobre la diversidad, calidad, composición, potencialidad y gestión de los recursos naturales. Asimismo, promueve la información y el conocimiento sobre los recursos naturales; con cuyo fin el Estado establece los permisos sobre los recursos materia de investigación;

Que, el Artículo 137° de la Ley 29763, Ley Forestal y de Fauna Silvestre declara de interés nacional la investigación, el desarrollo tecnológico, la mejora del conocimiento y el monitoreo del estado de la conservación del patrimonio forestal y de fauna silvestre, el mismo que se realiza a través de entidades educativas de investigación o mediante iniciativas privadas, igualmente promueve la difusión de los resultados de la investigación; por Decreto Supremo N° 018-2015-MINAGRI se aprueba el Reglamento para la Gestión Forestal, que prevé que la investigación científica del patrimonio se aprueba mediante autorizaciones, salvaguardando los derechos del país respecto a su patrimonio genético, estableciendo además los requisitos, y demás consideraciones para su otorgamiento, de acuerdo a los lineamientos aprobados por el SERFOR;

Que, por Resolución de Dirección Ejecutiva N° 060-2016-SERFOR-DE se aprueba los "Lineamientos para el otorgamiento de la autorización con fines de investigación científica de flora y/o fauna silvestre", con la finalidad de dinamizar el procedimiento y generar información científica que contribuya al conocimiento de la biodiversidad y sus componentes, su conservación, manejo y uso sostenible; la investigación científica podrá ser con o sin acceso a los recursos genéticos y fuera de las Áreas Naturales Protegidas; el literal "a." del numeral 5.3.2 establece que: "a. La ARFFS conduce el procedimiento y, de ser el caso, otorga la autorización en los casos que la investigación: i) implique la utilización de métodos directos e indirectos para especies no categorizadas como amenazadas. ii) Involucra especies no listadas en



**RESOLUCIÓN ADMINISTRATIVA N° 0129-2019-MINAGRI-SERFOR-ATFFS-MOQUEGUA TACNA**

de investigadores para el desarrollo del proyecto de investigación, conforme se detalla en el siguiente cuadro:

N°	APELLIDOS Y NOMBRES	CARGO	VINCULACION
01	VALERIANO ZAPANA, José Antonio	Asesor de Tesis	Docente ordinario
02	SALINAS DELGADO, Armando Andre	Tesista	Bachiller - EPIAM
03	RAMOS ARANIBAR, Daniel Fernando	Taxónomo	Instituto Científico / Michael Owen

Que, el INFORME TECNICO LEGAL N° 0133-2019-MINAGRI-SERFOR-ATFFS MOQUEGUA TACNA/DCR, de fs. 57 a 59 concluye que es legalmente procedente el otorgamiento de la presente autorización a favor del administrado ARMANDO ANDRE SALINAS DELGADO, considerando la evaluación técnica realizada al expediente, mediante el INFORME TECNICO N° 0003-MINAGRI-SERFOR-ATFFS-MOQUEGUA TACNA/CRFA, para el desarrollo de la investigación, la misma que deberá ejecutarse conforme al cronograma de trabajo presentado por el solicitante, quien deberá cumplir en estricto las obligaciones que establece la Ley, el Reglamento y los Lineamientos, sin perjuicio de las señaladas en la parte resolutoria de la presente resolución. El Plan de investigación de fs. 26 a 34 forma parte integrante de la presente resolución;

Que, la presente autorización implica el cumplimiento de obligaciones establecidas por el Artículo 138° del Reglamento y los Lineamientos, caso contrario constituye infracción, por lo que se podrá aplicarse las sanciones a que hace referencia el Artículo 207° del Reglamento, así como las sanciones accesorias a que hubiere lugar;

Que, la presente autorización ha sido tramitada en concordancia con las normas legales vigentes y los procedimientos establecidos para tal fin; en tal sentido, conforme a lo dispuesto por el Artículo IV numeral 1.16 del Título Preliminar, 33° y 47° del Texto Único Ordenado de la Ley N° 27444 Ley del Procedimiento Administrativo General aprobado por Decreto Supremo N° 006-2017-JUS, esta Administración se reserva el derecho de fiscalización posterior en relación a la documentación ofrecida en el presente Procedimiento Administrativo;

Que, en uso de las funciones atribuidas por la Primera Disposición Complementaria Transitoria del Decreto Supremo N° 016-2014-MINAGRI modificatoria del Decreto Supremo N° 007-2013 Reglamento de Organización y Funciones del SERFOR, en concordancia con la Resolución de Dirección Ejecutiva N° 080-2014-SERFOR-DE;

**SE RESUELVE:**

**Artículo 1°.- OTORGAR AUTORIZACIÓN N° 18-MOT-AUT-IFL-2019-001 con fines de investigación científica de flora silvestre a:**

N°	APELLIDOS Y NOMBRES	FUNCION	NACIONALIDAD	DNI/CE
1.	VALERIANO ZAPANA, José Antonio	investigador principal	peruana	43500384
2.	SALINAS DELGADO, Armando Andre	co-investigador	peruana	70136181
3.	RAMOS ARANIBAR, Daniel Fernando	co-investigador	peruana	41570787

Quiénes han sido presentados por la Dirección de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de Moquegua, respectivamente, para el desarrollo del proyecto de investigación;

**Artículo 2°.-** La autorización otorgada por el artículo precedente, permite el desarrollo del proyecto de investigación titulada "BIODIVERSIDAD, "INDICE DE PUREZA ATMOSFERICA (IPA) Y BIOREGULACION DE METALES (Pb, Cr, Cd, Cu, Ni, Zn) EN LOS LIQUENES PRESENTES EN LAS LOMAS DE AMOQUINTO, DISTRITO DE PACOCHA - ILO 2019" e incluye la colecta de un total de cien (100) gramos de líquenes por especie identificada, los que serán colectados de la zona delimitada por las coordenadas UTM a que hace referencia en considerando DECIMO de la presente resolución;

**Artículo 3°.-** La presente autorización se otorga por un plazo comprendido entre el 1 de octubre de 2019 y el 30 de noviembre de 2019, conforme al cronograma de trabajo;

**Artículo 4°.-** El titular de la autorización para actividades de investigación de flora silvestre gene-



ra las siguientes obligaciones:

- a) No extraer especímenes, ni muestras biológicas de flora silvestre no autorizada.
- b) No ceder el material colectado a terceros, ni utilizarlo para fines distintos a lo autorizado.
- c) Entregar al SERFOR un informe final en idioma español, incluyendo una versión digital, como resultado de la investigación autorizada, así como copia de las publicaciones realizadas en las que se indicará expresamente el Código de Autorización. El plazo para la entrega del informe no deberá exceder los seis (6) meses al vencimiento de la presente autorización.
- d) Depositar el material colectado en una institución científica nacional depositaria de material biológico y entregar al SERFOR la constancia de dicho depósito. En casos debidamente justificados, y siempre que el material colectado no constituya holotipos ni ejemplares únicos; el depósito se puede realizar en una institución distinta a la mencionada; para ello se requiere la autorización del SERFOR.
- e) Si por razones científicas, se requiere enviar al extranjero parte del material colectado, el interesado deberá gestionar el correspondiente Permiso para la Exportación ante el SERFOR, así como pasar el control respectivo.
- f) El Informe final deberá contener una lista de las coordenadas en formato UTM (Datum WGS84), de los lugares en que se hubiere realizado la colecta de las especies;

**Artículo 5°.- EXHORTAR** al titular de la presente autorización, cumplir en estricto con las disposiciones legales en materia forestal y de fauna silvestre, caso contrario se procederá a instaurar procedimiento administrativo sancionador;

**Artículo 6°.-** La Administración Técnica Forestal y Fauna Silvestre se **RESERVA** el derecho de fiscalización posterior respecto de la información documental proporcionada por el administrado en el presente procedimiento administrativo;

**Artículo 7°.- Transcribese** copia de la presente resolución, a la Dirección de General de Información y Ordenamiento Forestal y de Fauna Silvestre, para los fines de Ley;

**Artículo 8°.- NOTIFÍQUESE** con la presente resolución a ARMANDO ANDRE SALINAS DELGADO, a la Dirección de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de Moquegua, para los fines de Ley;

REGÍSTRESE Y COMUNÍQUESE.



**CERTIFICO:**

Que, la presente Fotocopia es auténtica exactamente igual al documento original que he tenido a la vista y con el cual ha sido confrontada.

Tacna, 01 OCT 2019



ANTY GERONADO MAMANI  
DNI: N° 00516727  
FEDATARIO

RDE N° 061-2018-MINAGRI-SERFOR-DE

**Anexo 9.** Matriz de datos de porcentaje de cobertura de líquenes para las diferentes unidades de muestreo, estaciones y sectores *Altarani, Alto Coscore, Calientes, Charaque, Tala, Huacaluna y Tacahuay.*

ESPECIES	ALTARANI																				25	FA	FR	CA	CR	CT					
	AL01					AL02					AL03					AL04											AL05				
	A	B	C	I	II	A	B	C	I	II	A	B	C	I	II	A	B	C	I	II							A	B	C	I	II
<i>Acarospora lorentzii</i> (Müll. Arg.) Hue	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Acarospora xanthophana</i> (Nyl.) Jatta	10	10	10	0	0	1	1	0	0	0	30	30	10	0	0	10	10	10	0	0	10	10	10	0	0	0.56	13.59	11.57	0.14	6.48	
<i>Buellia</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Calogaya saxicola</i> (Hoffm.) Vondrák	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Candelaria concolor</i> (Dicks.) Arnold	1	1	10	0	0	10	10	10	0	0	30	30	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0.48	11.65	8.83	0.11	4.24	
<i>Canoparmelia</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Canoparmelia</i> sp.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Canoparmelia texana</i> (Tuck.) Elix & Hale	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Dirinaria applanata</i> (Fée) D.D. Awasthi	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Everniopsis trulla</i> (Ach.) Nyl.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Flavopunctelia flaventior</i> (Stirt.) Hale	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Flavopunctelia</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Lecidea</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Parmotrema reticulatum</i> (Taylor) M. Choisy	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Parmotrema</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Phaeophyscia</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Physcia albata</i> (F. Wilson) Hale	10	10	10	0	0	1	1	10	0	0	10	10	10	0	0	1	1	1	0	0	10	10	10	0	0	0.60	14.56	7.00	0.09	4.20	
<i>Physcia eurupens</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Physcia pachyphylla</i> Müll. Arg.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Physcia undulata</i> Moberg	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Placomaronea candelarioides</i> Räsänen	0	10	10	0	0	1	1	0	0	0	1	1	10	0	0	10	10	0	0	0	10	10	0	0	0	0.44	10.68	6.73	0.08	2.96	
<i>Placomaronea mendozae</i> (Räsänen) M. Westb.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Placomaronea</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Psiloparmelia distincta</i> (Nyl.) Hale	1	1	10	0	0	1	1	0	0	0	10	10	0	0	0	10	10	10	0	0	10	10	1	0	0	0.52	12.62	6.54	0.08	3.40	
<i>Psiloparmelia subcrustosa</i> Elix & T.H. Nash	10	10	10	0	0	0	0	0	0	0	10	10	0	0	0	0	10	10	0	0	0	0	0	0	0	0.28	6.80	10.00	0.12	2.80	
<i>Scutaria andina</i> (Räsänen) Søchting, Frödén & Arup	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Squamulea squamosa</i> (B. de Lesd.) Arup, Søchting & Frödén	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Squamulea subsoluta</i> (Nyl.) Arup, Søchting & Frödén	10	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	10	10	0	0	1	1	1	0	0	0.32	7.77	6.63	0.08	2.12	
<i>Umbilicaria polyphylla</i> (L.) Baumg	30	30	10	0	0	30	30	10	0	0	10	10	10	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0.48	11.65	14.42	0.18	6.92	
<i>Umbilicaria</i> sp.	10	10	10	0	0	0	10	10	0	0	0	10	0	0	0	10	10	0	0	10	10	10	0	0	0	0.44	10.68	10.00	0.12	4.40	
<i>Usnea durietzii</i> Motyka	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Xanthoparmelia flavescentireagens</i> (Gyelnik) D. Galloway	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Xanthoparmelia farinosa</i> (Vain.) T.H. Nash, Elix & Johnston	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
<b>Total general</b>																										4.12		81.7	1.00		

ESPECIES	ALTO COSCORE																				25	FA	FR	CA	CR	CT					
	ALC01					ALC02					ALC03					ALC04											ALC05				
	A	B	C	I	II	A	B	C	I	II	A	B	C	I	II	A	B	C	I	II							A	B	C	I	II
<i>Acarospora lorentzii</i> (Müll. Arg.) Hue	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
<i>Acarospora xanthophana</i> (Nyl.) Jatta	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
<i>Buellia</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
<i>Calogaya saxicola</i> (Hoffm.) Vondrák	10	10	1	0	0	10	10	0	0	0	30	30	1	0	0	10	10	0	0	0	10	30	0	0	0.48	13.04	13.50	0.14	6.48		
<i>Candelaria concolor</i> (Dicks.) Arnold	0	30	1	0	0	0	0	10	0	0	10	10	10	0	0	10	10	10	0	0	0	0	0	0	0.36	9.78	11.22	0.12	4.04		
<i>Canoparmelia</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
<i>Canoparmelia</i> sp.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
<i>Canoparmelia texana</i> (Tuck.) Elix & Hale	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
<i>Dirinaria applanata</i> (Fée) D.D. Awasthi	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
<i>Everniopsis trulla</i> (Ach.) Nyl.	0	0	0	0	0	10	10	0	0	0	10	10	10	0	0	1	10	1	0	0	1	1	0	0	0.40	10.87	6.40	0.07	2.56		
<i>Flavopunctelia flaventior</i> (Stirt.) Hale	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
<i>Flavopunctelia</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
<i>Lecidea</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
<i>Parmotrema reticulatum</i> (Taylor) M. Choisy	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
<i>Parmotrema</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
<i>Phaeophyscia</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
<i>Physcia albata</i> (F. Wilson) Hale	10	10	10	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	10	0	0	0	10	10	1	0	0.40	10.87	6.40	0.07	2.56		
<i>Physcia eurypens</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
<i>Physcia pachyphylla</i> Müll. Arg.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
<i>Physcia undulata</i> Moberg	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
<i>Placomaronea candelarioides</i> Räsänen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
<i>Placomaronea mendozae</i> (Räsänen) M. Westb.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
<i>Placomaronea</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
<i>Psiloparmelia distincta</i> (Nyl.) Hale	10	10	0	0	0	10	10	1	0	0	10	10	0	0	0	10	30	1	0	0	10	10	30	0	0.52	14.13	11.69	0.13	6.08		
<i>Psiloparmelia subcrustosa</i> Elix & T.H. Nash	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
<i>Scutaria andina</i> (Räsänen) Sjøchting, Frödén & Arup	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	10	10	0	0	0	10	10	0	0	0	10	10	10	0	0.32	8.70	10.00	0.11	3.20		
<i>Squamulea squamosa</i> (B. de Lesd.) Arup, Sjøchting & Frödén	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
<i>Squamulea subsoluta</i> (Nyl.) Arup, Sjøchting & Frödén	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.04	1.09	10.00	0.11	0.40		
<i>Umbilicaria polyphylla</i> (L.) Baumg	10	10	10	0	0	10	10	0	0	0	10	1	0	0	0	10	10	0	0	0	30	10	10	0	0.48	13.04	10.92	0.12	5.24		
<i>Umbilicaria</i> sp.	10	10	0	0	0	10	10	0	0	0	10	1	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0.28	7.61	8.71	0.09	2.44		
<i>Usnea durietzi</i> Motyka	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
<i>Xanthoparmelia flavescens</i> (Gyelnik) D. Galloway	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
<i>Xanthoparmelia farinosa</i> (Vain.) T.H. Nash, Elix & Johnston	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	10	10	0	0	0	1	1	0	0	0	10	10	1	0	0.40	10.87	4.60	0.05	1.84		
<b>Total general</b>																									3.68	100.00	93.45	1.00			

ESPECIES	CALIENTES																				25										
	CA01					CA02					CA03					CA04					CA05					FA	FR	CA	CR	CT	
	A	B	C	I	II	A	B	C	I	II	A	B	C	I	II	A	B	C	I	II	A	B	C	I	II						
<i>Acarospora lorentzii</i> (Müll. Arg.) Hue	10	10	2	0	0	10	10	1	0	0	10	10	0	0	0	10	10	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0.48	9.52	7.08	0.08	3.40
<i>Acarospora xanthophana</i> (Nyl.) Jatta	10	10	1	0	0	1	10	1	0	0	0	10	10	0	0	1	1	1	0	0	10	10	10	0	0	0.56	11.11	6.14	0.07	3.44	
<i>Buellia</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Calogaya saxicola</i> (Hoffm.) Vondrák	0	30	30	0	0	1	30	10	0	0	0	10	10	0	0	10	10	0	0	0	30	30	10	0	0	0.48	9.52	17.58	0.20	8.44	
<i>Candelaria concolor</i> (Dicks.) Arnold	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Canoparmelia</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Canoparmelia</i> sp.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Canoparmelia texana</i> (Tuck.) Elix & Hale	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Dirinaria applanata</i> (Fée) D.D. Awasthi	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Everniopsis trulla</i> (Ach.) Nyl.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Flavopunctelia flaventior</i> (Stirt.) Hale	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Flavopunctelia</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Lecidea</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Parmotrema reticulatum</i> (Taylor) M. Choisy	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Parmotrema</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Phaeophyscia</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Physcia albata</i> (F. Wilson) Hale	1	10	10	0	0	10	10	10	0	0	1	1	10	0	0	0	0	0	0	10	10	1	0	0	0	0.48	9.52	7.00	0.08	3.36	
<i>Physcia eurupens</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Physcia pachyphylla</i> Müll. Arg.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Physcia undulata</i> Moberg	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Placomaronea candelarioides</i> Räsänen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Placomaronea mendozae</i> (Räsänen) M. Westb.	10	10	10	0	0	10	10	10	0	0	0	10	1	0	0	10	10	10	0	0	10	10	10	0	0	0.56	11.11	9.36	0.10	5.24	
<i>Placomaronea</i> sp.	0	10	0	0	0	1	10	0	0	0	10	0	10	0	0	0	1	1	0	0	0	10	0	0	0	0.32	6.35	6.63	0.07	2.12	
<i>Psiloparmelia distincta</i> (Nyl.) Hale	1	1	10	0	0	0	10	0	0	0	0	10	0	0	0	10	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0.44	8.73	4.27	0.05	1.88	
<i>Psiloparmelia subcrustosa</i> Elix & T.H. Nash	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Scutaria andina</i> (Räsänen) Søchting, Frödén & Arup	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Squamulea squamosa</i> (B. de Lesd.) Arup, Søchting & Frödén	0	10	10	0	0	1	1	1	0	0	10	0	0	0	0	10	0	0	0	0	1	10	0	0	0	0.36	7.14	6.00	0.07	2.16	
<i>Squamulea subsoluta</i> (Nyl.) Arup, Søchting & Frödén	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Umbilicaria polyphylla</i> (L.) Baumg	0	10	10	0	0	10	10	10	0	0	10	10	0	0	0	10	10	0	0	0	10	10	0	0	0	0.44	8.73	10.00	0.11	4.40	
<i>Umbilicaria</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Usnea durietzii</i> Motyka	10	1	1	0	0	0	10	1	0	0	10	10	0	0	0	10	10	0	0	1	30	10	0	0	0	0.48	9.52	8.67	0.10	4.16	
<i>Xanthoparmelia flavescens</i> (Gyelnik) D. Galloway	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Xanthoparmelia farinosa</i> (Vain.) T.H. Nash, Elix & Johnston	0	1	1	0	0	10	10	1	0	0	10	10	10	0	0	0	0	0	0	10	10	1	0	0	0	0.44	8.73	6.73	0.08	2.96	
<b>Total general</b>																										5.04	100.00	89.46	1.00		

ESPECIES	CHARAQUE															25	FA	FR	CA	CR	CT										
	CHA01					CHA02					CHA03											CHA04					CHA05				
	A	B	I	II	III	A	B	I	II	III	A	B	I	II	III							A	B	I	II	III	A	B	I	II	III
<i>Acarospora lorentzii</i> (Müll. Arg.) Hue	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
<i>Acarospora xanthophana</i> (Nyl.) Jatta	10	10	1	0	0	0	10	10	0	0	0	0	0	0	0	10	10	0	0	0	10	10	10	0	0	0.40	15.87	9.10	0.20	3.64	
<i>Buellia</i> sp.	0	10	1	0	0	10	1	1	0	0	0	10	10	0	0	1	1	1	0	0	0	10	10	0	0	0.48	19.05	5.50	0.12	2.64	
<i>Calogaya saxicola</i> (Hoffm.) Vondrák	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
<i>Candelaria concolor</i> (Dicks.) Arnold	0	10	1	0	0	10	1	1	0	0	10	10	0	0	0	10	10	10	0	0	10	10	10	0	0	0.52	20.63	7.92	0.17	4.12	
<i>Canoparmelia</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
<i>Canoparmelia</i> sp.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
<i>Canoparmelia texana</i> (Tuck.) Elix & Hale	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
<i>Dirinaria applanata</i> (Fée) D.D. Awasthi	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
<i>Everniopsis trulla</i> (Ach.) Nyl.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
<i>Flavopunctelia flaventior</i> (Stirt.) Hale	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
<i>Flavopunctelia</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
<i>Lecidea</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
<i>Parmotrema reticulatum</i> (Taylor) M. Choisy	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
<i>Parmotrema</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
<i>Phaeophyscia</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
<i>Physcia albata</i> (F. Wilson) Hale	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
<i>Physcia eurupens</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
<i>Physcia pachyphylla</i> Müll. Arg.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
<i>Physcia undulata</i> Moberg	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
<i>Placomaronea candelarioides</i> Räsänen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
<i>Placomaronea mendozae</i> (Räsänen) M. Westb.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
<i>Placomaronea</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
<i>Psiloparmelia distincta</i> (Nyl.) Hale	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
<i>Psiloparmelia subcrustosa</i> Elix & T.H. Nash	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
<i>Scutaria andina</i> (Räsänen) Søchting, Frödén & Arup	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
<i>Squamulea squamosa</i> (B. de Lesd.) Arup, Søchting & Frödén	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
<i>Squamulea subsoluta</i> (Nyl.) Arup, Søchting & Frödén	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
<i>Umbilicaria polyphylla</i> (L.) Baumg	1	1	1	0	0	10	10	10	0	0	10	10	0	0	0	10	10	0	0	0	0	10	10	10	0	0.52	20.63	7.92	0.17	4.12	
<i>Umbilicaria</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
<i>Usnea durietzii</i> Motyka	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
<i>Xanthoparmelia flavescens</i> (Gyelnik) D. Galloway	10	0	10	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	10	10	0	0	0	0	1	1	10	0	0.40	15.87	5.50	0.12	2.20	
<i>Xanthoparmelia farinosa</i> (Vain.) T.H. Nash, Elix & Johnston	0	10	0	0	0	10	10	10	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0.20	7.94	10.00	0.22	2.00		
<b>Total general</b>																									2.52	100.00	45.95	1.00	18.72		

ESPECIES	TALA																				25	FA	FR	CA	CR	CT					
	TA01					TA02					TA03					TA04											TA05				
	A	B	C	I	II	A	B	C	I	II	A	B	C	I	II	A	B	C	I	II							A	B	C	I	II
<i>Acarospora lorentzii</i> (Müll. Arg.) Hue	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Acarospora xanthophana</i> (Nyl.) Jatta	70	10	10	0	0	0	0	0	0	0	30	10	10	0	0	10	10	10	0	0	10	10	30	0	0	0.48	9.16	18.33	0.12	8.80	
<i>Buellia</i> sp.	0	1	0	0	0	10	10	0	0	0	1	10	1	0	0	0	10	10	0	0	0	0	10	0	0	0.36	6.87	7.00	0.04	2.52	
<i>Calogaya saxicola</i> (Hoffm.) Vondrák	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Candelaria concolor</i> (Dicks.) Arnold	0	10	10	0	0	10	10	10	0	0	10	10	10	0	0	0	10	10	0	0	0	0	10	0	0	0.40	7.63	10.00	0.06	4.00	
<i>Canoparmelia</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Canoparmelia</i> sp.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Canoparmelia texana</i> (Tuck.) Elix & Hale	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Dirinaria applanata</i> (Fée) D.D. Awasthi	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Everniopsis trulla</i> (Ach.) Nyl.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Flavopunctelia flaventior</i> (Stirt.) Hale	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Flavopunctelia</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Lecidea</i> sp.	0	1	1	0	0	10	10	10	0	0	10	10	10	0	0	10	10	10	0	0	0	10	10	0	0	0.52	9.92	8.62	0.05	4.48	
<i>Parmotrema reticulatum</i> (Taylor) M. Choisy	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Parmotrema</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Phaeophyscia</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Physcia albata</i> (F. Wilson) Hale	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Physcia eurupens</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Physcia pachyphylla</i> Müll. Arg.	0	30	30	0	0	30	10	10	0	0	30	70	10	0	0	10	10	0	0	0	0	10	10	10	0	0.52	9.92	20.77	0.13	10.80	
<i>Physcia undulata</i> Moberg	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Placomaronea candelarioides</i> Räsänen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Placomaronea mendozae</i> (Räsänen) M. Westb.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Placomaronea</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Psiloparmelia distincta</i> (Nyl.) Hale	0	70	70	0	0	30	10	10	0	0	10	10	30	0	0	10	30	0	0	0	0	10	10	0	0	0.48	9.16	25.00	0.16	12.00	
<i>Psiloparmelia subcrustosa</i> Elix & T.H. Nash	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Scutaria andina</i> (Räsänen) Søchting, Frödén & Arup	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Squamulea squamosa</i> (B. de Lesd.) Arup, Søchting & Frödén	10	10	10	0	0	0	10	10	0	0	30	10	10	0	0	10	10	30	0	0	0	10	30	0	0	0.52	9.92	14.62	0.09	7.60	
<i>Squamulea subsoluta</i> (Nyl.) Arup, Søchting & Frödén	0	10	0	0	0	0	10	0	0	0	10	10	0	0	0	10	0	0	0	0	10	10	0	0	0	0.28	5.34	10.00	0.06	2.80	
<i>Umbilicaria polyphylla</i> (L.) Baumg	0	30	30	0	0	0	1	10	0	0	10	30	10	0	0	0	10	0	0	0	0	10	10	0	0	0.40	7.63	15.10	0.10	6.04	
<i>Umbilicaria</i> sp.	1	1	10	0	0	0	10	10	0	0	10	1	0	0	0	10	10	30	0	0	10	10	10	0	0	0.52	9.92	9.46	0.06	4.92	
<i>Usnea durietzii</i> Motyka	10	10	10	0	0	10	10	0	0	0	10	1	0	0	0	0	10	10	0	0	0	10	0	0	0	0.40	7.63	9.10	0.06	3.64	
<i>Xanthoparmelia flavescens</i> Gyelnik D. Galloway	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Xanthoparmelia farinosa</i> (Vain.) T.H. Nash, Elix & Johnston	0	10	1	0	0	10	10	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	10	10	30	0	0	0.36	6.87	9.22	0.06	3.32	
<b>Total general</b>																										5.24	100.00	157.22	1.00	70.92	

ESPECIES	LOMA DE HUACALUNA																													
	LH01					LH02					LH03					LH04					LH05					25				
	A	B	I	II	III	A	B	I	II	III	A	B	I	II	III	A	B	I	II	III	A	B	I	II	III	FA	FR	CA	CR	CT
<i>Acarospora lorentzii</i> (Müll. Arg.) Hue	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Acarospora xanthophana</i> (Nyl.) Jatta	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Buellia</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Calogaya saxicola</i> (Hoffm.) Vondrák	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Candelaria concolor</i> (Dicks.) Arnold	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Canoparmelia</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Canoparmelia</i> sp.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Canoparmelia texana</i> (Tuck.) Elix & Hale	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Dirinaria applanata</i> (Fée) D.D. Awasthi	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Everniopsis trulla</i> (Ach.) Nyl.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Flavopunctelia flaventior</i> (Stirt.) Hale	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Flavopunctelia</i> sp.	0	0	0	70	70	0	0	30	30	0	0	0	70	70	70	0	0	10	10	0	0	0	30	30	70	0.48	33.33	46.67	0.43	22.40
<i>Lecidea</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Parmotrema reticulatum</i> (Taylor) M. Choisy	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Parmotrema</i> sp.	0	0	30	10	30	0	0	0	10	0	0	0	30	70	10	0	0	10	0	0	0	10	70	0	0	0.40	27.78	28.00	0.26	11.20
<i>Phaeophyscia</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Physcia albata</i> (F. Wilson) Hale	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Physcia eurupens</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Physcia pachyphylla</i> Müll. Arg.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Physcia undulata</i> Moberg	0	0	10	30	70	0	0	70	30	30	0	0	70	30	10	0	0	10	10	0	0	0	10	30	70	0.56	38.89	34.29	0.31	19.20
<i>Placomaronea candelarioides</i> Räsänen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Placomaronea mendozae</i> (Räsänen) M. Westb.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Placomaronea</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Psiloparmelia distincta</i> (Nyl.) Hale	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Psiloparmelia subcrustosa</i> Elix & T.H. Nash	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Scutaria andina</i> (Räsänen) Söchting, Frödén & Arup	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Squamulea squamosa</i> (B. de Lesd.) Arup, Söchting & Frödén	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Squamulea subsoluta</i> (Nyl.) Arup, Söchting & Frödén	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Umbilicaria polyphylla</i> (L.) Baumg	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Umbilicaria</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Usnea durietzii</i> Motyka	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Xanthoparmelia flavescens</i> Gyelnik D. Galloway	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Xanthoparmelia farinosa</i> (Vain.) T.H. Nash, Elix & Johnston	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>Total general</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.44	100.00	108.95	1.00	52.80

ESPECIES	LOMAS DE TACAHAUAY															25																	
	LT01					LT02					LT03					LT04					LT05					FA	FR	CA	CR	CT			
	A	B	I	II	III	A	B	I	II	III	A	B	I	II	III	A	B	I	II	III	A	B	I	II	III								
<i>Acarospora lorentzii</i> (Müll. Arg.) Hue	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Acarospora xanthophana</i> (Nyl.) Jatta	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Buellia</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Calogaya saxicola</i> (Hoffm.) Vondrák	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Candelaria concolor</i> (Dicks.) Arnold	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Canoparmelia</i> sp.	0	0	70	70	30	0	0	0	30	10	0	0	30	10	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0.36	11.69	30.00	0.22	10.80
<i>Canoparmelia</i> sp.1	0	0	30	30	1	0	0	10	10	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	10	0.32	10.39	13.88	0.10	4.44	
<i>Canoparmelia texana</i> (Tuck.) Elix & Hale	0	0	0	70	70	0	0	0	70	30	0	0	10	10	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	70	10	10	0.40	12.99	36.00	0.26	14.40	
<i>Dirinaria applanata</i> (Fée) D.D. Awasthi	0	0	10	10	10	0	0	0	0	30	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	10	0	0.28	9.09	12.86	0.09	3.60	
<i>Everniopsis trulla</i> (Ach.) Nyl.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Flavopunctelia flaventior</i> (Stirt.) Hale	0	0	30	10	10	0	0	30	30	10	0	0	0	10	10	0	0	0	10	0	0	0	0	10	10	10	0.48	15.58	15.00	0.11	7.20		
<i>Flavopunctelia</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Lecidea</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Parmotrema reticulatum</i> (Taylor) M. Choisy	0	0	1	30	10	0	0	0	30	30	10	0	0	0	10	10	0	0	10	0	0	0	0	10	10	10	0	0.44	14.29	14.64	0.11	6.44	
<i>Parmotrema</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Phaeophyscia</i> sp.	0	0	10	0	0	0	0	0	10	0	0	0	1	1	10	0	0	10	10	0	0	0	0	10	10	0	0.36	11.69	8.00	0.06	2.88		
<i>Physcia albata</i> (F. Wilson) Hale	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Physcia eurupens</i>	0	0	10	10	10	0	0	0	0	0	0	0	10	10	10	0	0	10	1	10	0	0	0	10	1	0	0.44	14.29	8.36	0.06	3.68		
<i>Physcia pachyphylla</i> Müll. Arg.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Physcia undulata</i> Moberg	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Placomaronea candelarioides</i> Räsänen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Placomaronea mendozae</i> (Räsänen) M. Westb.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Placomaronea</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Psiloparmelia distincta</i> (Nyl.) Hale	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Psiloparmelia subcrustosa</i> Elix & T.H. Nash	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Scutaria andina</i> (Räsänen) Søchting, Frödén & Arup	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Squamulea squamosa</i> (B. de Lesd.) Arup, Søchting & Frödén	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Squamulea subsoluta</i> (Nyl.) Arup, Søchting & Frödén	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Umbilicaria polyphylla</i> (L.) Baumg	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Umbilicaria</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Usnea durietzii</i> Motyka	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Xanthoparmelia flavescens</i> Gyelnik D. Galloway	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Xanthoparmelia farinosa</i> (Vain.) T.H. Nash, Elix & Johnston	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
<b>Total general</b>																												3.08	100.00	138.73	1.00	53.44	

**Anexo 10.** Matriz de datos de promedio de porcentaje de cobertura de líquenes para las diferentes unidades de muestreo, estaciones y sectores  
*Altarani, Alto Coscore, Calientes, Charaque, Tala, Huacaluna y Tacahuay.*

ESPECIES	ALTARANI					ALTO COSCORE					CALIENTES					CHARAQUE					TALA					HUACALUNA					TACAHUAY				
	AL01	AL02	AL03	AL04	AL05	ALC01	ALC02	ALC03	ALC04	ALC05	CA01	CA02	CA03	CA04	CA05	CHA01	CHA02	CHA03	CHA04	CHA05	TA01	TA02	TA03	TA04	TA05	LH01	LH02	LH03	LH04	LH05	LT01	LT02	LT03	LT04	LT05
<i>Acarospora lorentzii</i> (Müll. Arg.) Hue	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.4	4.2	4.0	4.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Acarospora xanthophana</i> (Nyl.) Jatta	6.0	4.2	2.4	0.4	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.2	2.4	4.0	0.6	6.0	4.2	4.0	0.0	4.0	6.0	18.0	0.0	10.0	6.0	10.0	0.0	0.0	2.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Buellia</i> sp.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.2	2.4	4.0	0.6	4.0	0.2	4.0	2.4	4.0	2.0	0.0	0.0	2.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
<i>Calogaya saxicola</i> (Hoffm.) Vondrák	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.2	4.0	12.2	4.0	8.0	12.0	8.2	4.0	4.0	14.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
<i>Candelaria concolor</i> (Dicks.) Arnold	2.4	4.2	6.0	6.0	6.2	2.0	6.0	6.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.2	2.4	4.0	6.0	6.0	4.0	6.0	6.0	2.0	2.0	0.0	0.0	2.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
<i>Canoparmelia</i> sp.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	0.0	0.0	34.0	8.0	10.0	0.0	2.0	
<i>Canoparmelia</i> sp.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1	0.0	0.0	12.2	4.0	2.0	0.0	4.0	
<i>Canoparmelia texana</i> (Tuck.) Elix & Hale	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.2	0.0	0.0	28.0	20.0	6.0	0.0	18.0	
<i>Dirrinaria applanata</i> (Fée) D.D. Awasthi	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.3	0.0	0.0	6.0	6.0	2.0	0.0	4.0	
<i>Everniopsis trulla</i> (Ach.) Nyl.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.0	6.0	2.4	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
<i>Flavopunctelia flaviventris</i> (Stirt.) Hale	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.6	0.0	0.0	10.0	14.0	4.0	2.0	6.0	
<i>Flavopunctelia</i> sp.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	28.0	12.0	3.7	4.0	26.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
<i>Lecidea</i> sp.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	6.0	6.0	6.0	4.0	0.0	0.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
<i>Parmotrema reticulatum</i> (Taylor) M. Choisy	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.1	0.0	0.0	8.2	14.0	4.0	2.0	4.0	
<i>Parmotrema</i> sp.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14.0	2.0	2.2	2.0	16.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
<i>Phaeophyscia</i> sp.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	0.0	0.0	2.0	2.0	2.4	4.0	4.0	
<i>Physcia albata</i> (F. Wilson) Hale	6.0	4.2	2.4	2.4	2.4	6.0	0.0	0.4	2.2	4.2	4.2	6.0	2.4	0.0	4.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
<i>Physcia europens</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	0.0	0.0	6.0	0.0	6.0	4.2	2.2	
<i>Physcia pachyphylla</i> Müll. Arg.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.0	10.0	22.0	4.0	6.0	0.0	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
<i>Physcia undulata</i> Moberg	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	22.0	26.0	1.5	4.0	22.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
<i>Placomaronea candelarioides</i> Räsänen	4.0	4.2	2.4	0.4	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
<i>Placomaronea mendocinae</i> (Räsänen) M. Westb.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.0	6.0	2.2	6.0	6.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Placomaronea</i> sp.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	2.2	4.0	0.4	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Psiloparmelia distincta</i> (Nyl.) Hale	2.4	2.4	2.4	0.4	0.4	4.0	4.2	4.0	8.2	10.0	2.4	2.0	2.0	2.4	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	28.0	10.0	10.0	8.0	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Psiloparmelia subcrustosa</i> Elix & T.H. Nash	6.0	4.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Scutaria andina</i> (Räsänen) Sächting, Frödén & Arup	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	0.0	4.0	4.0	6.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Squamulea squamosa</i> (B. de Lesd.) Arup, Sächting & Frödén	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.0	0.6	2.0	2.0	2.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.0	4.0	10.0	10.0	8.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Squamulea subsoluta</i> (Nyl.) Arup, Sächting & Frödén	4.0	2.0	0.0	0.0	0.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	2.0	4.0	2.0	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Umbilicaria polyphylla</i> (L.) Baumg	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	6.0	4.0	2.2	4.0	10.0	4.0	6.0	4.0	4.0	4.0	0.6	6.0	4.0	4.0	6.0	12.0	2.2	10.0	2.0	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Umbilicaria</i> sp.	6.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	2.2	0.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.4	4.0	2.2	10.0	6.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Usnea durietzii</i> Motyka	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.4	2.2	4.0	4.0	8.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.0	4.0	2.2	4.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Xanthoparmelia flavescens</i> (Gyelnik) D. Galloway	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Xanthoparmelia farinosa</i> (Vain.) T.H. Nash, Elix & Johnston	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	4.0	0.4	4.2	0.4	4.2	6.0	0.0	4.2	2.0	6.0	0.0	2.0	0.0	2.2	4.2	0.2	0.0	10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<b>Total general</b>	<b>50.8</b>	<b>43.2</b>	<b>35.6</b>	<b>27.6</b>	<b>27.6</b>	<b>35.0</b>	<b>22.2</b>	<b>41.0</b>	<b>31.2</b>	<b>44.8</b>	<b>46.0</b>	<b>44.0</b>	<b>38.6</b>	<b>27.6</b>	<b>51.6</b>	<b>15.2</b>	<b>21.4</b>	<b>12.0</b>	<b>20.6</b>	<b>24.4</b>	<b>93.2</b>	<b>56.4</b>	<b>85.0</b>	<b>58.0</b>	<b>62.0</b>	<b>64.0</b>	<b>40.0</b>	<b>49.6</b>	<b>10.0</b>	<b>64.0</b>	<b>106.4</b>	<b>68.0</b>	<b>36.4</b>	<b>12.2</b>	<b>44.2</b>

**Anexo 11.** Matriz de datos de cobertura total de líquenes para los sectores de Altarani, Alto Coscore, Calientes, Charaque, Tala, Huacaluna y Tacahuay.

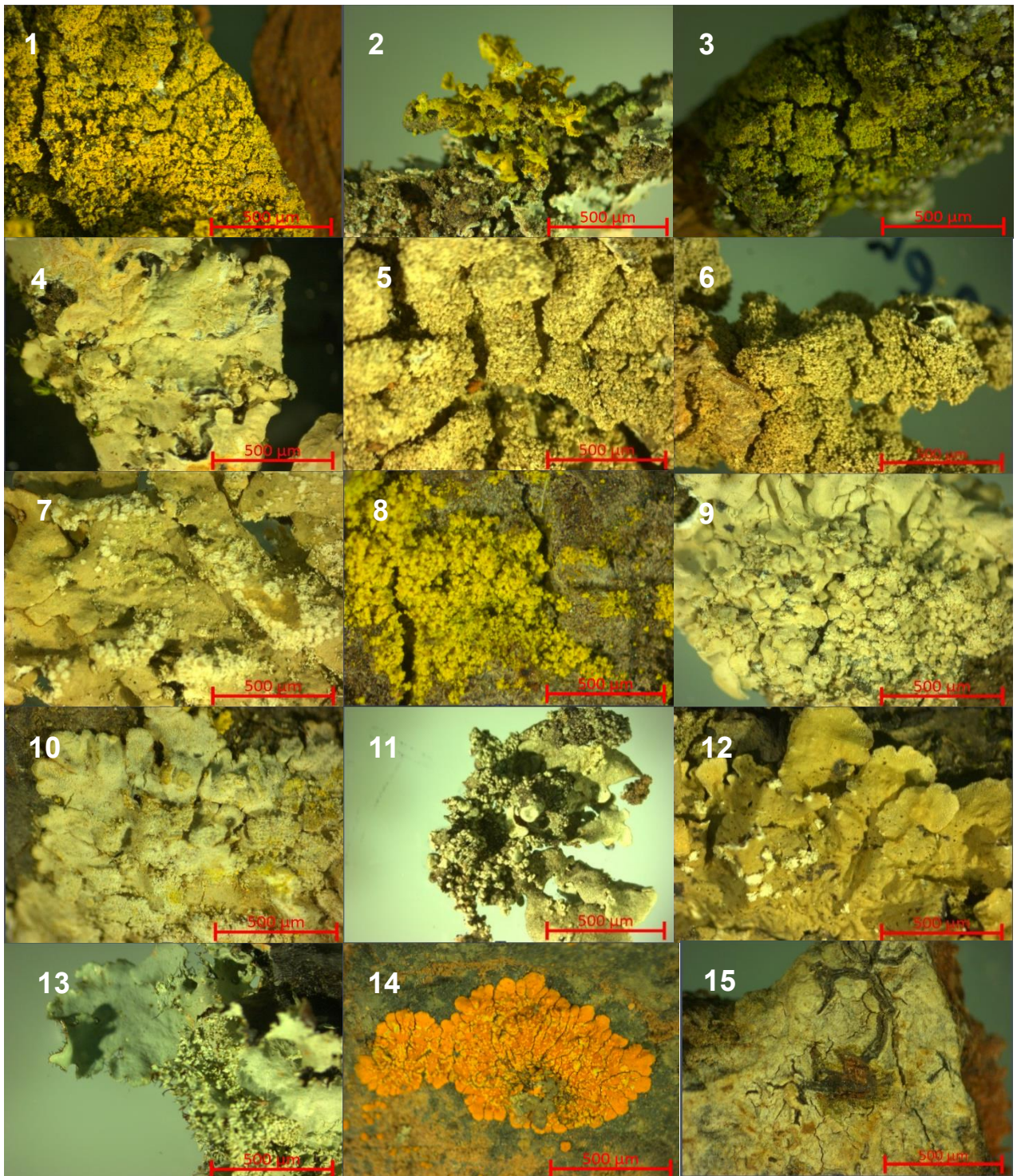
ESPECIES	Altarani	Alto Coscore	Calientes	Charaque	Tala	Huacaluna	Tacahuay
<i>Acarospora lorentzii</i> (Müll. Arg.) Hue	0	0	3.4	0	0	0	0
<i>Acarospora xanthophana</i> (Nyl.) Jatta	6.48	0	3.44	3.64	8.8	0	0
<i>Buellia</i> sp.	0	0	0	2.64	2.52	0	0
<i>Calogaya saxicola</i> (Hoffm.) Vondrák	0	6.48	8.44	0	0	0	0
<i>Candelaria concolor</i> (Dicks.) Arnold	4.24	4.04	0	4.12	4	0	0
<i>Canoparmelia</i> sp.	0	0	0	0	0	0	10.8
<i>Canoparmelia</i> sp.1	0	0	0	0	0	0	4.44
<i>Canoparmelia texana</i> (Tuck.) Elix & Hale	0	0	0	0	0	0	14.4
<i>Dirinaria applanata</i> (Fée) D.D. Awasthi	0	0	0	0	0	0	3.6
<i>Everniopsis trulla</i> (Ach.) Nyl.	0	2.56	0	0	0	0	0
<i>Flavopunctelia flaventior</i> (Stirt.) Hale	0	0	0	0	0	0	7.2
<i>Flavopunctelia</i> sp.	0	0	0	0	0	22.4	0
<i>Lecidea</i> sp.	0	0	0	0	4.48	0	0
<i>Parmotrema reticulatum</i> (Taylor) M. Choisy	0	0	0	0	0	0	6.44
<i>Parmotrema</i> sp.	0	0	0	0	0	11.2	0
<i>Phaeophyscia</i> sp.	0	0	0	0	0	0	2.88
<i>Physcia albata</i> (F. Wilson) Hale	4.2	2.56	3.36	0	0	0	0
<i>Physcia eurupens</i>	0	0	0	0	0	0	3.68
<i>Physcia pachyphylla</i> Müll. Arg.	0	0	0	0	10.8	0	0
<i>Physcia undulata</i> Moberg	0	0	0	0	0	19.2	0
<i>Placomaronea candelarioides</i> Räsänen	2.96	0	0	0	0	0	0
<i>Placomaronea mendozae</i> (Räsänen) M. Westb.	0	0	5.24	0	0	0	0
<i>Placomaronea</i> sp.	0	0	2.12	0	0	0	0
<i>Psiloparmelia distincta</i> (Nyl.) Hale	3.4	6.08	1.88	0	12	0	0
<i>Psiloparmelia subcrustosa</i> Elix & T.H. Nash	2.8	0	0	0	0	0	0
<i>Scutaria andina</i> (Räsänen) Sjøchting, Frödén & Arup	0	3.2	0	0	0	0	0
<i>Squamulea squamosa</i> (B. de Lesd.) Arup, Sjøchting & Frödén	0	0	2.16	0	7.6	0	0
<i>Squamulea subsoluta</i> (Nyl.) Arup, Sjøchting & Frödén	2.12	0.4	0	0	2.8	0	0
<i>Umbilicaria polyphylla</i> (L.) Baumg	6.92	5.24	4.4	4.12	6.04	0	0
<i>Umbilicaria</i> sp.	4.4	2.44	0	0	4.92	0	0
<i>Usnea durietzii</i> Motyka	0	0	4.16	0	3.64	0	0
<i>Xanthoparmelia flavescens</i> Gyelnik D. Galloway	0	0	0	2.2	0	0	0
<i>Xanthoparmelia farinosa</i> (Vain.) T.H. Nash, Elix & Johnston	0	1.84	2.96	2	3.32	0	0

**Anexo 12. Matriz de datos de elementos traza (mg/kg) analizados en los líquenes recolectados en los sectores de Altarani, Alto Coscore, Calientes, Charaque, Tala, Huacaluna y Tacahuay.**

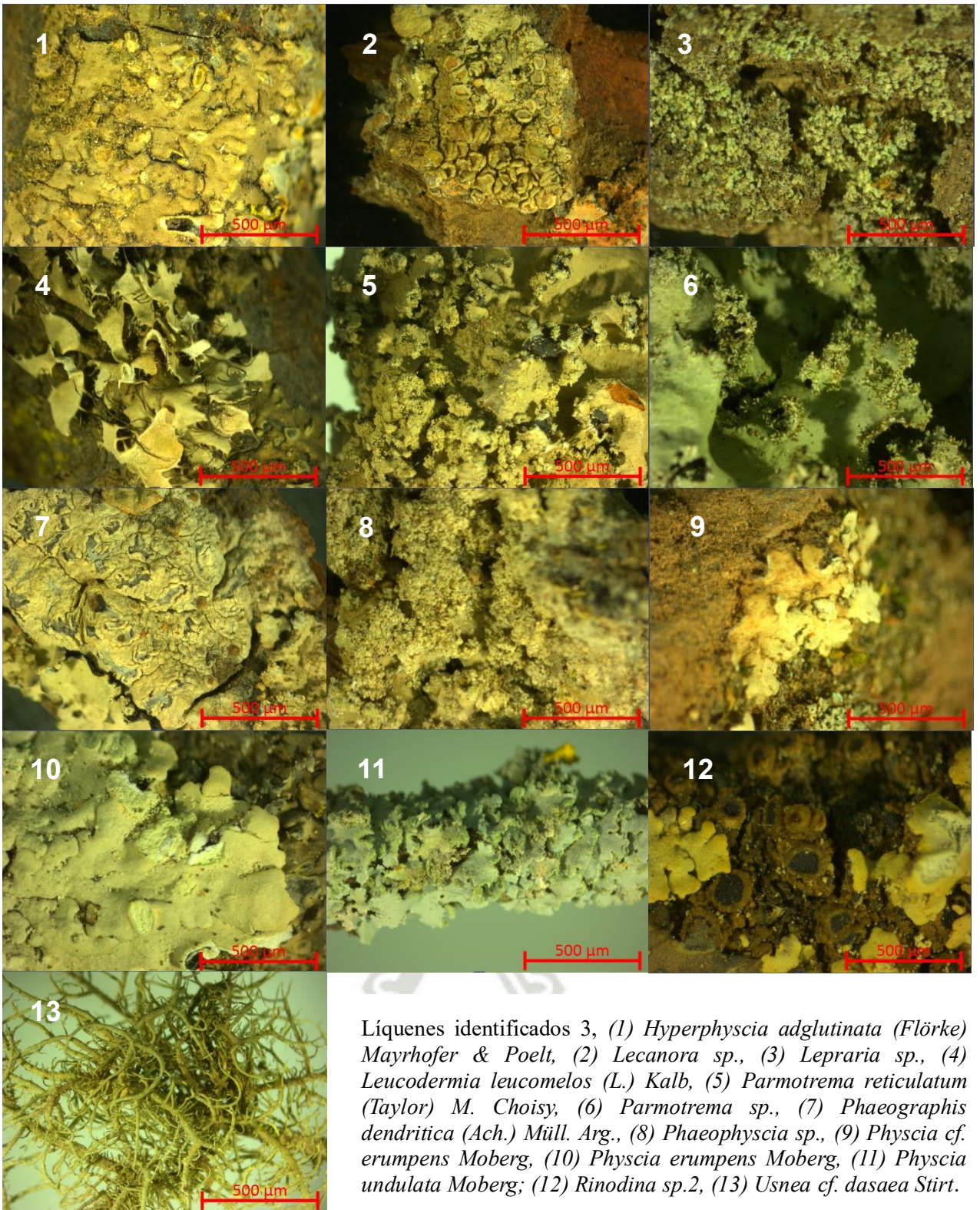
estacion	sitios	elevacion	orden	familia	genero	especie	FR	CT	aluminio	antimonio	arsenico	cadmio	cobre	mercurio	niquel	plomo	selenio	silicio	tallo	telurio	uranio	zinc	
Coscore	ALC1	2721	Candelariales	Candelariaceae	Candelaria	<i>Candelaria concolor</i>	9.78	4.04	8061.00	0.00	8.21	0.54	156.00	0.00	4.52	13.50	0.91	0.00	0.00	0.00	0.00	56.40	
Coscore	ALC2	3445	Teloschistales	Teloschistaceae	Calogaya	<i>Calogaya saxicola</i>	13.04	6.48	6102.50	0.00	9.34	0.35	235.40	0.00	3.13	14.52	0.73	0.00	0.00	0.00	0.00	69.35	
Coscore	ALC3	3445	Umbilicariales	Umbilicariaceae	Umbilicaria	<i>Umbilicaria sp.</i>	7.61	2.44	2090.50	0.00	4.41	0.28	112.15	0.00	2.39	6.52	0.55	0.00	0.00	0.00	0.00	44.70	
Coscore	ALC4	3468	Caliciales	Physciaceae	Physcia	<i>Physcia albata</i>	10.87	2.56	2310.33	0.00	5.29	0.29	124.77	0.00	2.13	7.81	0.53	0.00	0.00	0.00	0.00	51.70	
Coscore	ALC5	3592	Umbilicariales	Umbilicariaceae	Umbilicaria	<i>Umbilicaria polyphylla</i>	13.04	5.24	2068.00	0.00	3.28	0.26	82.60	0.00	0.93	4.19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	47.50	
Tala	TA1	3576	Lecideales	Lecideaceae	Lecidea	<i>Lecidea sp.</i>	9.92	4.48	2339.00	0.00	5.02	0.34	198.00	0.00	1.20	10.60	1.00	550.00	0.00	0.00	0.00	50.90	
Tala	TA2	3570	Umbilicariales	Umbilicariaceae	Umbilicaria	<i>Umbilicaria polyphylla</i>	7.63	6.04	3213.00	0.00	4.84	0.31	230.00	0.00	1.48	13.85	0.82	0.00	0.00	0.00	0.00	73.80	
Tala	TA3	3251	Caliciales	Physciaceae	Physcia	<i>Physcia pachyphylla</i>	9.92	10.80	1722.50	0.00	3.61	0.37	96.17	0.00	0.95	8.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	49.83	
Tala	TA4	3576	Acarosporales	Acarosporaceae	Acarospora	<i>Acarospora xanthophana</i>	9.16	8.80	3792.67	0.00	5.63	0.31	88.53	0.00	2.14	8.95	0.44	0.00	0.00	0.00	0.00	46.59	
Tala	TA5	3570	Parmelioideae	Parmeliaceae	Psiloparmelia	<i>Psiloparmelia distincta</i>	9.16	12.00	7092.00	0.00	9.50	0.39	234.67	0.00	3.63	16.97	0.86	0.00	0.00	0.00	0.00	60.60	
Altarani	AL1	3733	Candelariales	Candelariaceae	Placomaronea	<i>Placomaronea candelarioides</i>	10.68	2.96	4606.00	0.00	5.38	0.56	232.00	0.00	2.40	14.80	1.02	0.00	0.00	0.00	0.00	55.30	
Altarani	AL2	3725	Acarosporales	Acarosporaceae	Acarospora	<i>Acarospora xanthophana</i>	13.59	6.48	4605.00	0.00	7.24	0.32	216.50	0.15	2.03	13.43	0.61	0.00	0.00	0.00	0.00	49.10	
Altarani	AL3	3748	Candelariales	Candelariaceae	Candelaria	<i>Candelaria concolor</i>	11.65	4.24	4147.50	0.00	9.23	0.53	189.35	0.19	1.73	13.70	0.89	0.00	0.00	0.00	0.00	76.90	
Altarani	AL4	3744	Caliciales	Physciaceae	Physcia	<i>Physcia albata</i>	14.56	4.20	1393.00	0.00	3.48	0.27	145.00	0.00	0.62	6.93	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	83.60	
Altarani	AL5	3741	Parmelioideae	Parmeliaceae	Psiloparmelia	<i>Psiloparmelia distincta</i>	12.62	3.40	1960.00	0.00	3.94	0.38	142.00	0.00	1.02	7.10	0.42	0.00	0.00	0.00	0.00	36.50	
Calientes	CA1	2868	Acarosporales	Acarosporaceae	Acarospora	<i>Acarospora lorentzii</i>	9.52	3.40	1095.00	0.00	1.79	0.00	27.00	0.00	3.56	1.65	0.51	0.00	0.00	0.00	0.00	20.30	
Calientes	CA2	2871	Parmelioideae	Parmeliaceae	Xanthoparmelia	<i>Xanthoparmelia farinosa</i>	8.73	2.96	2295.00	0.00	4.03	0.22	73.00	0.00	1.31	5.34	0.54	0.00	0.00	0.00	0.00	38.00	
Calientes	CA3	2869	Candelariales	Candelariaceae	Placomaronea	<i>Placomaronea mendozae</i>	11.11	5.24	5686.00	0.00	9.27	0.57	131.00	0.00	3.19	14.60	1.09	0.00	0.00	0.00	0.00	52.70	
Calientes	CA4	2860	Teloschistales	Teloschistaceae	Calogaya	<i>Calogaya saxicola</i>	9.52	8.44	5888.50	0.00	11.44	0.39	133.90	0.00	3.23	12.33	0.88	0.00	0.00	0.00	0.00	73.60	
Calientes	CA5	2875	Teloschistales	Teloschistaceae	Squamulea	<i>Squamulea squamosa</i>	7.14	2.16	5337.00	0.00	9.10	0.51	125.00	0.00	2.94	12.30	0.69	0.00	0.00	0.00	0.00	51.10	
Calientes	CA3	2663	Candelariales	Candelariaceae	Placomaronea	<i>Placomaronea sp.</i>	6.35	2.12	3801.00	0.00	6.93	0.40	120.00	0.00	1.94	9.93	0.29	0.00	0.00	0.00	0.00	51.50	
Tala	TA1	3314	Teloschistales	Teloschistaceae	Squamulea	<i>Squamulea subsoluta</i>	5.34	2.80	8142.00	0.00	9.88	0.40	242.00	0.00	3.99	16.40	1.08	0.00	0.00	0.00	0.00	69.10	
Tala	TA2	3319	Teloschistales	Teloschistaceae	Squamulea	<i>Squamulea squamosa</i>	9.92	7.60	3471.00	0.00	8.17	0.68	145.00	0.00	2.24	7.16	0.29	0.00	0.00	0.00	0.00	73.60	
Coscore	ALC1	3267	Teloschistales	Teloschistaceae	Scutaria	<i>Scutaria andina</i>	8.70	3.20	4100.00	0.00	7.34	0.32	137.00	0.00	1.82	8.60	0.49	0.00	0.00	0.00	0.00	118.00	
Tala	TA2	3585	Parmelioideae	Parmeliaceae	Xanthoparmelia	<i>Xanthoparmelia farinosa</i>	6.87	3.32	6495.00	0.00	12.10	0.23	181.00	0.00	3.11	16.30	0.70	0.00	0.00	0.00	0.00	74.10	
Tala	TA1	3472	Umbilicariales	Umbilicariaceae	Umbilicaria	<i>Umbilicaria sp.</i>	9.92	4.92	1788.00	0.00	4.22	0.21	106.62	0.00	0.97	5.50	0.36	0.00	0.00	0.00	0.00	57.20	
Tala	TA5	3244	Candelariales	Candelariaceae	Candelaria	<i>Candelaria concolor</i>	7.63	4.00	3883.00	0.00	9.58	0.28	143.43	0.25	1.91	9.13	0.51	0.00	0.00	0.00	0.00	97.40	
Tala	TA3	3239	Caliciales	Caliciaceae	Buellia	<i>Buellia sp.</i>	6.87	2.52	5149.00	0.00	6.37	0.46	191.00	0.25	2.91	11.05	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00	80.55	
Tala	TA2	3248	Lecanorales	Parmeliaceae	Usnea	<i>Usnea durietzii</i>	7.63	3.64	1072.00	0.00	2.08	0.24	42.22	0.00	0.65	4.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	32.63	
Coscore	ALC1	3420	Parmelioideae	Parmeliaceae	Psiloparmelia	<i>Psiloparmelia distincta</i>	10.43	6.08	1923.00	0.00	3.52	0.31	68.07	0.00	1.05	5.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	41.38	
Coscore	ALC3	3360	Parmelioideae	Parmeliaceae	Xanthoparmelia	<i>Xanthoparmelia farinosa</i>	14.87	1.84	4206.00	0.00	8.71	0.34	136.40	0.48	1.91	9.29	0.47	0.00	0.00	0.00	0.00	94.60	
Coscore	ALC4	3416	Lecanorales	Parmeliaceae	Everniopsis	<i>Everniopsis trulla</i>	10.87	2.56	2332.00	0.00	5.36	0.47	68.20	0.25	1.26	7.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	41.80	
Coscore	ALC5	3405	Teloschistales	Teloschistaceae	Squamulea	<i>Squamulea subsoluta</i>	1.09	0.40	4332.00	0.00	7.27	0.39	139.30	0.00	2.25	9.91	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	52.90	
Altarani	AL1	3756	Umbilicariales	Umbilicariaceae	Umbilicaria	<i>Umbilicaria sp.</i>	10.68	4.40	2536.00	0.00	5.65	0.23	284.20	0.00	1.01	16.83	0.64	0.00	0.00	0.00	0.00	80.50	
Altarani	AL1	3752	Umbilicariales	Umbilicariaceae	Umbilicaria	<i>Umbilicaria polyphylla</i>	11.65	6.92	1873.50	0.00	4.29	0.29	258.40	0.00	0.87	12.38	0.75	0.00	0.00	0.00	0.00	71.05	
Altarani	AL2	3755	Parmelioideae	Parmeliaceae	Psiloparmelia	<i>Psiloparmelia subcrustosa</i>	6.80	2.80	2761.00	0.00	5.21	0.44	272.50	0.00	1.26	13.30	0.41	0.00	0.00	0.00	0.00	55.90	
Altarani	AL3	3748	Teloschistales	Teloschistaceae	Squamulea	<i>Squamulea subsoluta</i>	7.77	2.12	6194.00	0.00	12.12	0.27	296.10	0.26	2.75	22.30	0.38	0.00	0.00	0.00	0.00	57.50	
Calientes	CA1	2956	Lecanorales	Parmeliaceae	Usnea	<i>Usnea durietzii</i>	9.52	4.16	2417.00	0.00	3.75	0.00	47.90	0.00	1.79	3.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	36.20	
Calientes	CA2	2975	Caliciales	Physciaceae	Physcia	<i>Physcia albata</i>	9.52	3.36	4412.00	0.00	6.64	0.40	77.20	0.00	2.07	7.18	0.39	0.00	0.00	0.00	0.00	55.50	
Calientes	CA3	3011	Parmelioideae	Parmeliaceae	Psiloparmelia	<i>Psiloparmelia distincta</i>	8.73	1.88	4403.00	0.00	6.58	0.52	89.70	0.30	2.14	7.65	0.35	0.00	0.00	0.00	0.00	61.80	
Calientes	CA1	3022	Acarosporales	Acarosporaceae	Acarospora	<i>Acarospora xanthophana</i>	11.11	3.44	4757.00	0.00	11.67	0.29	81.50	0.26	2.41	8.89	0.28	0.00	0.00	0.00	0.00	1.16	54.90
Calientes	CA5	2939	Umbilicariales	Umbilicariaceae	Umbilicaria	<i>Umbilicaria polyphylla</i>	8.73	4.40	2451.00	0.00	5.30	0.29	355.20	0.00	1.15	15.19	0.60	0.00	0.00	0.00	0.00	91.20	
Charaque	CHA1	3618	Acarosporales	Acarosporaceae	Acarospora	<i>Acarospora xanthophana</i>	15.87	3.64	6967.00	0.00	6.85	0.36	96.40	0.00	4.13	14.02	0.67	0.00	0.00	0.00	0.00	40.00	
Charaque	CHA2	3752	Candelariales	Candelariaceae	Candelaria	<i>Candelaria concolor</i>	20.63	4.12	6390.00	0.00	10.29	0.27	188.60	0.00	2.83	11.95	0.47	0.00	0.00	0.00	0.00	78.70	
Charaque	CHA3	3622	Parmelioideae	Parmeliaceae	Xanthoparmelia	<i>Xanthoparmelia farinosa</i>	7.94	2.00	4344.00	0.00	5.64	0.39	191.80	0.00	2.09	12.02	0.60	0.00	0.00	0.00	0.00	44.30	
Charaque	CHA4	3632	Umbilicariales	Umbilicariaceae	Umbilicaria	<i>Umbilicaria polyphylla</i>	20.63	4.12	1729.00	0.00	4.58	0.35	202.70	0.00	0.96	9.38	0.55	0.00	0.00	0.00	0.00	75.00	
Charaque	CHA5	3622	Caliciales	Caliciaceae	Buellia	<i>Buellia sp.</i>	19.05	2.64	2355.00	0.00	5.12	0.40	221.30	0.00	1.08	11.24	0.57	0.00	0.00	0.00	0.00	72.30	
Tacahuay	LT1	755	Lecanorales	Parmeliaceae	Canoparmelia	<i>Canoparmelia sp.1</i>	10.39	4.44	5124.71	0.45	5.96	0.42	56.67	0.15	3.05	14.41	1.06	1073.37	0.03	0.02	0.18	39.80	
Tacahuay	LT2	683	Lecanorales	Parmeliaceae	Canoparmelia	<i>Canoparmelia texana</i>	12.99	14.40	5124.71	0.45	5.96	0.42	56.67	0.15	3.05	14.41	1.06	1073.37	0.03	0.02	0.18	39	

especie	As	CFAs	REAs	Cd	CFCd	RECD	Cu	CFCu	RECu	Cr	CFCr	RECr	Hg	CFHg	REHg	Ni	CFNi	RENi	Pb	CFPb	REPb	Zn	CFZn	REZn
Candelaria concolor	8.21	9.66	96.59	0.54	0.96	28.93	156.00	22.19	110.95	3.61	0.88	1.75	0.00	0.00	0.00	4.52	1.83	9.15	13.50	0.33	1.65	56.40	0.56	0.56
Calogaya saxicola	6.54	7.69	76.94	0.34	0.61	18.21	221.00	31.44	157.18	2.10	0.51	1.02	0.00	0.00	0.00	2.18	0.88	4.41	12.40	0.30	1.52	59.50	0.59	0.59
Umbilicaria sp.	4.47	5.26	52.59	0.27	0.48	14.46	69.30	9.86	49.29	1.42	0.34	0.69	0.00	0.00	0.00	1.78	0.72	3.60	5.77	0.14	0.71	41.30	0.41	0.41
Physcia albata	7.06	8.31	83.06	0.32	0.57	17.14	150.00	21.34	106.69	1.45	0.35	0.70	0.00	0.00	0.00	1.62	0.66	3.28	10.40	0.25	1.27	65.70	0.65	0.65
Umbilicaria polyphylla	3.28	3.86	38.59	0.26	0.46	13.82	82.60	11.75	58.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.93	0.38	1.89	4.19	0.10	0.51	47.50	0.47	0.47
Lecidea sp.	5.02	5.91	59.06	0.34	0.60	17.95	198.00	28.17	140.83	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.20	0.49	2.43	10.60	0.26	1.30	50.90	0.51	0.51
Umbilicaria polyphylla	4.42	5.20	52.00	0.32	0.57	16.98	293.00	41.68	208.39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.96	0.39	1.95	16.20	0.40	1.98	97.20	0.97	0.97
Physcia pachyphylla	4.56	5.36	53.65	0.39	0.69	20.63	132.00	18.78	93.88	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.15	0.47	2.33	11.20	0.27	1.37	56.60	0.56	0.56
Acarospora xanthophana	1.48	1.74	17.41	0.00	0.00	0.00	30.30	4.31	21.55	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.65	0.26	1.32	1.62	0.04	0.20	28.20	0.28	0.28
Psiloparmelia distincta	9.12	10.73	107.29	0.39	0.70	20.89	132.00	18.78	93.88	2.45	0.59	1.19	0.00	0.00	0.00	2.98	1.21	6.03	14.20	0.35	1.74	53.60	0.53	0.53
Placomaronea candelarioides	5.38	6.33	63.29	0.56	1.00	30.00	232.00	33.00	165.01	2.20	0.53	1.07	0.00	0.00	0.00	2.40	0.97	4.86	14.80	0.36	1.81	55.30	0.55	0.55
Umbilicaria polyphylla	3.79	4.46	44.59	0.32	0.57	17.14	253.00	35.99	179.94	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.83	0.34	1.68	13.70	0.33	1.67	73.00	0.73	0.73
Acarospora xanthophana	6.66	7.84	78.35	0.25	0.45	13.39	280.00	39.83	199.15	2.19	0.53	1.06	0.00	0.00	0.00	2.58	1.04	5.22	15.00	0.37	1.83	46.30	0.46	0.46
Candelaria concolor	6.64	7.81	78.12	0.83	1.48	44.46	160.00	22.76	113.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.16	0.47	2.35	12.00	0.29	1.47	92.60	0.92	0.92
Physcia albata	3.48	4.09	40.94	0.27	0.48	14.46	145.00	20.63	103.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.62	0.25	1.26	6.93	0.17	0.85	83.60	0.83	0.83
Psiloparmelia distincta	3.94	4.64	46.35	0.38	0.68	20.36	142.00	20.20	101.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.02	0.41	2.06	7.10	0.17	0.87	36.50	0.36	0.36
Acarospora lorentzii	1.79	2.11	21.06	0.00	0.00	0.00	27.00	3.84	19.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.56	1.44	7.21	1.65	0.04	0.20	20.30	0.20	0.20
Xanthoparmelia farinosa	4.03	4.74	47.41	0.22	0.39	11.79	73.00	10.38	51.92	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.31	0.53	2.65	5.34	0.13	0.65	38.00	0.38	0.38
Placomaronea mendozae	9.27	10.91	109.06	0.57	1.02	30.54	131.00	18.63	93.17	2.65	0.64	1.29	0.00	0.00	0.00	3.19	1.29	6.46	14.60	0.36	1.78	52.70	0.52	0.52
Calogaya saxicola	9.97	11.73	117.29	0.49	0.88	26.25	141.00	20.06	100.28	2.79	0.68	1.35	0.00	0.00	0.00	3.40	1.38	6.88	14.00	0.34	1.71	55.60	0.55	0.55
Squamulea squamosa	9.10	10.71	107.06	0.51	0.91	27.32	125.00	17.78	88.90	2.53	0.61	1.23	0.00	0.00	0.00	2.94	1.19	5.95	12.30	0.30	1.50	51.10	0.51	0.51
Placomaronea sp.	6.93	8.15	81.53	0.40	0.71	21.43	120.00	17.07	85.35	1.91	0.46	0.93	0.00	0.00	0.00	1.94	0.79	3.93	9.93	0.24	1.21	51.50	0.51	0.51
Umbilicaria polyphylla	5.25	6.18	61.76	0.31	0.55	16.61	167.00	23.76	118.78	1.97	0.48	0.96	0.00	0.00	0.00	2.00	0.81	4.05	11.50	0.28	1.41	50.40	0.50	0.50
Acarospora xanthophana	7.62	8.96	89.65	0.67	1.20	35.89	132.00	18.78	93.88	2.82	0.68	1.37	0.00	0.00	0.00	3.17	1.28	6.42	13.40	0.33	1.64	62.20	0.62	0.62
Psiloparmelia distincta	8.07	9.49	94.94	0.39	0.70	20.89	350.00	49.79	248.93	3.76	0.91	1.83	0.00	0.00	0.00	3.23	1.31	6.54	17.30	0.42	2.11	61.90	0.62	0.62
Squamulea subsoluta	9.88	11.62	116.24	0.40	0.71	21.43	242.00	34.42	172.12	3.77	0.92	1.83	0.00	0.00	0.00	3.99	1.62	8.08	16.40	0.40	2.00	69.10	0.69	0.69
Psiloparmelia distincta	11.30	13.29	132.94	0.39	0.70	20.89	222.00	31.58	157.89	4.43	1.08	2.15	0.00	0.00	0.00	4.68	1.89	9.47	19.40	0.47	2.37	66.30	0.66	0.66
Squamulea squamosa	8.17	9.61	96.12	0.68	1.21	36.43	145.00	20.63	103.13	1.66	0.40	0.81	0.00	0.00	0.00	2.24	0.91	4.53	7.16	0.18	0.88	73.60	0.73	0.73
Scutaria andina	7.34	8.64	86.35	0.32	0.57	17.14	137.00	19.49	97.44	1.63	0.40	0.79	0.00	0.00	0.00	1.82	0.74	3.68	8.60	0.21	1.05	118.00	1.17	1.17
Xanthoparmelia farinosa	12.10	14.24	142.35	0.23	0.41	12.32	181.00	25.75	128.73	3.24	0.79	1.57	0.00	0.00	0.00	3.11	1.26	6.30	16.30	0.40	1.99	74.10	0.74	0.74
Umbilicaria sp.	4.22	4.96	49.65	0.21	0.37	11.14	106.62	15.17	75.83	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.97	0.39	1.96	5.50	0.13	0.67	57.20	0.57	0.57
Physcia pachyphylla	2.65	3.12	31.18	0.35	0.62	18.64	60.33	8.58	42.91	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.75	0.30	1.52	5.50	0.13	0.67	43.06	0.43	0.43
Candelaria concolor	9.58	11.27	112.71	0.28	0.49	14.79	143.43	20.40	102.01	1.97	0.48	0.96	0.25	0.52	20.83	1.91	0.77	3.87	9.13	0.22	1.12	97.40	0.97	0.97
Acarospora xanthophana	7.78	9.15	91.53	0.26	0.47	13.98	103.29	14.69	73.46	2.48	0.60	1.20	0.00	0.00	0.00	2.60	1.05	5.26	11.84	0.29	1.45	49.37	0.49	0.49
Buellia sp.	6.37	7.49	74.94	0.46	0.82	24.54	191.00	27.17	135.85	2.07	0.50	1.00	0.25	0.51	20.42	2.91	1.18	5.89	11.05	0.27	1.35	80.55	0.80	0.80
Usnea durietii	2.08	2.45	24.47	0.24	0.42	12.70	42.22	6.01	30.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.65	0.26	1.32	4.04	0.10	0.49	32.63	0.32	0.32
Calogaya saxicola	12.14	14.28	142.82	0.35	0.63	18.96	249.80	35.53	177.67	3.53	0.86	1.71	0.00	0.00	0.00	4.07	1.65	8.24	16.64	0.41	2.03	79.19	0.79	0.79
Psiloparmelia distincta	3.52	4.14	41.41	0.31	0.54	16.34	68.07	9.68	48.41	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.05	0.43	2.13	5.31	0.13	0.65	41.38	0.41	0.41
Xanthoparmelia farinosa	8.71	10.25	102.47	0.34	0.61	18.43	136.40	19.40	97.01	2.16	0.52	1.05	0.48	1.01	40.33	1.91	0.77	3.87	9.29	0.23	1.14	94.60	0.94	0.94
Umbilicaria sp.	4.34	5.11	51.06	0.29	0.52	15.64	155.00	22.05	110.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.00	1.21	6.07	7.26	0.18	0.89	48.10	0.48	0.48
Everniopsis trulla	5.36	6.31	63.06	0.47	0.84	25.34	68.20	9.70	48.51	1.16	0.28	0.56	0.25	0.53	21.17	1.26	0.51	2.55	7.10	0.17	0.87	41.80	0.42	0.42
Squamulea subsoluta	7.27	8.55	85.53	0.39	0.70	21.11	139.30	19.82	99.08	2.00	0.49	0.97	0.00	0.00	0.00	2.25	0.91	4.55	9.91	0.24	1.21	52.90	0.53	0.53
Candelaria concolor	11.82	13.91	139.06	0.22	0.40	11.89	218.70	31.11	155.55	2.34	0.57	1.14	0.38	0.79	31.67	2.30	0.93	4.66	15.39	0.38	1.88	61.20	0.61	0.61
Umbilicaria sp.	5.65	6.65	66.47	0.23	0.41	12.16	284.20	40.43	202.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.01	0.41	2.04	16.83	0.41	2.06	80.50	0.80	0.80
Acarospora xanthophana	7.82	9.20	92.00	0.38	0.68	20.41	153.00	21.76	108.82	1.38	0.33	0.67	0.30	0.63	25.00	1.48	0.60	3.00	11.85	0.29	1.45	51.90	0.52	0.52
Umbilicaria polyphylla	4.79	5.64	56.35	0.26	0.46	13.93	263.80	37.52	187.62	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.90	0.36	1.82	11.06	0.27	1.35	69.10	0.69	0.69

**Anexo 13.** Panel de fotográfico de líquenes identificados



*Líquenes identificados, (1) Candelaria concolor (Dicks.) Arnold, (2) Candelaria pacifica Westb., (3) Candelariella cf. reflexa, (4) Canoparmelia cf. raunkiaeri (Vain.) Elix & Hale, (5) Canoparmelia sp., (6) Canoparmelia sp.1, (7) Canoparmelia texana (Tuck.) Elix & Hale, (8) Chrysothrix candelaris (L.) J.R. Laundon, (9) Dirinaria cf. applanata (Fée) D.D. Awasthi, (10) Dirinaria applanata (Fée) D.D. Awasthi, (11) Flavoparmelia caperata (L.) Hale, (12) Flavopunctelia flaventior (Stirt.) Hale, (13) Flavopunctelia sp., (14) Fulvogasparrea brouardii (B. de Lesd.) S.Y. Kondr., (15) Graphis sp.*



## Anexo 14. Códigos en Rstudio empleados para el análisis de biodiversidad

### Abundancia por estaciones

#### 1. Supuesto de homocedasticidad

##### #datos para comprar la riqueza y abundancia de las estaciones

```
library(readxl)
kr <- read_excel("D:/1. ZECA_PC/10. UCSM_2021/5. TESIS_2023_UCSM/3.
Datos_2023/4. kruskall/kruskall.xlsx")
View(kr)
str(kr)
kr<-data.frame(kr)
```

```
kr$Estacion<-as.factor(kr$Estacion)
```

```
## kruskall Riqueza ##
```

##### # homogenidad de las varianzas mediante el test de Levene

```
install.packages("car")
library( car )
```

```
lvt <- leveneTest(data = kr, Riqueza~ Estacion)
```

```
Levene's Test for Homogeneity of Variance (center = median)
  Df F value Pr(>F)
group 6  0.6269 0.7074
      28
```

Como el p-valor=0.6269 es mayor que 0.05  
aceptamos la hipótesis de homocedasticidad.

##### # homogenidad de las varianzas mediante Test de Fligner-Killeen

```
fligner.test(kr$Abundancia, kr$Estacion)
```

```
Fligner-Killeen test of homogeneity of variances
```

```
data: kr$Riqueza and kr$Estación
Fligner-Killeen:med chi-squared = 4.7593, df = 6, p-value = 0.575
```

Como p-value = 0.575 > 0.05 aceptamos la hipótesis de  
homocedasticidad.

##### # Prueba normalidad

```
shapiro.test(x = kr$Riqueza)
```

```
Shapiro-Wilk normality test
```

```
data: kr$Riqueza
```

```
W = 0.91928, p-value = 0.0136
```

##### #Análisis de kruskal

```
## kruskall Abundancia ##
```

### # homogenidad de las varianzas mediante el test de Levene

```
install.packages("car")  
library( car )
```

```
lvt <- leveneTest(data = kr, Abundancia~ Estacion)
```

```
Levene's Test for Homogeneity of Variance (center = median)  
  Df F value Pr(>F)  
group 6  1.8032 0.1347  
      28
```

Como el p-valor=0.1347 es mayor que 0.05  
aceptamos la hipótesis de homocedasticidad.

### # homogenidad de las varianzas mediante Test de Fligner-Killeen

```
fligner.test(kr$Abundancia, kr$Estacion)
```

```
Fligner-Killeen test of homogeneity of variances
```

```
data: kr$Abundancia and kr$Estacion
```

```
Fligner-Killeen:med chi-squared = 7.9189, df = 6, p-value = 0.2441
```

Como p-value = 2441 > 0.05 aceptamos la hipótesis de homocedasticidad.

### # Prueba normalidad

```
shapiro.test(x = kr$Abundancia)
```

```
Shapiro-Wilk normality test
```

```
data: kr$Abundancia
```

```
W = 0.94178, p-value = 0.00634
```

### #Análisis de kruskal

```
install.packages("ggstatsplot")  
library(ggstatsplot)
```

### *Índice de biodiversidad de Shannon (H')*

```
> ib<-sit_div%>%
+   select(estacion,Riqueza:J)
> str(ib)
tibble [35 × 11] (S3: tbl_df/tbl/data.frame)
 $ estacion: chr [1:35] "Altarani" "Altarani" "Altarani" "Altarani" ...
 $ Riqueza : num [1:35] 9 9 8 7 7 9 6 9 8 8 ...
 $ H       : num [1:35] 2.05 2.02 1.8 1.35 1.35 ...
 $ D       : num [1:35] 0.851 0.835 0.783 0.666 0.666 ...
 $ Hb2     : num [1:35] 2.96 2.91 2.6 1.95 1.95 ...
 $ N1      : num [1:35] 7.79 7.5 6.06 3.87 3.87 ...
 $ N1b2    : num [1:35] 7.79 7.5 6.06 3.87 3.87 ...
 $ N2      : num [1:35] 6.73 6.05 4.61 3 3 ...
 $ E10     : num [1:35] 0.866 0.833 0.758 0.552 0.552 ...
 $ E20     : num [1:35] 0.748 0.673 0.576 0.428 0.428 ...
 $ J       : num [1:35] 0.934 0.917 0.866 0.695 0.695 ...
> ib$estacion<-as.factor(ib$estacion)
> str(ib)
tibble [35 × 11] (S3: tbl_df/tbl/data.frame)
 $ estacion: Factor w/ 7 levels "Altarani","Alto Coscore",...: 1 1 1 1 1 2 2 2 2
 2 ...
 $ Riqueza : num [1:35] 9 9 8 7 7 9 6 9 8 8 ...
 $ H       : num [1:35] 2.05 2.02 1.8 1.35 1.35 ...
 $ D       : num [1:35] 0.851 0.835 0.783 0.666 0.666 ...
 $ Hb2     : num [1:35] 2.96 2.91 2.6 1.95 1.95 ...
 $ N1      : num [1:35] 7.79 7.5 6.06 3.87 3.87 ...
 $ N1b2    : num [1:35] 7.79 7.5 6.06 3.87 3.87 ...
 $ N2      : num [1:35] 6.73 6.05 4.61 3 3 ...
 $ E10     : num [1:35] 0.866 0.833 0.758 0.552 0.552 ...
 $ E20     : num [1:35] 0.748 0.673 0.576 0.428 0.428 ...
 $ J       : num [1:35] 0.934 0.917 0.866 0.695 0.695 ...
> ib <- leveneTest(data = ib, H~ estacion)
> ib
Levene's Test for Homogeneity of Variance (center = median)
  Df F value Pr(>F)
group 6  1.1358 0.3678
    28

> fligner.test(ib$H, ib$estacion)

    Fligner-Killeen test of homogeneity of variances

data:  ib$H and ib$estacion
Fligner-Killeen:med chi-squared = 3.9112, df = 6, p-value = 0.6887

> shapiro.test(x = ib$H)

    Shapiro-Wilk normality test

data:  ib$H
W = 0.93234, p-value = 0.03284
```

## *Índice de biodiversidad de Simpson (D)*

```
> ib<-sit_div%>%
+   select(estacion,Riqueza:J)
> str(ib)
tibble [35 × 11] (S3: tbl_df/tbl/data.frame)
 $ estacion: chr [1:35] "Altarani" "Altarani" "Altarani" "Altarani"
 " ..."
 $ Riqueza : num [1:35] 9 9 8 7 7 9 6 9 8 8 ...
 $ H       : num [1:35] 2.05 2.02 1.8 1.35 1.35 ...
 $ D       : num [1:35] 0.851 0.835 0.783 0.666 0.666 ...
 $ Hb2     : num [1:35] 2.96 2.91 2.6 1.95 1.95 ...
 $ N1      : num [1:35] 7.79 7.5 6.06 3.87 3.87 ...
 $ N1b2    : num [1:35] 7.79 7.5 6.06 3.87 3.87 ...
 $ N2      : num [1:35] 6.73 6.05 4.61 3 3 ...
 $ E10     : num [1:35] 0.866 0.833 0.758 0.552 0.552 ...
 $ E20     : num [1:35] 0.748 0.673 0.576 0.428 0.428 ...
 $ J       : num [1:35] 0.934 0.917 0.866 0.695 0.695 ...
> ib$estacion<-as.factor(ib$estacion)
> ib <- leveneTest(data = ib, D~ estacion)
> ib
Levene's Test for Homogeneity of Variance (center = median)
      Df F value Pr(>F)
group 6  1.3743 0.2593
      28
> fligner.test(ib$D, ib$estacion)

      Fligner-Killeen test of homogeneity of variances

data:  ib$D and ib$estacion
Fligner-Killeen:med chi-squared = 6.2472, df = 6, p-value = 0.3961

> shapiro.test(x = ib$D)

      Shapiro-Wilk normality test

data:  ib$D
W = 0.86511, p-value = 0.0005179
```

## Script Riqueza, Abundancia, biodiversidad

```
#datos
devtools::install_github("JohnCoene/charter")

#para estadística descriptiva
pacman::p_load(
  rio, # Importación de ficheros
  here, # localizador de ficheros
  skimr, # obtener una visión general de los datos
  tidyverse, # gestión de datos + gráficos ggplot2
  gtsummary, # resumen estadístico y tests
  rstatix, # resumen estadístico y pruebas estadísticas
  janitor, # añadir totales y porcentajes a las tablas
  scales, # convertir fácilmente proporciones en porcentajes
  flextable # convertir tablas en imágenes bonitas
)

#paquetes para trabajar con ggplot2

pacman::p_load ("ggplot2", "tibble", "tidyr", "forcats", "purrr",
"prismatic", "corrr",
"cowplot", "ggforce", "ggrepel", "ggridges", "ggsci", "ggtext",
"ggthemes",
"grid", "gridExtra", "patchwork", "rcartocolor", "scico", "showtext",
"shiny", "plotly", "highcharter", "echarts4r")

pacman::p_load(readr, ggpubr, tidyverse, colorspace, corrr, cowplot,
ggdark, ggforce, ggrepel, ggridges, ggsci,
ggtext, ggthemes, grid, gridExtra, patchwork,
rcartocolor, scico, showtext, shiny,
plotly, echarts4r, viridis, lsr)

library(tidyverse)
library(ggthemr) # Temas
library(scales) # Para incluir porcentajes en un eje
library(treemapify) # para el gráfico de rectángulos
install.packages("ggthemr")
# Definit tema
ggthemr("flat")

#2. Definiendo el directorio de trabajo
#Con el siguiente comando se puede saber en que directorio est ahora
getwd()
#Para colocar a otro directorio
setwd("D:/1. ZECA_PC/10. UCSM_2021/5. TESIS_2023_UCSM/3. Datos_2023/1.
datos_biodiversidad")

#####datos#####
#3. Cargando datos completo datos2_cobertura_frecuencia

library(readxl)
datos2 <- read_excel("indice_datos2.xlsx")
View(datos2)
str(datos2)
```

```
#3.1.Convertiendo los datos en factores
```

```
datos2$provincia<-as.factor(datos2$provincia)
datos2$distrito <-as.factor(datos2$distrito)
datos2$estacion<-as.factor(datos2$estacion)
datos2$orden<-as.factor(datos2$orden)
datos2$familia<-as.factor(datos2$familia)
datos2$genero<-as.factor(datos2$genero)
datos2$especie<-as.factor(datos2$especie)
datos2$biotipo<-as.factor(datos2$biotipo)
datos2$habitat<-as.factor(datos2$habitat)
datos2$clima_s<-as.factor(datos2$clima_s)
datos2$suelo<-as.factor(datos2$suelo)
datos2$clima2<-as.factor(datos2$clima2)
datos2$cobertura_v<-as.factor(datos2$cobertura_v)
datos2$subunidad_cv<-as.factor(datos2$subunidad_cv)
datos2$fisiografía<-as.factor(datos2$fisiografía)
datos2$ecosistemas<-as.factor(datos2$ecosistemas)
str(datos2)
```

```
#4.datos indice de biodiversidad
```

```
library(readxl)
indice_dato <- read_excel("indice_dato.xlsx")
View(indice_dato)
str(indice_dato)
```

```
#4.1 Convirtiendo datos de indice en factores
indice_dato$estacion<-as.factor(indice_dato$estacion)
indice_dato$cuadrante<-as.factor(indice_dato$cuadrante)
```

```
####graficando####
library(ggplot2)
library(tidyverse)
```

```
###Riqueza de especies
library(FSA)
library(dplyr)
library(picante)
library(spacodiR)
library(reshape2)
library(cowplot)
library(vegan)
library(ggplot2)
library(data.table)
```

```
pacman::p_load(spacodiR)
pkgname <- "spacodiR"
source(file.path(R.home("share"), "R", "examples-header.R"))
options(warn = 1)
```

```
##Para instalar el spacodiR se va al siguiente link
install.packages("installr")
library(installr)
```

```

install.packages.zip("https://cran.r-project.org/src/contrib/Archive/spacodiR/spacodiR_0.11.04012011.tar.gz")
library('spacodiR')

install.packages("Rcpp")

#####frecuencias porcentajes#####

library(readxl)
fr <- read_excel("D:/1. ZECA_PC/10. UCSM_2021/5. TESIS_2023_UCSM/3.
Datos_2023/3. frecuencias/matriz_fr.xlsx")
View(fr)
str(fr)
fr$clase<-as.factor( fr$clase)
fr$orden<-as.factor( fr$orden)
fr$familia<-as.factor( fr$familia)
fr$genero <-as.factor( fr$genero )
fr$especie <-as.factor( fr$especie)
fr$estacion<-as.factor(fr$estacion)
fr$biotipo <-as.factor(fr$biotipo )
fr$habitat<-as.factor(fr$habitat)
fr$clima_s<-as.factor(fr$clima_s)
fr$suelo <-as.factor(fr$suelo )
fr$clima2<-as.factor(fr$clima2)
fr$cobertura_v <-as.factor(fr$cobertura_v )
fr$fisiografía<-as.factor(fr$fisiografía)
fr$ecosistemas <-as.factor(fr$ecosistemas )
fr$subunidad_cv <-as.factor(fr$subunidad_cv )

#cargando las matriz de datos

library(readxl)
df<- read_excel("indice3_1.xlsx")

#Para trabajar con la matriz es mejor que solo este las estaciones en fila
y las especies en columna

view(df)
names(df)

#Transformamos la base de datos en formato de Sitios, Abundancia y Especies
con la función melt,
#guardamos el resultado en ofm_melt.csv para su uso posterior.
df <- melt(df, id = 1)
headtail(df)

#Para exportar en en formato csv

write.csv(df, "5_ofm_melt.csv", row.names = FALSE)
df <- read.csv("5_ofm_melt.csv")
str(df)
df$cuadrante<-as.factor(df$cuadrante)
df$variable<-as.factor(df$variable)
df$value<-as.numeric(df$value)

```

```

#Después de aplicar la función melt el nombre de las variables cambia a y
son guardados como X,
#values y variable, es necesario renombrar estas variables como Site,
Abundance y Species respectivamente.

df <- df %>% rename(Site = cuadrante, Species = variable, Abundance =
value)
col_order <- c("Site", "Abundance", "Species")
df <- df[, col_order]
df <- df %>% filter(Abundance != 0)
View(df)
write.csv(df, "table_21.csv")
df <- sample2matrix(df)
summary(df)
#Se puede utilizar la función get_summary_stats() de rstatix para producir
#las estadísticas de resumen en un formato de dataframe
descriptivos <-get_summary_stats(df) # resumen estadístico en un data.frame
muy bueno

# Summary statistics of grouped data
# Show only common summary # get_summary_stats(matriz que queremos
resumir(x), type = "common")

# Robust summary statistics # get_summary_stats(len, type = "robust")

# Five number summary statistics # get_summary_stats(len, type =
"five_number")

# Compute only mean and sd # get_summary_stats(len, type = "mean_sd")

# Compute full summary statistics but show only mean, sd, median, iqr
#get_summary_stats(len, show = c("mean", "sd", "median", "iqr"))

descriptivos <-get_summary_stats(df, type = "robust")

descriptivos <-get_summary_stats(df, type = "mean_sd")
descriptivos <-get_summary_stats(df, type = "five_number")
view(descriptivos)

library(readr)
library(data.table)
write.csv(descriptivos, "table_2.csv")
View(df)
write.csv(df, "especie_abu3.csv")

##Luego usamos la función sample2matrix del paquete picante para organizar
los datos
#en el formato para análisis del paquete vegan. Notar que sólo funcionará
si la primera variable ...

#Calculamos el rango de abundancias presentes en la matriz

range(df)

#Calculamos el rango de abundancias para cada especie
apply(df, 2, range)

```

```

#Contamos el número de casos por cada clase de abundancia

(ab <- table(unlist(df)))

ab.df <- as.data.frame(ab)
str(as.data.frame(ab.df))

ggplot(ab.df, aes(x=Var1, y=Freq)) +
  geom_bar(stat = "identity") +
  labs(x = "Abundancias", y = "Frecuencias") +
  theme_bw() +
  theme(axis.text.x = element_text(angle = 60,hjust = 1))

#Número de ausencias y proporción de ceros presentes en la base de datos
sum(df == 0)
sum(df == 0)/(nrow(df) * ncol(df))

#Calculamos en número de sitios en que cada especie está presente
spe.pres <- apply(df > 0, 2, sum)
#Ordenamos los números en orden descendente.
sort(spe.pres)
#Calculamos el porcentaje de frecuencias y redondeamos a un dígito
spe.relf <- 100 * spe.pres/nrow(df)
round(sort(spe.relf), 1)

Ocurr <- as.data.frame(cbind(spe.pres, spe.relf))
str(Ocurr)
write.csv(Ocurr, "table_10.csv")

headtail(Ocurr)
str<(Ocurr)

Oc_A <- ggplot(Ocurr, aes(spe.pres)) +
  geom_histogram(color="white", fill="blue") +
  labs(x = "Ocurrencia de especies", y = "N° de especies") +
  theme_gray()

Oc_B <- ggplot(Ocurr, aes(spe.relf)) +
  geom_histogram(color="white", fill="orange") +
  labs(x = "Frecuencia relativa de especies", y = "N° de especies") +
  theme_gray()

plot_grid(Oc_A, Oc_B, labels = "AUTO", nrow = 1, align = "v")

#Para mejorar nuestros graficos cargamos el paquete library(ggthemes)
library(ggthemes)
library(ggsci)

#Comparando la riqueza entre sitios, calculamos el número de especies en
cada sitio,
#para sumar por filas, el segundo arumento de apply(), MARGIN es puesto en
1. Luego se orden en orden creciente.
Sitios <- as.factor(rownames(df))
Sitios_num <- as.numeric(as.factor(rownames(df)))
Riqueza <- specnumber(df)
sit.riq <- as.data.frame(Riqueza)
class(sit.riq)

```

```

str(sit.riq)

sit.ab <- df %>% mutate(Abundancia = rowSums(.)) %>% select(tail(names(.),
1))
sit.riqab <- cbind(Sitios, Sitios_num, sit.ab, sit.riq)

str(sit.riqab)
View(sit.riqab)
headtail(sit.riqab)

write.csv(sit.riqab, "table_24.csv")
#Graficamos
library(ggthemes)

Riq_plot <- ggplot(sit.riqab, aes(Sitios_num, Riqueza)) +
  geom_point(stat = "identity", size = 3, alpha = 5/10, colour =
"darkgreen") +
  geom_step(stat = "identity", position = "identity", colour = "darkgreen")
+
  geom_text(data = sit.riqab, mapping = aes(x = Sitios_num, y = Riqueza,
label = Sitios),
            angle = 0, hjust = 0, vjust = -1, size = 3) +
  labs(x = "Estaciones de muestreo", y = "Riqueza") +
  scale_x_continuous(breaks = NULL)

Ab_plot <- ggplot(sit.riqab, aes(Sitios_num, Abundancia)) +
  geom_point(stat = "identity", size = 3, alpha = 5/10, colour = "blue")
+
  geom_step(stat = "identity", position = "identity", colour = "darkblue")
+
  geom_text(data = sit.riqab, mapping = aes(x = Sitios_num, y = Abundancia,
label = Sitios),
            angle = 0, hjust = 0, vjust = -1, size = 3) +
  labs(x = "Estaciones de muestreo", y = "Abundancia") +
  scale_x_continuous(breaks = NULL)

plot_grid(Riq_plot, Ab_plot, labels = "AUTO", nrow = 1, align = "v")

#Calculamos la riqueza por sitio y le añadimos la matriz de identidad para
clasificar
#los sitios (o unidades de muestreo) por zonas y unidades de comparación:
###datos de observacion
library(readxl)
df_id <- read_excel("df_id.xlsx")
View(df_id)
str(df_id)
class(df_id)

df_id$Sitios<-as.factor(df_id$Sitios)
df_id$estacion<-as.factor(df_id$estacion)
df_id$biotipo <-as.factor(df_id$biotipo )
df_id$habitat<-as.factor(df_id$habitat)
df_id$clima_s<-as.factor(df_id$clima_s)
df_id$suelo <-as.factor(df_id$suelo )
df_id$clima2<-as.factor(df_id$clima2)
df_id$cobertura_v <-as.factor(df_id$cobertura_v )
df_id$fisiografía<-as.factor(df_id$fisiografía)
df_id$ecosistemas <-as.factor(df_id$ecosistemas )

```

```

df_id$subunidad_cv <-as.factor(df_id$subunidad_cv )

#Calculamos la riqueza por sitio y le añadimos la matriz de identidad para
clasificar
#los sitios (o unidades de muestreo) por zonas y unidades de comparación:
sit_div <- cbind(df_id, Sitios_num, sit.ab, sit.riq)
sit_div
str(sit_div)
sit_div$Riqueza<-as.numeric(sit_div$Riqueza)

library(dplyr)

riq_sum <- sit_div %>%
  group_by(estacion,ecosistemas) %>%
  dplyr::summarise(Riq.prom = mean(Riqueza),Riq.ds = sd(Riqueza))

riq_sum_2<- sit_div %>%
  group_by(estacion) %>%
  get_summary_stats(Riqueza)

write.csv(riq_sum_2, "table_27.csv")

riq_sum <- as.data.frame(riq_sum)

str(riq_sum)
write.csv(riq_sum, "table_18.csv")

##Graficamos la riqueza promedio y sus respectivas desviaciones por grupo:
pd <- position_dodge(0.2)

ggplot(riq_sum, aes(estacion, Riq.prom, color = ecosistemas)) +
  geom_errorbar(aes(ymin = Riq.prom - Riq.ds, ymax = Riq.prom + Riq.ds),
width = 0.2, position = pd) +
  geom_point(size = 3,shape = 21, fill = "white", position = pd) +
  labs(x = "Estación", y = "Riqueza (N° de especies registradas)") +
  scale_color_tableau() +
  theme(axis.text.x = element_text(angle = 60, hjust = 1)) +
  labs(color = "Ecosistemas")

###Calculamos la diversidad de taxones por taxón superior, para ello
transponemos la matriz que en principio
#contiene los sitios como filas y las especies como columnas y las colocamos
en el sentido inverso.

df_sp <- as.spacodi(df)
df_sp <- as.data.frame(df_sp)
View(df_sp)

Sitios_sp <- specnumber(df_sp)
Sitios_sp <- as.data.frame(Sitios_sp)
AbXsp <- df_sp %>% mutate(Abundancia = rowSums(.)) %>%
select(tail(names(.),
1))

```

```

library(readr)
df_spID <- read_delim("df_spID.csv", delim = ";",
                     escape_double = FALSE, trim_ws = TRUE)

library(readxl)
df_spID <- read_excel("df_spID_2.xlsx")
View(df_spID)

View(df_spID)

TaxaData <- cbind(df_spID, Sitios_sp, AbXsp)
TaxaData <- as.data.frame(TaxaData)
str(TaxaData)
headtail(TaxaData)

write.csv(TaxaData, "table_20.csv")

##Calculamos el número de especies por familia unidad taxonómica más
empleada

Taxa_sum <- TaxaData %>% group_by(Clase, Orden, Familia) %>% count() %>%
arrange(desc(n))
Taxa_sum
str(Taxa_sum)
class(Taxa_sum)

write.csv(Taxa_sum, "table_25.csv")

Taxa_sum$Clase<-as.factor(Taxa_sum$Clase)
Taxa_sum$Orden<-as.factor(Taxa_sum$Orden)
Taxa_sum$Familia<-as.factor(Taxa_sum$Familia)

###Graficamos las familias por el número de especies registradas.

library(ggplot2)
ggplot(Taxa_sum, aes(x=Familia, y=n, group = NA, shape=Clase,
color=Orden))+
  geom_step(stat = "identity", position = "identity", color = "Black")+
  geom_point(stat = "identity", size = 3)+
  scale_color_brewer(palette = "Paired")+
  labs(x = "Familia", y = "N° de especies") +
  theme(axis.text.x = element_text(angle = 60, hjust = 1))

#A continuación evaluamos cómo se distribuyen las abundancias y abundancias
relativas
#entre sitios y taxas. Para ello empleamos los datos presentes en el data
frame sit_div

str(sit_div)

#Calculo de la abundancia por estacion y ecosistemas
ab_sum <- sit_div %>% group_by(estacion, ecosistemas) %>%
summarise(Ab.prom = mean(Abundancia),
                                                  Ab.ds =
sd(Abundancia))

```

```

ab_sum <- as.data.frame(ab_sum)
write.csv(ab_sum, "table_25.csv")
str(ab_sum)

ab_sum2 <- sit_div %>% group_by(estacion) %>%
get_summary_stats(Abundancia)
write.csv(ab_sum2, "table_26.csv")

##Graficamos la abundancia promedio por sitio y sus resepectivas
desviaciones por grupo.
pd <- position_dodge(0.2)

ggplot(ab_sum, aes(estacion, Ab.prom, color = ecosistemas)) +
  geom_errorbar(aes(ymin = Ab.prom - Ab.ds, ymax = Ab.prom + Ab.ds), width
= 0.2, position = pd) +
  geom_point(size = 3, shape = 21, fill = "white", position = pd) +
  labs(x = "Estaciones de muestreo", y = "Abundancia (N° de individuos)")
+
  scale_color_tableau() +
  theme_bw() +
  theme(axis.text.x = element_text(angle = 60, hjust = 1)) +
  labs(color = "Ecosistemas")

###Para graficar la abundancia por familia empleamos el data frame
TaxaData.

Taxa_sumAb <- TaxaData %>%
  group_by(Clase, Orden, Familia)%>%
  summarise(Abundancia = sum(Abundancia)) %>%
  arrange(desc(Abundancia))
Taxa_sumAb
write.csv(Taxa_sumAb, "table_19.csv")
str(Taxa_sumAb)

##tenemos que convertir a factores
Taxa_sumAb$Clase<-as.factor(Taxa_sumAb$Clase)
Taxa_sumAb$Orden<-as.factor(Taxa_sumAb$Orden)
Taxa_sumAb$Familia<-as.factor(Taxa_sumAb$Familia)
str(Taxa_sumAb)

###Graficamos la abundancia

library(ggplot2)
ggplot(Taxa_sumAb, aes(x=Familia, y=Abundancia, group = NA, shape=Clase,
color=Orden))+
  geom_step(stat = "identity", position = "identity", color = "Black")+
  geom_point(stat = "identity", size = 3)+
  scale_color_brewer(palette = "Paired")+
  labs(x = "Familia", y = "Abundancia") +
  theme(axis.text.x = element_text(angle = 60, hjust = 1))

#Calculamos la abundancia relativa, calculando la suma total de abundancias
y
#dividiendo el valor de cada fila por el total de la columna.

Taxa_sumAb <- as.data.frame(Taxa_sumAb)
col_sum <- colSums(select(Taxa_sumAb, "Abundancia"))

```

```

Taxa_sumAbRel <- Taxa_sumAb %>%
  mutate(AbRelativa = Abundancia) %>%
  mutate_each(~./col_sum,vars = c("AbRelativa")) %>%
  arrange(desc(AbRelativa))

write.csv(Taxa_sumAbRel, "table_20.csv")

str(Taxa_sumAb)
orden_nivelAbRel <- as.factor(Taxa_sumAbRel$Familia)
str(orden_nivelAbRel)

##Graficamos familias por abundancia relativa shape=Clase, color=Orden

ggplot(Taxa_sumAbRel, aes(orden_nivelAbRel, AbRelativa, group = NA, shape
= Clase, color = Orden))+
  geom_step(stat = "identity", position = "identity", color = "Black") +
  geom_point(stat = "identity", size = 3) +
  scale_color_brewer(palette = "Paired") +
  labs(x = "Familia", y = "Abundancia relativa (%)") +
  scale_y_continuous(labels = scales::percent_format(accuracy = 1)) +
  theme_bw() +
  theme(axis.text.x = element_text(angle = 60, hjust = 1))

###Calculo de indice de biodiversidad alfa

N0 <- specnumber(df) # Riqueza
H <- diversity(df) # Índice de entropía de Shannon en base e
Hb2 <- diversity(df, base = 2) # Índice de entropía de Shannon en base 2
N1 <- exp(H) # Diversidad de Shannon (base e)
N1b2 <- 2^Hb2 # Diversidad de Shannon (base 2)
N2 <- diversity(df, "inv") # Diversidad de simpson (número de especies
dominantes)
J <- H/log(rowSums(df > 0)) # Equidad de Pielou
E10 <- N1/N0 # Equidad de Shannon
E20 <- N2/N0 # Equidad de Simpson
D <- diversity(df, index = "simpson")
sit_div <- data.frame(sit_div, H, D, Hb2, N1, N1b2, N2, E10, E20, J)
str(sit_div)
View(sit_div)

write.csv(sit_div, "table_22.csv")
####Se ha calculado una variedad de índices de diversidad para cada
localidad,
#particularmente se analizan los índices de entropía de Shannon base e H,
y el índice de Simpson D.
#Se recomienda emplear los número de Hill.
#Además se complementa la base de datos con la riqueza y abundancia para
cada estación de monitoreo.
div_sum <- sit_div %>%
  group_by(ecosistemas, estacion) %>%
  summarise(Riq.prom = mean(Riqueza), Riq.ds = sd(Riqueza),
            Ab.prom = mean(Abundancia), Ab.ds = sd(Abundancia),
            H.prom = mean(H), H.ds = sd(H), D.prom = mean(D), D.ds = sd(D))

div_sum <- as.data.frame(div_sum)

```

```

##Graficamos la distribución de los valores de los índices de diversidad
de
##Shannon y Simpson por estación y zona de evaluación.

pd <- position_dodge(0.2)

H_sitios <- ggplot(div_sum, aes(estacion, H.prom, color = ecosistemas)) +
  geom_errorbar(aes(ymin = H.prom - H.ds, ymax = H.prom + H.ds), width =
0.2, position = pd) +
  geom_point(size = 3, shape = 21, fill = "white", position = pd) +
  labs(x = "Estaciones de muestreo", y = "Diversidad de Shannon (H')") +
  scale_color_aaas() +
  theme_bw() +
  theme(axis.text.x = element_text(angle = 60, hjust = 1)) +
  labs(color = "Ecosistemas")

D_sitios <- ggplot(div_sum, aes(estacion, D.prom, color = ecosistemas)) +
  geom_errorbar(aes(ymin = D.prom - D.ds, ymax = D.prom + D.ds), width =
0.2, position = pd) +
  geom_point(size = 3, shape = 21, fill = "white", position = pd) +
  labs(x = "Estaciones de muestreo", y = "Diversidad de Simpson (1-D)") +
  scale_color_aaas() +
  theme_bw() +
  theme(axis.text.x = element_text(angle = 60, hjust = 1)) +
  labs(color = "Ecosistemas")

plot_grid(H_sitios, D_sitios, labels = "AUTO", nrow = 1, align = "v")

#=====
=====

N0 <- specnumber(df) # Riqueza
H <- diversity(df) # Índice de entropía de Shannon en base e
Hb2 <- diversity(df, base = 2) # Índice de entropía de Shannon en base 2
N1 <- exp(H) # Diversidad de Shannon (base e)
N1b2 <- 2^Hb2 # Diversidad de Shannon (base 2)
N2 <- diversity(df, "inv") # Diversidad de simpson (número de especies
dominantes)
J <- H/log(rowSums(df > 0)) # Equidad de Pielou
E10 <- N1/N0 # Equidad de Shannon
E20 <- N2/N0 # Equidad de Simpson
D <- diversity(df, index = "simpson")
sit_div <- data.frame(sit_div, H, D, Hb2, N1, N1b2, N2, E10, E20, J)
write.csv(sit_div, "table_11.csv")

str(sit_div)
View(sit_div)

```