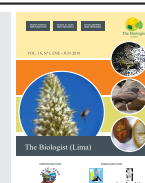




The Biologist (Lima)



ORIGINAL ARTICLE / ARTÍCULO ORIGINAL

USO DE LÍQUENES COMO BIOINDICADORES DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA EN EL PASIVO AMBIENTAL MINERO SANTO TORIBIO, ÁNCASH, PERÚ

USE OF LICHENS AS BIOINDICATOR OF AIR POLLUTION IN ENVIRONMENTAL LIABILITIES SANTO TORIBIO, ANCASH, PERU

Diego Valdivia¹ & Ángel Ramírez²

¹ Facultad de Ingeniería Ambiental, Universidad Nacional Federico Villarreal, Lima, Perú.

² Museo de Historia Natural-UNMSM, Departamento de Dicotiledóneas, Laboratorio de Florística.

³ Asociación Proyectos Ecológicos Perú.

Email: Diego Aarón Valdivia Huamán: diego_vh92@hotmail.es

Email: Ángel Manuel Ramírez Ordaya: líquenes_peru@yahoo.com

ABSTRACT

The use of lichens as bioindicator are widely recognized, especially to know environment quality in a specific zone. This paper assess the lichens as bioindicators of air pollution in the mining environmental liability Santo Toribio, Áncash, Perú. Two zones were studied with similar habitats characteristic, but differentiated in the presence of environmental impact, one called Passive Zone and other Control zone; in the first 8 stations were established and in the second 1; 108 sampling points were evaluated. In order to know the levels of air pollution by lichens a study of species richness was carried out. Index of Atmospheric Purity (IAP) was calculated and heavy metals were analyzed. In the case of IAP, the protocol originally used in phorophytes (trees) was adapt to rocky substrates due to the limited timberline in the area; the species used for the analysis of heavy metals by means of environmental scanning electron microscopy (ESEM) was *Usnea durietzii* (Motyka, 1937). The study found 42 lichen species distributed in 15 families and 27 genera being mostly crustose type. The lowest value of richness species and IAP and high concentration of heavy metals found in the Passive Zone, reflecting the high levels of air pollution and the efficacy of lichens as bioindicadores of air pollution.

Keywords: air pollution – bioindicator – index of atmospheric purity – mining environmental liability – rocky substrates

RESUMEN

El empleo de líquenes como bioindicadores es ampliamente reconocido, especialmente para conocer la presencia de contaminantes atmosféricos en una determinada zona. El presente trabajo evalúa el uso de líquenes como bioindicadores de contaminación atmosférica en el pasivo ambiental minero Santo Toribio, Áncash, Perú. Se estudiaron dos lugares con similares características de hábitat, pero diferenciados en la presencia del impacto ambiental, una denominada Zona Pasivo y la otra Zona Control; en la primera se establecieron ocho estaciones y en la segunda una estación; evaluándose 108 puntos de muestreo. Para conocer los niveles de contaminación atmosférica mediante los líquenes, se hizo un estudio de riqueza de especies, se calculó el índice de Pureza Atmosférica (IPA) y se analizaron metales pesados; en el caso del IPA, el protocolo originalmente usado en forofitos (árboles) fue adaptado a sustratos rocosos, debido a la escasa vegetación arbórea en la zona. La especie utilizada para el análisis de metales pesados mediante el microscopio electrónico de barrido ambiental (MEBA) fue *Usnea durietzii* (Motyka, 1937) El estudio reveló 42 especies de líquenes distribuidos en 15 familias y 27 géneros, siendo estos en mayoría de biotipo crustoso. Los valores más bajos de riqueza de especies e IPA y altas concentraciones de metales pesados se encontraron en la zona pasivo, reflejando así los altos niveles de contaminación atmosférica y la eficacia del empleo de líquenes como bioindicadores de contaminación.

Palabras clave: bioindicadores – contaminación atmosférica – índice de pureza atmosférica – pasivo ambiental minero – sustrato rocoso

INTRODUCCIÓN

El crecimiento de las fuentes de contaminación ambientales hoy en día es cada vez mayor, existiendo en la actualidad la necesidad de desarrollar medidas de diagnóstico y control relacionadas con las principales actividades económicas del Perú. Es por tal motivo, que la bioindicación se va consolidando como un método de detección temprana de alteraciones producidas en el medio ambiente, llegando a ser una herramienta eficaz, relativamente rápida y de bajo costo, considerando que si estos valores estuvieran asociados a los equipos instrumentales de monitoreo ambiental, la información obtenida sería de gran valor (Hawkswort *et al.*, 2005).

La bioindicación utiliza organismos para obtener información de la calidad del medio ambiente; siendo estos, los llamados bioindicadores (Purvis, 2000). Existen numerosos organismos utilizados como bioindicadores, teniendo a especies de plantas vasculares, briofitas, algas, líquenes, hongos, animales invertebrados y animales vertebrados (Lijteroff *et al.*, 2009). Estos organismos pueden detectar e identificar por medio de cambios en su metabolismo, procesos

fisiológicos o morfológicos los diferentes grados de contaminación que puede presentar un lugar (Barreno-Rodríguez & Pérez-Ortega, 2003).

Dentro de estos organismos, se resalta el uso de líquenes como bioindicadores de contaminación atmosférica, siendo estos reconocidos ampliamente a nivel mundial (Hawkswort *et al.*, 2005). Los líquenes poseen diversas características que los hacen organismos idóneos para la bioindicación, como su lento crecimiento, gran capacidad de colonización, alta dependencia del medio ambiente al tomar los nutrientes directamente del aire y sobre todo la ausencia de cutícula, lo cual le permite una mayor absorción de contaminantes atmosféricos; dichas razones son el motivo por el cual vienen siendo utilizados en diferentes países como Suiza, Holanda, Estados Unidos entre otros (McCune, 2000).

Los cambios encontrados en las comunidades de líquenes suelen relacionarse con niveles de concentración de contaminantes atmosféricos existentes en áreas evaluadas, surgiendo a lo largo de los años diferentes protocolos, y de esta manera facilitar las condiciones de seguimiento y control ambiental (Hawkswort *et al.*, 2005).

Uno de los principales métodos usados por diversos autores es la aplicación del IPA (Índice de Pureza Atmosférica), propuesto a finales de 1970 por De Sloover & LeBlanc para cuantificar las condiciones de calidad atmosférica basándose en datos de cobertura y frecuencia de líquenes (Kricke & Loppi, 2002). Actualmente, existen diferentes versiones para su cálculo, a pesar de ello, todas tienen por finalidad predecir con buen nivel de aproximación el grado de contaminación atmosférica en un área de estudio determinada. Los protocolos a aplicarse para el conocimiento de la calidad de aire de una zona pueden ser diversas, teniendo por ejemplo el transplante de líquenes, el cual tiene como finalidad colocar el líquen en la zona de evaluación y así poder comparar la calidad de aire en dos áreas diferentes; otra alternativa es la utilización de métodos químicos para evaluar los niveles de acumulación de metales pesados presentes en estos organismos, extrapolando esta información para conocer las condiciones ambientales en un área de estudio determinada (Conti & Cecchetti, 2001).

Es así que frente a lo mencionado, el presente trabajo tiene como objetivo poder evaluar el uso de líquenes como bioindicadores de contaminación atmosférica en pasivos ambientales mineros, para

lo cual se tomó como área de estudio el pasivo ambiental minero Santo Toribio, Áncash, Perú y se calcularon los valores del IPA, complementándose con un análisis de la variación de la liquenobiota y de la cuantificación de metales pesados.

Finalmente, la presente investigación pretende servir como guía para el establecimiento de futuros programas de monitoreos biológicos en líquenes proporcionando además, la bibliografía asociada a la aplicación de estos organismos como bioindicadores de contaminación atmosférica en zonas altoandinas del Perú, en razón de que la información especializada al respecto es muy limitada.

MATERIAL Y MÉTODOS

Área de estudio. El estudio se realizó en el Perú, en la región de Áncash, provincia de Huaraz y distrito de Independencia (Fig.1); se encuentra aproximadamente a una altitud de 4000 msnm, formando parte de la cuenca del Santa, a unos 15 km por carretera de la ciudad de Huaraz y a unos 4 km al sur de la mina Pierina.

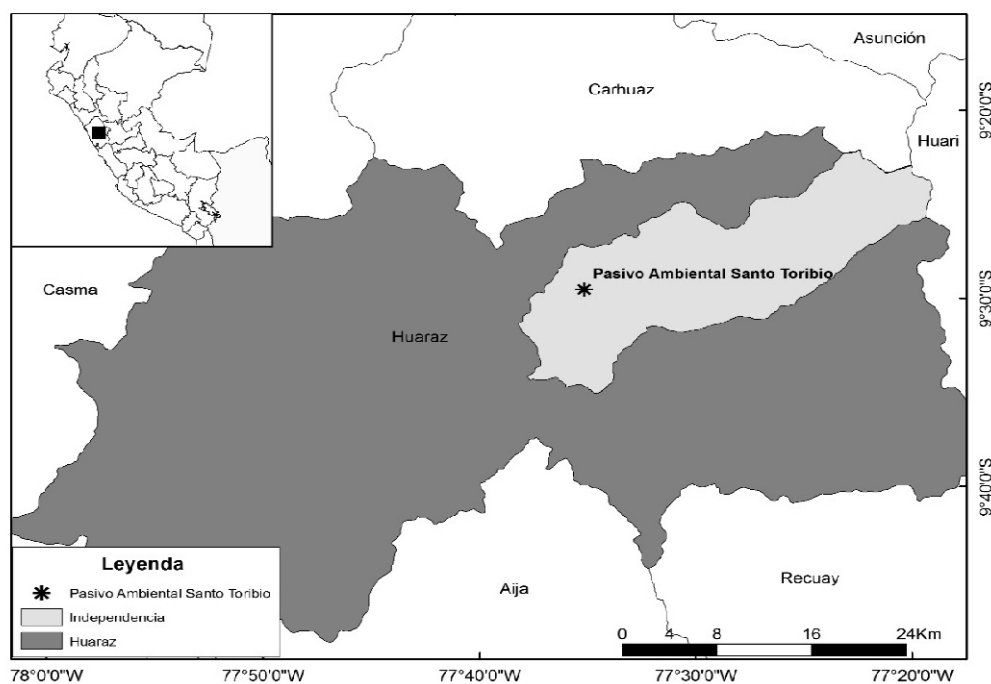


Figura 1. Ubicación del pasivo Ambiental Minero Santo Toribio, Áncash, Perú.

Para el desarrollo del estudio se establecieron dos zonas, la primera Zona Pasivo (Fig. 2) y la segunda Zona Control (Fig. 3). Los mismos factores climáticos y geomorfológicos fueron considerados para ambas zonas, estableciendo de esta manera, que el único factor variable sea la presencia de contaminación causada por la existencia del pasivo Santo Toribio.

Características de la zona pasivo. Esta zona se encuentra ubicada en las coordenadas geográficas latitud: 9°28'45.64"S y longitud: 77°34'53.11"O. Se encuentra bajo la presencia de material de desbroce, relaves mineros y drenajes ácidos de mina; dichos contaminantes son productos de la de la antigua actividad minera desarrollada por Santo Toribio S.A.

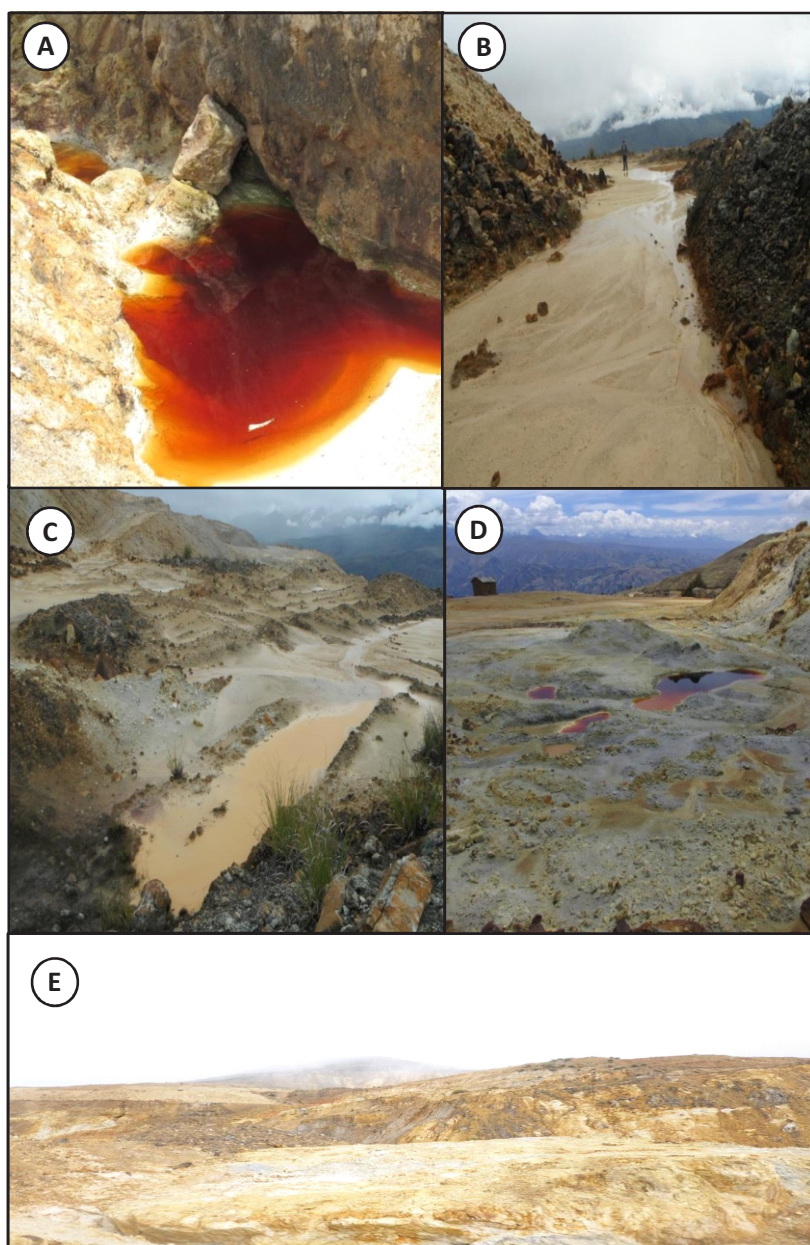


Figura 2. Vista de la zona pasivo, en **A y D** muestran la presencia de drenaje ácido de mina, mientras en **B, C y E** se observa las canchas de relaves mineros, que al igual que los drenajes, son producto de la antigua actividad minera de la empresa Santo Toribio S.A. (foto Diego Valdivia).

Características de la zona control. Fue ubicada a 2,95 km de la zona pasivo, y caracterizada por no estar bajo alguna fuente de perturbación ambiental.

Para la selección de los sustratos rocosos y superficie de éstos en la zona control, se tomó en consideración aspectos como tamaño de la roca (mayor a 50x20 cm), altitud, orientación, dirección del viento, orientación y exposición a fuentes contaminantes. Por lo ya expuesto, se consideró la ubicación de la zona control como la más idónea para ser tomada como estándar de comparación frente a la zona pasivo.

Se espera, que los líquenes de la zona pasivo presenten menor cobertura y riqueza, en comparación a los ubicados en la zona control, donde estos deben estar menos contaminados.

Elección de estaciones de muestreo. En mayo del 2014, se realizó un viaje de reconocimiento al área de estudio, el cual tuvo como objetivo el conocimiento *a priori* de las condiciones del lugar, así como del posible establecimiento de las estaciones de muestreo. Posteriormente en mayo del 2015 se desarrolló un segundo viaje con la finalidad de realizar un análisis de la variabilidad

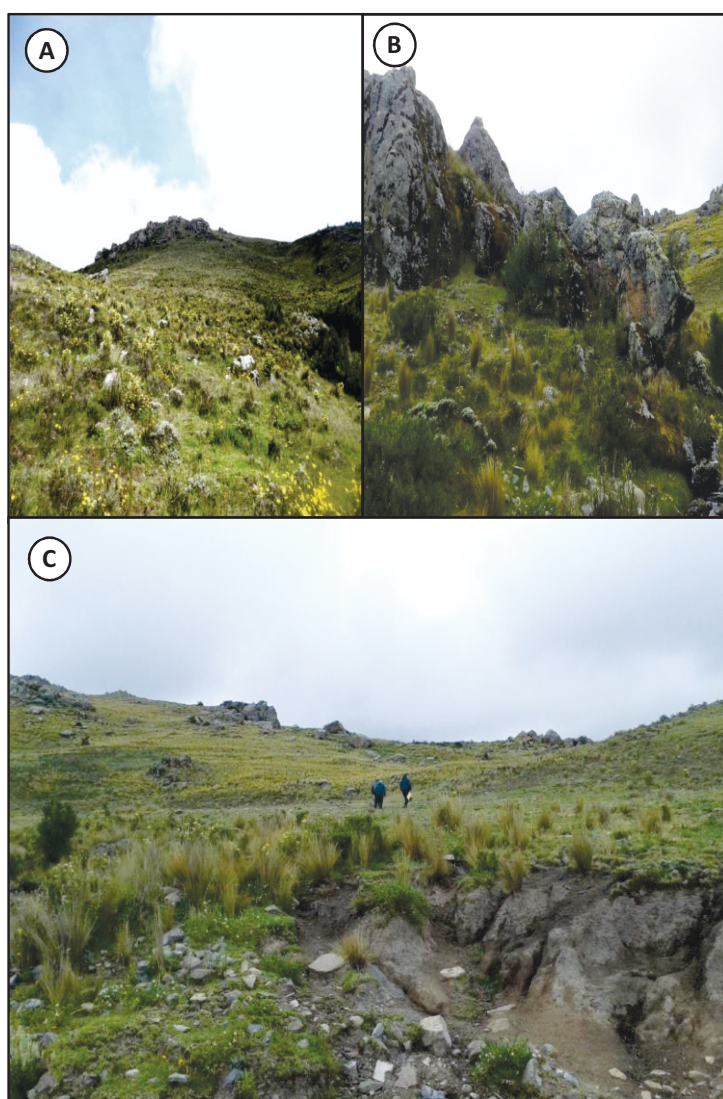


Figura 3. Vista zona control. En A, B y C se observa la existencia de vegetación asociada a los roquedales y pajonales, estableciéndose una diferencia significativa con la zona pasivo, donde la vegetación es limitada (foto: Diego Valdivia).

de la liquenobiota presente en la zona de estudio, basándose en un cálculo preliminar del IPA, además de evaluarse la representatividad y distribución de las unidades muestrales a lo largo del pasivo ambiental minero Santo Toribio, Áncash, Perú.

Finalmente en el mes de setiembre del 2015, se estableció un muestreo de tipo preferencial, donde la ubicación de las estaciones de muestreo fueron seleccionadas a criterio del investigador, atendiendo a la distribución de agrupaciones liquénicas y fisiografía de la zona observada en las salidas previas, estableciéndose nueve estaciones a lo largo de la zona de estudio (Fig. 4).

Elección de unidades muestrales. Para la elección de la distribución de las unidades de muestreo, se utilizó como referencia el procedimiento sugerido por la comunidad europea en su guía (Asta *et al.*, 2002), donde se establecen divisiones propuestas en cada estación de muestreo; para el presente estudio cada estación a muestrearse fue dividida en cuatro sectores, escogiéndose en cada una las unidades de muestreo características similares y que estén más cerca al punto central. Con referencia a las dimensiones elegidas en cada estación, estas obedecieron a la distribución de la liquenobiota observada en campo.

Es importante mencionar, que originalmente la metodología planteada es aplicada únicamente en forófitos (árboles), sin embargo, debido a la limitada presencia de flora encontrada en la zona pasivo, no se pudo utilizar de esta manera. En su lugar, se adaptó su uso a sustratos rocosos, debido a la presencia de líquenes en rocas, en donde se podía obtener valores de cobertura y frecuencia.

Para efectos de la elección de rocas que presenten características similares y con el fin de estandarizar el proceso, se tomó en cuenta características del sustrato y variables ambientales tales como orientación e inclinación de las superficies de las rocas y dirección del viento, los cuales se detallan a continuación:

Orientación.- en cada unidad muestral seleccionada (superficie de la roca) y con el uso de una brújula, se estableció la orientación con dirección sureste, teniendo como línea de visión la

ciudad de Huaraz. Según lo mencionado, se buscó minimizar cualquier posible influencia originada por la compañía minera aledaña ubicada en la parte norte del pasivo Santo Toribio.

Pendiente.- con el uso de un clinómetro, se evaluó la inclinación de determinadas superficies de cada roca, estableciéndose 3 categorías (Heywood, 1954):

-Menores a 22,5°: pendientes suaves.

-Entre 22,5° y 67,5°: pendientes medias.

- Mayores a 67,5°: pendientes rectas.

Tomándose en cuenta, las pendientes mayores de 67,5° para el muestreo realizado, por su mayor presencia y accesibilidad de muestreo.

Sustrato.- el tipo de sustrato se clasificó en liso (en caso de ser una masa compacta sin presencia de fisuras) y escalonado (con presencia de fisuras y tamaño irregular), considerándose para el muestreo los sustratos lisos de masa compacta, debido a la predominancia y facilidad de muestreo en la zona. De igual manera, con la ayuda de un centímetro, se realizó la elección de diámetros de rocas similares entre cada punto de muestreo.

Tamaño muestral. Con respecto al tamaño de la muestra, se tomó en cuenta factores como la accesibilidad a la zona, la homogeneidad de las estaciones y la representatividad de los datos. Se consideró el uso de guías y trabajos relacionados a la aplicación de líquenes como bioindicadores de contaminación, los cuales recomiendan establecer como mínimo 5 puntos muestrales por cada estación de muestreo seleccionada (Bustamante *et al.*, 2013), seleccionándose 12 unidades muestrales por cada una de las 9 estaciones de muestreo, obteniendo un total de 108 puntos (Fig. 4).

Toma de datos de cobertura y frecuencia. Designadas las unidades muestrales, se procedió a la obtención de datos de cobertura (recubrimiento) y frecuencia de líquenes, utilizándose una rejilla de 20 cm x 50 cm elaborada de metal y dividida en 10 cuadrantes, donde cada uno posee dimensiones de 10 cm x 10 cm (Canseco *et al.*, 2006). La rejilla utilizada procuró ser apoyada en la parte central de cada uno de los sustratos, con el fin de estandarizar la toma de datos.

Los datos de cobertura y frecuencia fueron obtenidos tras la toma fotográfica de cada

cuadrante de la rejilla por cada unidad muestral, siendo evaluados posteriormente en gabinete (Fig.5).

Colecta de muestras. Tanto la zona control como la zona pasivo, están localizadas entre los 3500-4000 msnm. Se encuentran en su mayoría líquenes de biotipo crustoso, por lo que para su remoción se utilizó herramientas como cincel, martillo y navaja. Asimismo, para realizar una identificación inicial de los líquenes encontrados en la zona, se hizo uso de una lupa de campo de 10X.

Una vez extraídas las muestras, fueron envueltas en sobres de papel kraft, teniendo mucho cuidado de no ocasionarles daños. Todas las muestras

acondicionadas en los sobres de tamaño adecuado fueron rotuladas con datos referentes al número de colecta, localidad, coordenadas geográficas, altitud, fecha y otros datos de interés para fines de investigación.

Aspectos éticos.

A pesar de ser una zona impactada, se tomó en cuenta el monitoreo fotográfico indicado por Purvis (2000). Esta metodología permitió realizar una interpretación fotográfica de los cambios en la cobertura y frecuencia de líquenes sin generar ningún daño al organismo, ni a su población.

Asimismo se realizó el reconocimiento taxonómico de algunas especies, reduciendo el

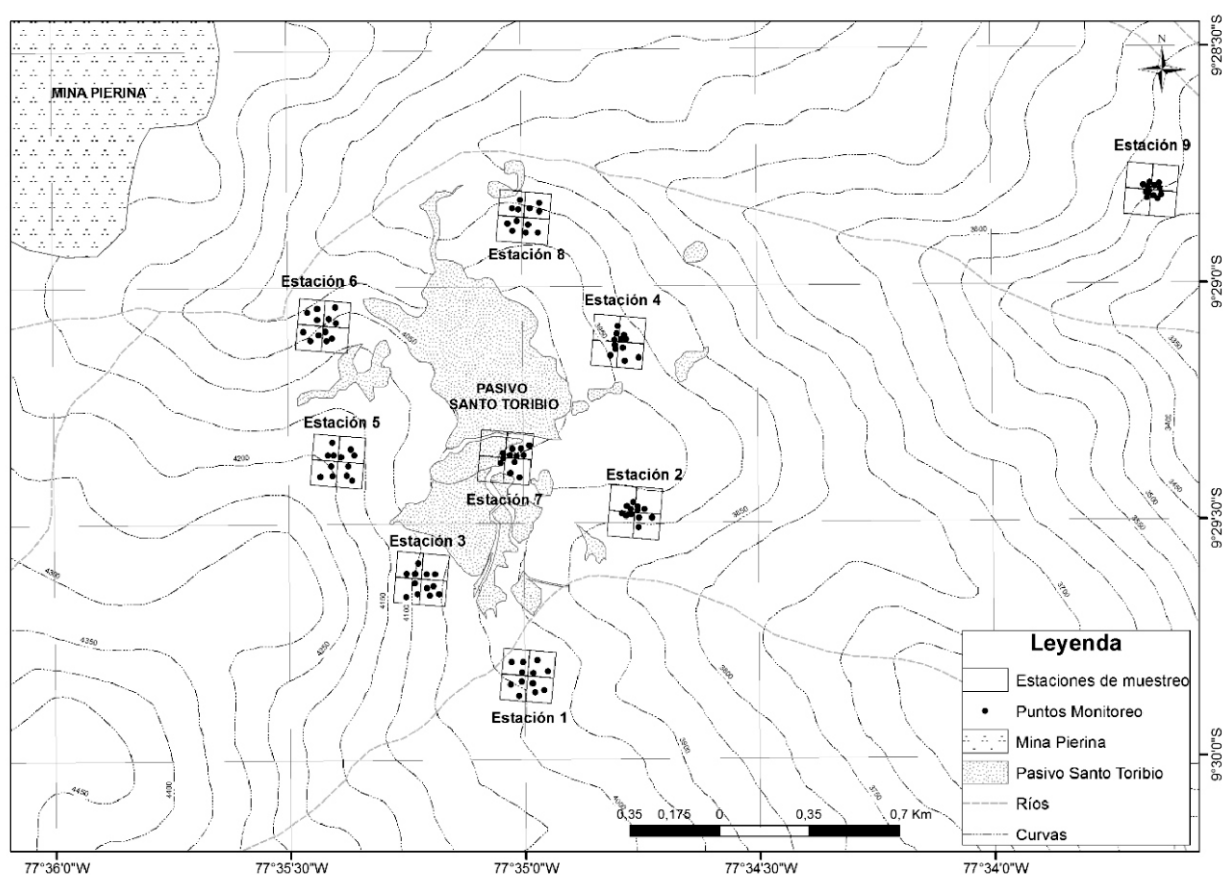


Figura 4. Ubicación de las unidades muestrales.

número de muestras recolectadas en el área de estudio. Todas colecciones fueron depositadas en el Herbario del Museo de Historia Natural (MHN) de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM), Lima, Perú.

Análisis de Datos

Determinación de especies. Se procedió a describir las características macroscópicas y microscópicas; algunas fueron revisadas en el laboratorio de florística del departamento de dicotiledóneas del MHN-UNMSM; dicha caracterización fue complementada con pruebas químicas para conocer las reacciones de color que poseen los componentes del líquen; los reactivos fueron KOH (5%), C (Hipoclorito de Sodio), KC y P (parafenilenediamina, con el fin de facilitar la determinación de especies).

Una vez conocidas las características de los especímenes se consultó literatura especializada como: Thompson (1993), Galloway (1994), Marcano *et al.* (1996), Ahti (2000), Ramírez & Cano (2005), Sipman (2005), Galloway (2008); Knudsen *et al.* (2008) Spielmann & Marcelli (2009), Hestmark (2009) y para su determinación.

Análisis de variación de la liquenobiota. Se realizó mediante la aplicación de un análisis multivariado, teniendo en cuenta que se tienen decenas de variables (abundancia de muchas especies), provenientes de 108 puntos de muestreo, utilizándose métodos como escalamiento multidimensional no métrico (NMS) y el análisis de agrupamiento.

Índice de Pureza Atmosférica (IPA). Se aplicó este índice basado en la fórmula originalmente propuesta por LeBlanc & De Sloover (1970) y modificada posteriormente por Crespo *et al.* (1981). Se estableció un ligero factor de corrección en f , que se desarrolló en términos de presencia y cobertura, expresado en una escala del 1 al 5, teniendo de esta manera:

$$IPA = \sum_n^1 \frac{(Q_x f)}{10}$$

Siendo:

- Q el cortejo medio específico.
- f la frecuencia de cada especie.

o Q : se calcula determinando la media del número de especies que acompañan a la que estamos calculando en todas las estaciones. Este valor será mayor cuando la especie se encuentra en zonas menos contaminadas.

o f : se calcula mediante expresión:

$$f = \frac{P + RM}{2}$$

- Presencia media (P) de una especie en una estación, equivale al número de rocas donde fue encontrada, dividido entre el número total de rocas estudiadas en la estación.

- Recubrimiento medio (R_m) es el cociente entre el recubrimiento total (área o cobertura que ocupa el líquen) en la estación y el número de rocas muestreadas en la estación.

$$R_m = \frac{Rt}{n}$$

- n : número de forofitos muestreados.

- Recubrimiento total (R_t) de una especie en una estación determinada, es la suma del recubrimiento de la especie en cada una de las rocas muestreadas. El recubrimiento de cada especie en la zona inventariada es un valor muy subjetivo, por lo que debe realizarse siempre por el mismo investigador. A continuación se detallan los niveles de recubrimiento total:

- Cuando la especie recubre del 0 al 10% de la superficie, tiene valor de 1.
- Cuando la especie recubre >10 al 20% de la superficie, tiene valor de 2.
- Cuando la especie recubre >20 al 35% de la superficie, tiene valor de 3.
- Cuando la especie recubre >35 al 50% de la superficie, tiene valor de 4.
- Cuando la especie recubre > 50 al 100% de la superficie, tiene valor de 5.

Los resultados obtenidos de la aplicación de la fórmula, fueron clasificados según el rango establecido por LeBlanc & De Sloover (1970) representados en la Tabla 1.

Tabla 1. Clasificación del Índice de Pureza Atmosférica (IPA).

Zonas	IPA	Descripción
I	1 al 5,5	Ausencia de líquenes – áreas de mayor contaminación.
II	>5,5 al 15,5	Pobre presencia de líquenes-todavía hay presencia de áreas contaminadas.
III	>15,5 al 35,5	Llamada zona de transición – donde la vegetación epífita no es exuberante, pero está bien representada.
IV	>35,5 al 75,5	Zona donde el aire está limpio y favorable para el crecimiento de líquenes.
V	>75,5	Zona exuberante y tiene mejor desarrollo para los líquenes.

Fuente: Adaptado de LeBlanc & De Sloover (1970).

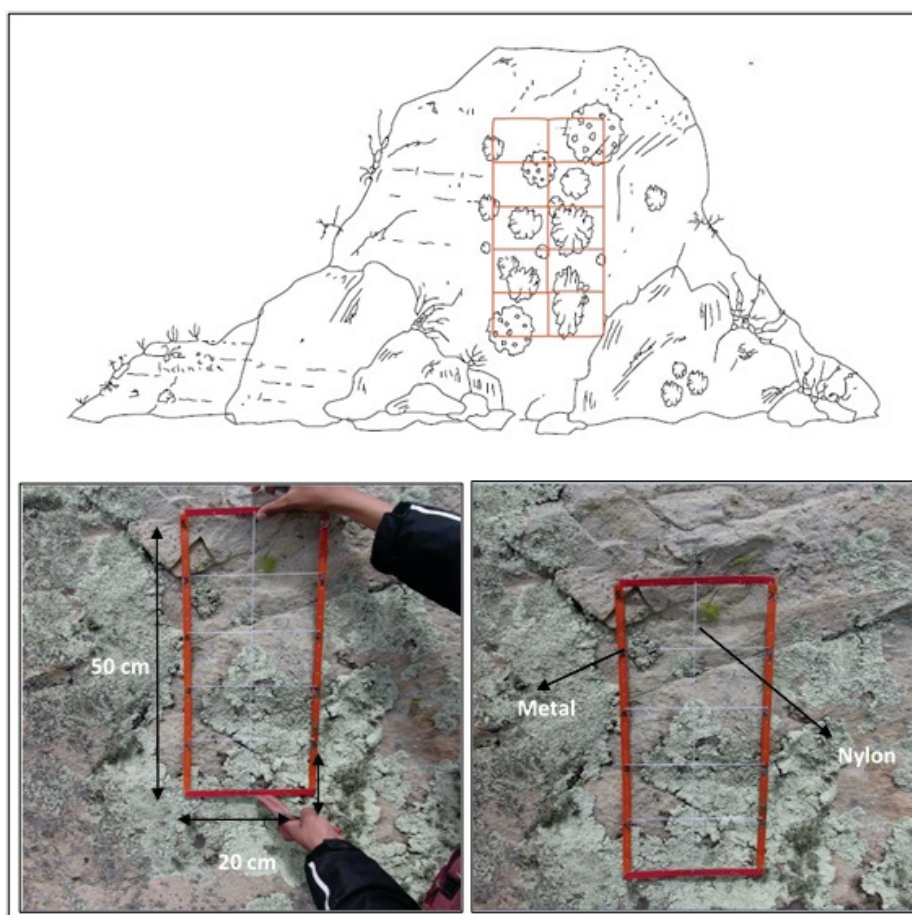


Figura 5. Obtención de datos de cobertura y frecuencia con el uso de una grilla de muestreo, los cuales son necesarios para poder llevar a cabo el IPA (Índice de Pureza Atmosférica) en cada estación de muestreo.

Determinación y cuantificación de metales pesados. Para esta finalidad se utilizó el Microscopio Electrónico de Barrido Ambiental (MEBA) con el propósito de conocer los metales pesados ajenos al líquen. Para efectos de estandarización y comparación de datos entre las 9 estaciones, se tomó una muestra del líquen *Usnea durietzii* Motyka por cada estación. Cada líquen recolectado fue cortado a 1,5 cm de su base y pesado en una balanza analítica, obteniéndose muestras de rango de 0,0039-0,00433 g por cada estación, dichas muestras fueron introducidas al MEBA para el análisis correspondiente.

Por lo expuesto y con la finalidad de comprobar la existencia de metales pesados en la zona, la capacidad de absorción y retención que pueden tener un líquen, se procedió a exponer las muestras al MEBA para determinar la concentración de elementos químicos y metales pesados. Se consideró que estos están presentes en la parte superficial y dentro de la estructural del líquen. El análisis de metales pesados, pretende establecer como premisa que según los datos de IPA obtenidos, los datos de concentración de la zona pasivo, deberían ser mucho mayor a los de la zona control.

RESULTADOS

Liquenobiota en el área de estudio. El presente trabajo da a conocer 42 especies de líquenes, distribuidas en 15 familias y 27 géneros, como se detalla en la Tabla 2. Asimismo, los datos analizados revelaron que el mayor porcentaje de líquenes hallados en la zona de estudio son los de biotipo crustoso con un 60%, seguido por los foliosos con un 33% y finalmente los fruticulosos con un 3%. Adicionalmente, la mayor cantidad de especies lo posee la estación control (E9).

El análisis multivariado NMS utilizando el índice de Bray-Curtis, realizado para el presente estudio (Fig.6), muestra claramente que la distribución de las comunidades de líquenes presentes en la zona de estudio, están divididos en dos grupos, donde la estación E7 es la más representativa de la zona pasivo por ubicarse en la parte central y la estación E9 de la zona control; dicha distribución responden a la presencia de contaminación ambiental producto del pasivo ambiental minero Santo Toribio, siendo única variable existente entre las zona pasivo y la zona control.

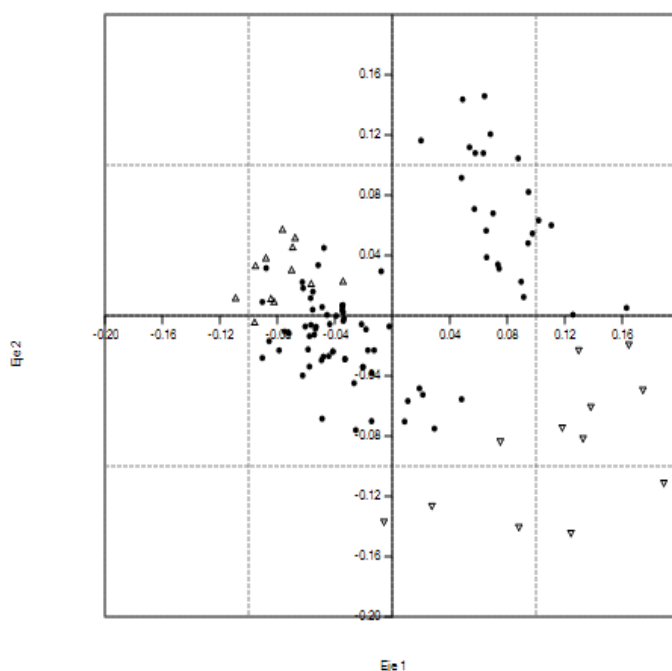


Figura 6. Diagrama de ordenación NMS, obedeciendo al criterio de disimilaridad del diagrama de agrupamiento, se puede observar que los triángulos que representan la estación de muestreo E7. Por otro lado, se puede distinguir los triángulos invertidos representando la estación control E9, establecida como muestra blanco, y por último los puntos negros las demás estaciones.

Tabla 2. Líquenes identificados en el área de estudio.

Nº	Familia	Especie	Tipo
1	PARMELIACEAE	<i>Psiloparmelia norstictica</i> (Elix & Nash)*	Folioso
2	PARMELIACEAE	<i>Hypotrachyna</i> sp. *	Folioso
3	PARMELIACEAE	<i>Psiloparmelia distincta</i> (Nyl.) Hale*	Folioso
4	PARMELIACEAE	<i>Psiloparmelia flavobrunnea</i> (Müll. Arg.) Elix & Nash*	Folioso
5	PARMELIACEAE	<i>Punctelia stictica</i> (Duby) Kroggy*	Folioso
6	PARMELIACEAE	<i>Flavopunctelia flaventior</i> (Stirton) Hale*	Folioso
7	PARMELIACEAE	<i>Parmotrema andinum</i> (Müll. Arg.) Hale*	Folioso
8	PARMELIACEAE	<i>Everniastrum billingsii</i> (W.L. Culb. & C.F. Culb.)*	Folioso
9	PARMELIACEAE	<i>Xanthoparmelia</i> sp.	Folioso
10	PARMELIACEAE	<i>Usnea durietzii</i> Motyka*	Fruticoso
11	ACAROSPORACEAE	<i>Acarospora boliviana</i> H. Magn*	Crustoso
12	ACAROSPORACEAE	<i>Acarospora altondina</i> H. Magn*	Crustoso
13	ACAROSPORACEAE	<i>Acarospora</i> sp. *	Crustoso
14	UMBILICARIACEAE	<i>Umbilicaria cylindrica</i> (L.) Delise ex Duby*	Folioso
15	UMBILICARIACEAE	<i>Umbilicaria haplocarpa</i> Nyl.*	Folioso
16	UMBILICARIACEAE	<i>Umbilicaria</i> sp. *	Folioso
17	THELOTREMATAEAE	<i>Diploschistes scroposus</i> (Schreber) Norman*	Crustoso
18	THELOTREMATAEAE	<i>Diploschistes cinereocaesius</i> (Sw.) Vain.*	Crustoso
19	ARTHONIAEAE	<i>Arthonia</i> sp. *	Crustoso
20	RHIZOCARPACEAE	<i>Rhizocarpon geographicum</i> (L.) DC *	Crustoso
21	CALICIACEAE	<i>Buellia disciformis</i> (Fr.) Mudd	Crustoso
22	CANDELARIACEAE	<i>Candelariella vitellina</i> (Hoffm.) Mull. Arg*	Crustoso
23	CANDELARIACEAE	<i>Placomaronea candelaroides</i> Räs*	Crustoso
24	GRAPHIDACEAE	<i>Cladonia</i> sp. *	Fruticoso
25	STEREOCAULACEAE	<i>Lepraria</i> sp.	Crustoso
26	STEREOCAULACEAE	<i>Stereocaulon andinum</i> B. de Lesd.*	Fruticoso
27	LEPROCAULACEAE	<i>Leprocaulon microscopicum</i> (Vill.) Gams ex D. Hawksw*	Crustoso
28	TELOSCHISTACEAE	<i>Caloplaca saxicola</i> (Hoffm.) Nordin	Crustoso
29	TELOSCHISTACEAE	<i>Caloplaca</i> sp.	Crustoso
30	TELOSCHISTACEAE	<i>Xanthoria elegans</i> (Link) Th. Fr.	Folioso
31	PHYSICIACEAE	<i>Lecidea</i> sp.*	Crustoso
32	PHYSICIACEAE	<i>Heterodermia casarettiana</i> Trevis.*	Crustoso
33	PHYSICIACEAE	<i>Buellia</i> sp.1*	Crustoso
34	PHYSICIACEAE	<i>Buellia</i> sp.2 *	Crustoso
35	PHYSICIACEAE	<i>Buellia</i> sp.3 *	Crustoso

Continua Tabla 2

Continúa Tabla 2

N°	Familia	Especie	Tipo
36	VERRUCARIACEAE	<i>Endocarpon</i> sp.	Crustoso
37	LECANORACEAE	<i>Lecanora</i> sp.	Crustoso
38	LECANORACEAE	<i>Lecanora polytropa</i> (Ehrh.) Rabenh.*	Crustoso
39	ASCOMYCETE	Ascomycete 1*	Folioso
40	ASCOMYCETE	Ascomycete 2*	Crustoso
41	ASCOMYCETE	Ascomycete 3*	Crustoso
42	ASCOMYCETE	Ascomycete 4*	Crustoso

* Líquenes depositados en el Museo de Historia Natural (UNMSM)

En el dendrograma realizado, con una medida de similaridad de correlación (Fig.7), el cual se desarrolla bajo la misma premisa indicada en el análisis NMS, presenta dos grupos representativos; sin embargo, al igual que el análisis multidimensional no métrico, existen estaciones que se encuentran en la zona pasivo, pero presentan una mayor afinidad con las ubicadas en la zona control, siendo esto debido a que los niveles de contaminación son menores en los alrededores del pasivo Santo Toribio (lugar donde se ubicaron algunas estaciones de muestreo), obteniendo de esta manera datos cercanos a los encontrados en la zona control.

Índice de Pureza Atmosférica (IPA). Los valores obtenidos del IPA para las 9 estaciones de muestreo, oscilaron entre 12,15 hasta 31,50 como lo muestra la Tabla 3. De igual manera, es

importante mencionar que los resultados obtenidos, fueron clasificado dentro de 5 zonas, haciendo referencia a los niveles de contaminación atmosférica indicadas en escala de variación detallada en la Tabla 1.

De los valores obtenidos se puede observar que las estaciones de muestreo E1, E2, E3, E4, E5, E6 y E8 se encuentran dentro de la clasificación dada para zona III, donde si bien es cierto se puede mostrar la presencia de líquenes, esta no es abundante, representando así un nivel medio entre la presencia o ausencia de contaminación atmosférica. Por otro lado, se tiene la estación de muestreo E7, ubicada en la zona II, donde todavía existen áreas contaminadas reflejándose la presencia de contaminación atmosférica y siendo la presencia de líquenes muy pobre.

Tabla 3. Valores de Índice de Pureza Atmosférica (IPA) por cada estación de muestreo.

ESTACIONES	CÓDIGO (E)	IPA
1	E1	23,26
2	E2	20,93
3	E3	20,17
4	E4	19,05
5	E5	18,78
6	E6	17,54
7	E7	12,15
8	E8	16,09
9	EC	31,50

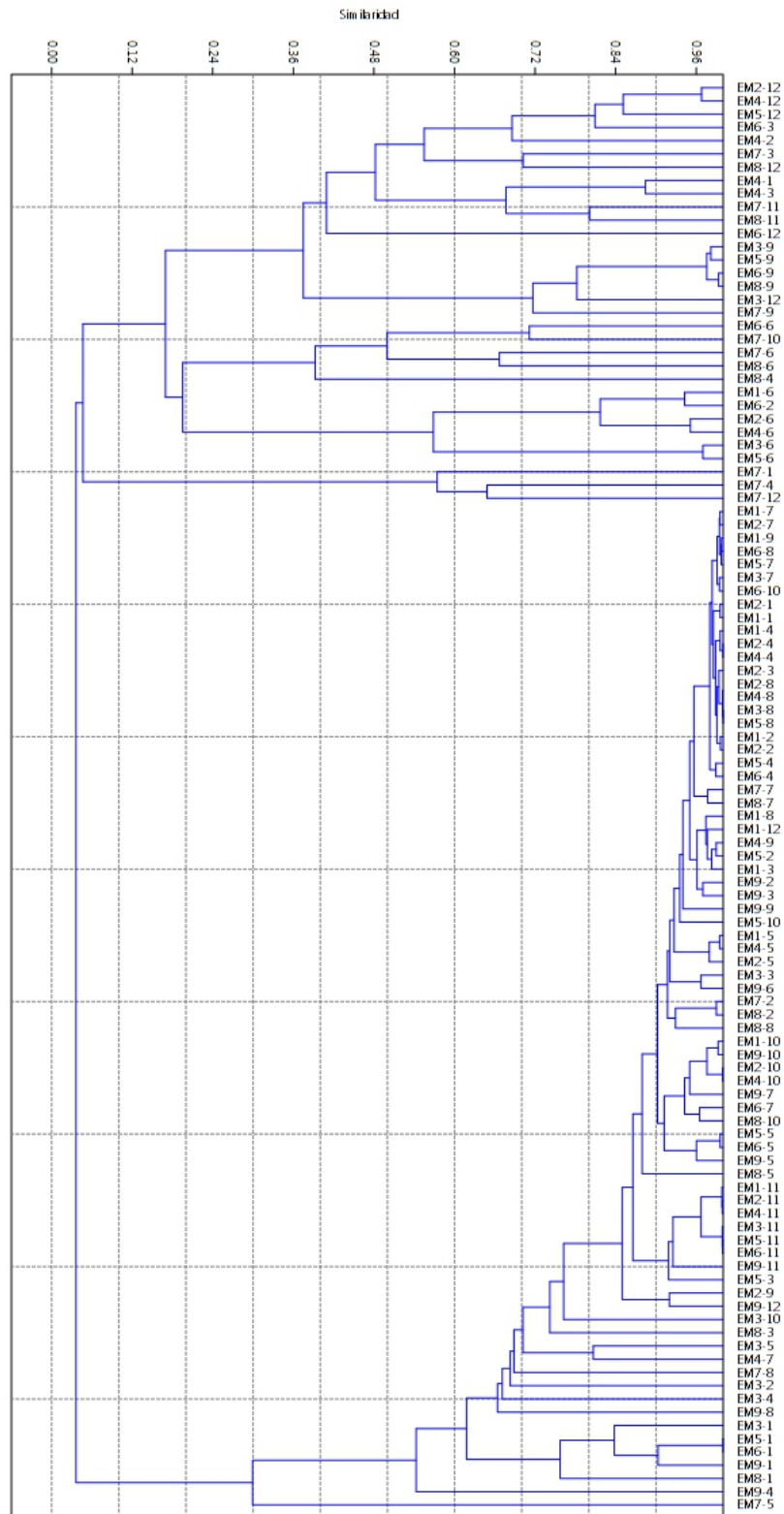


Figura 7. Análisis de agrupamiento donde se observa la distribución de las estaciones de muestreo, siendo las de mayor proximidad las que presentan características similares y las más alejadas disimilaridad, desarrollándose claramente dos grupos, el primero asemejándose a las características de la estación control (E9) y el segundo a la de la estación (E7).

A su vez, se tiene la estación E9 o también denominada estación control, la cual según las características de su ubicación, está ubicada en la zona III al igual que la mayor parte de las estaciones, sin embargo, se puede observar que posee los mayores valores de IPA, incluso estando muy cerca de pertenecer a la Zona IV, donde se considera que el aire está limpio, siendo de esta manera favorable para el crecimiento de líquenes.

Los valores obtenidos tras el análisis IPA, fueron representados en un mapa de iso-contaminación atmosférica (Fig. 8), donde cada línea está representada por un valor de IPA específico. Teniendo en cuenta que estos valores son inversamente proporcionales a los niveles de contaminación atmosférica, se tiene en consideración que las estaciones que estén representadas por las isólinas que tengan menores valores de IPA, son aquellas que se encuentran en zonas de mayor contaminación.

Determinación de metales pesados.- El análisis realizado con el MEBA registro la presencia de 9

elementos y 4 metales pesados: Aluminio (Al), Calcio (Ca), Silicio (Si), Potasio (K), Azufre (S), Hierro (Fe), Cobre (Cu), Zinc (Zn) y Plomo (Pb) en las estaciones de muestreo. Las concentraciones encontradas (expresadas en porcentaje de masa del líquen) de Al (0,94-3,36 %), Si (1,51-6,10%) y Ca (0,08-8,06%), estarían relacionadas con las características de las canchas de relave ubicadas en el pasivo ambiental minero Santo Toribio (Tchernitchin & Herrera, 2006), considerando como parte de los minerales que forman estos relaves a la calcita, sericita, feldespatos potásicos, rodocrosita y plagioclasas, los cuales presentan en su composición los 3 elementos ya mencionados. Por otro lado, se encontró presencia de Fe (0,31-1,44%) y S (0,10-0,25%), relacionándose estos datos con la existencia de óxidos de fierro y pirita, este último elemento característicos de estos desechos mineros. Finalmente, la presencia de los metales pesados Cu (0,06-0,26), Zn (0,90-0,21%) y Pb (0,16-2,83) estarían relacionados con las antiguas actividades de explotación realizada por la compañía Santo Toribio S.A, ya que esta era una mina polimetálica que extraía principalmente estos elementos.

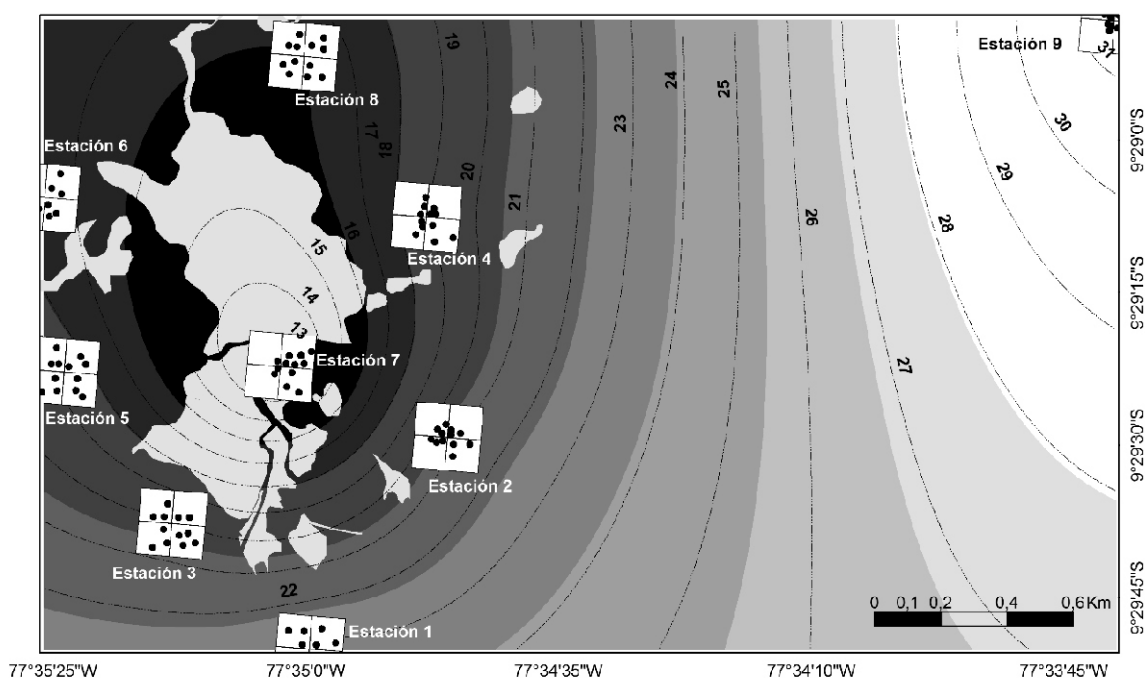


Figura 8. Mapa de Iso-contaminación atmosférica.

DISCUSIÓN

Liquenobiota en área de estudio. Del total de 42 especies encontradas, 11 correspondieron únicamente a la Zona Pasivo, 7 a la Zona Control y 24 halladas en ambos lugares. La cantidad de especies en común encontradas dan a entender la existencia de una similitud en ambas zonas antes de verse influenciada por la presencia del pasivo ambiental minero Santo Toribio. Por otro lado, en el presente estudio se encontraron especies diferentes al trabajo realizado por Ramírez & Cano (2005) también ubicada en cordillera negra (Huaylas, Áncash, Perú), demostrando así la numerosa riqueza de líquenes existentes en la región.

Los mayores porcentajes de cobertura, riqueza y frecuencia fueron registrados en la estación control (E9), la cual se caracteriza por no estar bajo la influencia del pasivo Santo Toribio, además, de ubicarse en una zona que no está bajo presencia de perturbación ambiental, mientras el menor porcentaje lo presentó la estación E7, ubicada en la parte central del pasivo, siendo concordante con lo expuesto en estudios llevados a cabo por Lijteroff *et al.* (2009) y Canseco *et al.* (2006), los cuales al comparar la liquenobiota en dos espacios geográficos con similares características, concluyen que la menor riqueza, presencia y cobertura de líquenes se da en lugares donde existen fuentes de contaminación antropogénicas como es el caso del pasivo Santo Toribio producto de las antiguas actividades mineras.

A su vez dentro de las estaciones analizadas el 33,3% (14 especies) fueron líquenes del biotipo folioso, 59,52% (25 especies) líquenes del biotipo crustoso y el 7,14% (3 especies) líquenes del biotipo fruticulosos. Le Blanc & De Sloover (1970) señalan que en general los líquenes fruticulosos son los más sensibles a la contaminación, los foliosos tienen una sensibilidad media y los crustosos son los menos sensibles. Dicha afirmación estaría en relación con el mayor porcentaje de líquenes crustosos encontrados en el área de estudio, y la casi ausencia de líquenes fruticulosos, lo que indicaría la presencia de contaminantes atmosféricos.

Por su parte, el análisis multidimensional de cluster

al igual que el NMS indicaron la similaridad encontrada entre estaciones de muestreo, de forma que las más parecidas entre sí, aparecen agrupadas tal y como lo propusieron Mateus *et al.* (2012), en su estudio de caracterización de líquenes folícolas en 3 estaciones ambientales en Colombia.

Finalmente, destacamos que en esta investigación se asumió que en las estaciones de muestreo ubicadas en la zona pasivo y control, existirían las mismas especies líquenes, ya que ambas zonas están bajo las mismas condiciones tanto geomorfológicas como meteorológicas; sin embargo, la existencia de una variación de composición de la liquenobiota, debería estar dada por la presencia de los desechos propios del pasivo ambiental minero Santo Toribio, indicando de esta manera que la ausencia o presencia de líquenes obedece a las características medio ambientales de cada zona.

Análisis de metales pesados. Los resultados obtenidos a través del uso del Microscopio Electrónico de Barrido Ambiental (MEBA), para el análisis de metales pesados, fueron realizados, en la especie *U. diuretzii* perteneciente a la familia Parmeliaceae del mismo modo como se planteó en los trabajos llevados a cabo por Bedregal *et al.* (2009) y González *et al.* (2002) donde se obtuvieron buenos resultados.

El presente estudio reveló que en las 8 estaciones de muestreo ubicadas en el pasivo ambiental minero Santo Toribio, existe presencia de metales pesados tales como Fe, Cu, Zn y Pb. Por su parte en la estación propuesta como punto control se encontró Fe, Cu y Pb, y ausencia del metal pesado Zn. Siendo importante mencionar que la presencia de estos metales pesados en los líquenes es ocasionado por el transporte aéreo de este contaminante producto de la acumulación de los desechos mineros como parte de la extracción de los minerales.

Las diferencias encontradas en las concentraciones de metales pesados en el líquen *U. diuretzii* de las estaciones de muestreo de la zona pasivo y control (Tabla 4), no fueron significativas como se esperaba. Dicha condición puede ser explicada por la presencia de metales pesados de forma intracelular en el líquen; ya que, si estos metales pesados estuvieran almacenados

extracelularmente no ocasionarían daños en el organismo, mientras que de manera intracelular conllevarían a su desaparición. Adicionalmente la existencia de un ambiente ácido, como es la zona de estudio, contribuye a un debilitamiento de las paredes celulares, permitiendo de esta manera un fácil ingreso intracelularmente en el líquen (Nash 1996).

Por lo ya expuesto, se entiende que una de las causas por lo cual existe mayor frecuencia en la zona control a diferencia de la zona pasivo, serían las condiciones ya citadas, las cuales estarían direccionadas a una desaparición del líquen, y no hacía una acumulación de metales pesados como hubiera sido de manera extracelular.

Tabla 4. Concentración de elementos químicos y metales pesados. Consolidado de resultados en las 9 estaciones. Los datos indicados se encuentran en porcentaje de masa del líquen muestreado. E= Estación.

	E 1	E 2	E 3	E 4	E 5	E 6	E 7	E 8	E 9
Na	0,14	0,00	0,14	0,03	0,00	0,34	0,14	0,08	0,00
Mg	0,18	0,12	0,21	0,12	0,15	0,35	0,16	0,21	0,11
Al	3,36	0,96	1,56	1,40	1,56	1,63	2,78	2,51	0,94
Si	6,10	1,27	3,06	1,55	2,26	1,98	5,50	3,32	1,51
P	0,05	0,05	0,04	0,04	0,05	0,13	0,08	0,05	0,02
S	0,10	0,05	0,07	0,06	0,05	0,25	0,20	0,00	0,10
Cl	0,03	0,02	0,00	0,07	0,00	0,04	0,00	0,06	0,02
K	0,78	0,46	0,33	0,38	0,72	0,49	0,47	0,73	0,18
Ca	0,16	8,05	4,16	2,83	4,73	0,22	0,20	3,73	0,08
Ti	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,22	0,17	0,05	0,18
Fe	1,31	0,32	0,52	0,31	0,52	1,15	1,44	0,61	0,56
Cu	0,13	0,06	0,20	0,10	0,12	0,26	0,12	0,14	0,15
Zn	0,19	0,11	0,21	0,05	0,16	0,63	0,14	0,09	0,00
Pb	0,35	0,36	0,60	0,33	0,26	1,43	2,83	0,16	0,19

(*) Datos en porcentaje (%) de masa de líquen.

A pesar de lo mencionado, los resultados arrojaron que la estación de muestreo E7 presentó las mayor concentración de Pb con 2,83% y Fe con 1,44% (porcentaje de masa del líquen), en comparación a las demás estaciones de muestreo. Por su parte, las estaciones restantes no llegaron al 1% de la concentración de estos metales pesados, incluso con ausencia del Zn en la zona control. Si bien, los niveles de concentraciones no fueron los

esperados, aun así se puede establecer una relación en cuanto a las diferencias de concentración de metales pesados existente entre la zona control (estación E9) y la zona pasivo (estación E7).

Finalmente y considerando que la aplicación del MEBA reconoce todos los elementos presentes en el líquen, se puede inferir que la presencia de S y Fe encontradas en las muestras del líquen *U. durietzii*

colectadas, puede tener una relación significativa con la oxidación de la pirita (FeS_2), mineral que es rechazado como producto del proceso concentrador, generando la presencia de dióxido de azufre (SO_2), siendo el factor más relevante que influye en la distribución espacial, disminución y salud de los líquenes (Hawksworth *et al.*, 2005). Del mismo modo se pudo observar en las muestras analizadas, la presencia de altas concentraciones de calcio, aluminio y silicio, las cuales estarían en relación a los componentes mineralógicos de la cancha de relave.

Índice de Pureza Atmosférica. Inicialmente en la aplicación del IPA en rocas se generó muchos inconvenientes debido a la similitud que necesitaba cada unidad de muestreo, sin embargo, la realización de un análisis detallado considerando variables como tamaño, tipo, inclinación y orientación del sustrato; dirección del viento, tamaño de roca y un adecuado sistema de muestro hizo posible la evaluación de la zona de estudio. Es oportuno manifestar, que en las zonas alto andinas existen amplias áreas donde se da el desarrollo de las principales actividades extractivas del país y que en estas zonas, muchas veces se tiene una presencia limitada de vegetación arbórea, por ende, es de importancia realizar mayores investigaciones sobre la aplicación del IPA en sustratos rocosos.

Debido a que en la actualidad existen diversas modificaciones realizadas al IPA original aplicadas en distintos trabajos, se analizaron diferentes versiones de esta metodología. Así por ejemplo, se aplicó la versión propuesta por Käffer *et al.* (2011), donde se utiliza un factor de corrección tomando en cuenta el biotipo del líquen, siendo este crustoso, folioso o fruticuloso, asignándole un peso a cada uno y relacionándolo con los niveles de contaminación; sin embargo, debido a que esta metodología requiere una alta variabilidad de cada biotipo del líquen, la cual era escasa en el presente estudio no se tomó en consideración; es así que la propuesta de Crespo *et al.* (1981) representó con mayor proximidad lo observado en campo y por tanto fue la elegida para el presente estudio.

En relación con los resultados obtenidos tras la aplicación del IPA, se demuestra que la estación E7 ubicada en el centro del pasivo ambiental minero Santo Toribio, posee el valor más bajo del IPA con 12,15 representando así, la presencia de mayores

niveles de contaminación atmosférica en comparación a las demás estaciones de muestreo. El resultado obtenido, es explicado por la mayor cercanía de este punto con los desechos mineros presentes (material de desbroce, relaves mineros y drenaje ácido de mina), los cuales fueron producidos por la antigua actividad de la empresa Santo Toribio S.A. Por otro lado, la estación control establecida como muestra blanco, obtuvo el mayor valor de IPA con 31,50 representando de esta manera la zona con menor grado de contaminación y por ende la más favorable para el desarrollo de las especies, esta diferencia de valores de IPA entre áreas de estudio, estaría en concordancia con trabajos llevados a cabo por autores como Crespo *et al.* (1981), Canseco *et al.* (2006), Lijteroff *et al.* (2009), Käffer *et al.* (2011) y Käffer & Martins (2014), los cuales muestran dentro de sus resultados menores valores de IPA en zonas con presencia de perturbación ambiental y mayores valores de IPA en zonas menos perturbadas.

Adicionalmente, las demás estaciones de muestreo ubicadas cerca del pasivo ambiental minero Santo Toribio, obtuvieron datos que oscilaron entre el rango de 16,09 hasta 23,26, representando de esta manera niveles de contaminación atmosférica moderados, estableciendo claramente que esta metodología correlaciona los cambios en la distribución de los líquenes, con los niveles de contaminación atmosférica que pudieran existir, haciendo posible poder mapear los niveles de contaminación atmosférica como lo mencionan Conti & Cecchetti (2001). De esta manera, se utilizó para el presente estudio la generación de isolíneas de contaminación atmosférica a través del uso de un sistema de información geográfica, estando en relación con lo desarrollado con Bustamante *et al.* (2013), donde a través de la elaboración de un mapa de isolíneas de contaminación atmosférica reflejan claramente los niveles de contaminación en el área.

Finalmente, es importante mencionar que una de las limitantes existentes en la realización del presente estudio fue la variabilidad que presentaron las comunidades de líquenes de acuerdo a cada ecorregión, esto debido a la influencia climatológica y geomorfológica, dificultando poder establecer si estas ejercen influencia sobre las variables ambientales analizadas.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a Magdalena Pavlich, por las aclaraciones brindadas respecto a la aplicación de líquenes en zonas contaminadas. De igual manera a Gladys Ocharan Velásquez, por su apoyo al brindar las facilidades, para poder realizar el análisis de metales pesados con el uso de su equipo de trabajo. A Marcia Isabel Kaffer de la Universidade Federal do Rio Grande do Sul en Brazil y a Juan Manuel Lavornia de la Universidad Nacional de la Plata en Argentina, por su colaboración en bibliografía para la implementación de la metodología de muestreo aplicada y brindar alcances para el uso del Índice de Pureza Atmosférica (IPA) y a Asunción Cano Jefe de laboratorio de Florística, departamento de Dicotiledóneas del Museo de Historia Natural de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, por otorgar la facilidades para poder realizar algunas determinaciones de las muestras colectadas. También nuestra profunda gratitud con los especialistas extranjeros Teuvo Tapio Ahti y Geir Hestmark, por su valiosa colaboración con las determinaciones y con literatura especializada.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahti, T. 2000. *Cladoniaceae. Flora Neotropica Monograph 78*. The New York Botanical Garden Press.
- Asta, J.; Erhardt, W.; Ferretti, M.; Fornasier, F.; Kirschnaum, U.; Nimis, P. & Wirth, V. 2002. Mapping lichen diversity as an indicator of environmental Quality. *Monitoring with Lichens*, 7: 273–279.
- Barreno-Rodríguez, E. & Pérez-Ortega, S. 2003. *Líquenes de la reserva natural integral de Muniellos, Asturias (España)*. Consejería de Medio Ambiente, Ordenación del Territorio e Infraestructuras del Principado de Asturias y KRK Ed.
- Bedregal, P.; Mendoza, P.; Ubillús, M., Torres, B.; Hurtado, J.; Maza, I. & Espinoza, R. 2009. El uso de *Usnea* sp. y *Tillandsia capillaris*, como biomonitores de la contaminación ambiental en la ciudad de Lima, Perú. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 75: 479–487.
- Bustamante, E.N.; Monge, N.J. & Méndez-Estrada, V. H. 2013. Use of a Geographic Information System and lichens to map air pollution in a tropical city: San José, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 61: 557–563.
- Canseco, A.; Anze, R. & Franken, M. 2006. Comunidades de líquenes: indicadores de la calidad del aire en la ciudad de La Paz, Bolivia. *Acta Nova*, 3: 286–307.
- Conti, M. E. & Cecchetti, G. 2001. Biological monitoring: lichens as bioindicators of air pollution assessment — a review. *Environmental Pollution*, 114: 471–492.
- Crespo, A.; Barreno, E.; Sancho, L.G. & Bueno, A.O. 1981. Establecimiento de una red de valoración de pureza atmosférica en la provincia de La Coruña (España) mediante bioindicadores liquénicos. *Lezama*, 3: 289–311.
- Galloway, D. 1994. Studies on the lichen genus *Sticta* (Schreber) Ach. I. Southern South American species. — *Lichenologist*, 26: 223–282.
- Galloway, D. 2008. *Lichen biogeography*. In Nash, T. (3^{era} ed.). Arizona, Estados Unidos. Cambridge University Press.
- González, S.; Osoreo, J. & Mendoza, P. 2002. Study of Antarctic lichens as environmental biomonitors in the Admiralty Bay: Preliminary study of trace elements contents by neutron activation analysis, Lima. Instituto Peruano de Energía Nuclear. Informe Científico Tecnológico, pp. 342–345.
- Hawksworth, D. L.; Iturriaga, T. & Crespo, A. 2005. Líquenes como bioindicadores inmediatos de contaminación y cambios medio-ambientales en los trópicos. *Revista Iberoamericana de Micología*, 22: 71–82.
- Hestmark, G. 2009. New observations and records for *Umbilicaria* (Umbilicariaceae) in Bolivia. *The Bryologist*, 112: 833–838.
- Heywood, V. H. 1954. El concepto de asociación en las comunidades rupícolas — *Anales del Instituto Botánico de Madrid*, 11: 463–481.
- Käffer, M. I., & Martins, S.M. 2014. Evaluation of the environmental quality of a protected riparian forest in Southern Brazil. *Bosque (Valdivia)*, 35: 325–336.
- Käffer, M. I.; Martins, S.M.; Alves, C.; Pereira, V.

- C.; Fachel, J. & Vargas, V. M. F. 2011. Corticolous lichens as environmental indicators in urban areas in southern Brazil. *Ecological Indicators*, 11: 1319–1332.
- Knudsen, K.; Flakus, A. & Kukwa, M. 2012. A contribution to the study of Acarosporaceae in South America. *The Lichenologist*, 44: 253–262.
- Kricke, R. & Loppi, S. 2002. *Bioindication: The I.A.P. Approach*. In: Nimis, P.L.; Scheidegger, C. & Wolseley, P.A (eds), *Monitoring with lichens- monitoring lichens*. Nato Science Series, 7: 21-37.
- LeBlanc, F. & J. De Sloover. 1970. Relation between industrialization and the distribution and growth of epiphytic lichens and mosses in Montreal. *Canadian Journal of Botany*, 48: 1485-1496.
- Lijteroff, R.; Lima, L. & Prieri, B. 2009. Uso de líquenes como bioindicadores de contaminación atmosférica en la Ciudad de San Luis, Argentina. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 25: 111-120.
- Marcano, V.; Méndez, A. M.; Sipman, H. & Calderon, L. 1996. A first checklist of the lichen-forming fungi of the Venezuelan Andes. *Bryophyte Diversity and Evolution*, 12: 193-235.
- Mateus, N.; Aguirre, J. & Lücking, R. 2012. Contribuciones a la biota líquénica folícola del Chocó (Colombia). *Caldasia*, 34: 25-32.
- Nash, T.H. (1996). *Lichen Biology*. Cambridge University Press. 2nd Ed. 477 p.
- McCune, B. 2000. Lichen communities as indicators of forest health. *Bryologist*, 103: 353–356.
- Purvis, O.W. 2000. *Lichens* (1st ed). Londres, Inglaterra Natural History Museum.
- Ramírez, Á & Cano, A. 2005. Líquenes de Pueblo Libre, una localidad andina en la Cordillera Negra Huaylas, Áncash, Perú. *Revista Peruana de Biología*, 12: 383-396.
- Sipman, H. 2005. *Identification Key and literature guide to the genera of Lichinized Fungi (Lichens) in the Neotropics Berlin, Alemania*, consultado el 26 de Junio de 2016. <<http://www.bgbm.fu-berlin.de/sipman/keys/neokeyA.htm>>
- Spielmann, A. A. & Marcelli, M. P. 2009. *Parmotrema* s.l. (Parmeliaceae, lichenized Ascomycota) from Serra Geral slopes in central Rio Grande do Sul state, Brazil. *Hoehnea*, 36: 551–595.
- Tchernitchin, A. N. & Herrera, L. 2006. Relaves mineros y sus efectos en salud, medio ambiente y desarrollo económico. Ejemplo de relave en el valle de Chacabuco-Polpaico. *Cuadernos médico sociales*, 46: 22-43.
- Thomson, J. W. 1993. A Key to *Xanthoparmelia* in North America Extracted from the World Keys of Hale 1990. *The Bryologist*, 96:342-344.

Received September 18, 2017.
Accepted December 17, 2017.