



UNAP

**Facultad de
Ciencias Forestales**

**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ECOLOGÍA DE
BOSQUES TROPICALES**

TESIS

**“CALIDAD DEL AIRE MEDIANTE LA LIQUENOBIOTA SAXÍCOLAS EN LA ZONA
ARQUEOLÓGICA DE TEATINO-RESERVA NACIONAL LOMAS DE LACHAY,
HUACHO-LIMA-PERÚ, 2017”.**

Tesis para optar el título de Ingeniero en Ecología de Bosques Tropicales

Autor

GRECIA NAYDU FERRY LOPEZ

Iquitos-Perú

2018



UNAP

Facultad de
Ciencias Forestales

ACTA DE SUSTENTACIÓN

DE TESIS Nº 827

Los miembros del Jurado que suscriben, reunidos para evaluar la sustentación de tesis presentada por la bachiller **GRECIA NAYDU FERRY LOPEZ**, titulada: **"CALIDAD DEL AIRE MEDIANTE LA LIQUENOBIOTA SAXÍCOLAS EN LA ZONA ARQUEOLÓGICA DE TEATINO - RESERVA NACIONAL LOMAS DE LACHAY, HUACHO, LIMA-PERÚ, 2017"**, formuladas las observaciones y analizadas las respuestas,

la declaramos:

APTO

Con el calificativo de:

MUY BUENO

En consecuencia queda en condición de ser calificada:

APROBADA

Y, recibir el Título de Ingeniera en Ecología de Bosques Tropicales.

Iquitos, 17 de abril 2018



Ing. **WALDEMAR ALEGRIA MUÑOZ, Dr.**
Presidente

Ing. **CESAR AUGUSTO SAENZ SANCHEZ, Dr.**
Miembro

Ing. **FREDY FRANCISCO RAMIREZ AREVALO**
Miembro

Ing. **RODIL TELLO ESPINOZA, Dr.**
Asesor

Conservar los bosques benefician a la humanidad ¡No lo destruyas!
Ciudad Universitaria "Duarte Almendra" San Juan Trujillo-Perú

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA AMAZONIA PERUANA
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
ESCUELA DE FORMACION PROFESIONAL DE INGENIERIA EN ECOLOGIA DE
BOSQUES TROPICALES

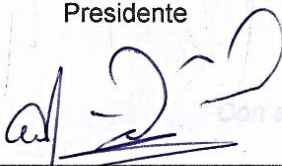
**"CALIDAD DEL AIRE MEDIANTE LA LIQUENOBIOTA SAXÍCOLAS EN LA
ZONA ARQUEOLÓGICA DE TEATINO-RESERVA NACIONAL LOMAS DE
LACHAY, HUACHO-LIMA-PERÚ, 2017"**

Tesis sustentada y aprobada el 17 de Abril del 2018 según acta de sustentación
N° 827

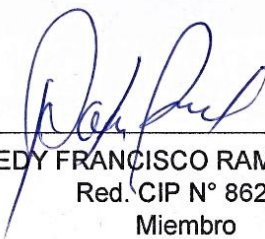
MIEMBROS DEL JURADO



Ing. WALDEMAR ALEGRIA MUÑOZ, Dr.
Red. CIP N° 37216
Presidente



Ing. CESAR AUGUSTO SAENZ SANCHEZ, Dr.
Red. CIP N° 32630
Miembro



Ing. FREDY FRANCISCO RAMIREZ AREVALO
Red. CIP N° 86206
Miembro



Ing. RODIL TELLO ESPINOZA, Dr.
Red. CIP N° 27840
Asesor

DEDICATORIA

A mi amor eterno porque el mundo es más bello desde que te siento.

Reissing Saldaña...sin ti, nunca hubiera sido posible, *compañero de vida.*

*Con amor y cariño a mi **Anita***

*Y a quien me dio la vida
mamichula **Janetti***

AGRADECIMIENTO

- *A Dios por su divina misericordia.*
- A proyectos Liqueños Perú liderado por el Blgo Ángel Manuel Ramírez Ordoñez, por motivarme y sumergirme en este mundo maravilloso de líquenes.
- A mis amigos (jefe, guardaparques y voluntarios) de la Reserva Nacional Lomas de Lachay, por las facilidades brindadas para la ejecución del presente estudio.
- A mis queridos hermanos, primos y tíos que ven en mí fuente de ejemplo.

INDICE

	Pág
RESUMEN	VIII
I. INTRODUCCIÓN	1
II. PROBLEMA	3
2.1 Descripción del problema	3
2.2 Definición del problema	4
III HIPÓTESIS	5
3.1 Hipótesis general	5
3.2 Hipótesis alterna	5
3.3 Hipótesis nula	5
IV OBJETIVOS	6
4.1 Objetivo general	6
4.2 Objetivos específicos	6
V VARIABLES	7
5.1 Identificación de variables, indicadores e índices	7
5.2. Operacionalización de las variables	7
VI MARCO TEÓRICO	8
VII MARCO CONCEPTUAL	38
VIII MATERIALES Y MÉTODOS	39
IX RESULTADOS	58
X DISCUSIÓN	105
XI CONCLUSIÓN	108
XII RECOMENDACIÓN	110

XIII BIBLIOGRAFIA	111
ANEXO	122

LISTA DE CUADROS

N°	DESCRIPCIÓN	Pág
1	Operacionalización de las variables para el estudio.	7
2	Índice de calidad del aire para material particulado (PM10)	17
3	Índice de calidad del aire para material particulado (PM2.5)	17
4	Clasificación del estado de la calidad del aire.	18
5	Coordenadas UTM de las dos zonas de evaluación.	42
6	Registros y coordenadas UTM de las rocas.	53
7	Pruebas químicas.	58
8	Resumen de los coeficientes del Análisis de regresión y Correlación para Tamaño y Orientación.	60
9	Análisis de varianza de la regresión del Tamaño vs la Orientación.	60
10	Resumen de los coeficientes del Análisis de regresión y Correlación para Tamaño y Pendiente.	62
11	Análisis de varianza de la regresión del Tamaño vs la Pendiente.	62
12	Resumen de los coeficientes del Análisis de regresión y Correlación para Tamaño y Altitud.	63
13	Análisis de varianza de la regresión del Tamaño vs la Altitud.	64
14	Resumen de los coeficientes del Análisis de regresión y Correlación para Tamaño y Distancia al mar.	66
15	Análisis de varianza de la regresión del Tamaño vs la Distancia al mar.	66
16	Resumen de los coeficientes del Análisis de regresión y Correlación para Tamaño y Orientación.	68
17	Análisis de varianza de la regresión del Tamaño vs la Orientación.	68
18	Resumen de los coeficientes del Análisis de regresión y Correlación para Tamaño y Pendiente.	70
19	Análisis de varianza de la regresión del Tamaño vs la Pendiente.	70
20	Resumen de los coeficientes del Análisis de regresión y Correlación para Tamaño y Altitud.	72
21	Análisis de varianza de la regresión del Tamaño vs la Altitud.	72
22	Resumen de los coeficientes del Análisis de regresión y Correlación para Tamaño y Distancia al mar.	74
23	Análisis de varianza de la regresión del Tamaño vs la Distancia al mar.	74
24	Concentraciones de elementos químicos y metales para parte del líquen denominada centro de la muestra T1-M01.	76
25	Concentraciones de elementos químicos y metales para parte del líquen denominada mitad de la muestra T1-M01.	78

26	Concentraciones de elementos químicos y metales para parte del líquen denominada periferia de la muestra T1-M01.	80
27	Concentraciones de elementos químicos y metales para parte del líquen denominada centro de la muestra T2-M01.	82
28	Concentraciones de elementos químicos y metales para parte del líquen denominada mitad de la muestra T2-M01.	84
29	Concentraciones de elementos químicos y metales para parte del líquen denominada periferia de la muestra T2-M01.	86
30	Concentraciones de elementos químicos y metales para parte del líquen denominada centro de la muestra T2-M04.	88
31	Concentraciones de elementos químicos y metales para parte del líquen denominada mitad de la muestra T2-M04.	90
32	Concentraciones de elementos químicos y metales para parte del líquen denominada periferia de la muestra T2-M04.	92
33	Concentraciones de elementos químicos y metales para parte del líquen denominada Mitad/Puntual 1	94
34	Concentraciones de elementos químicos y metales para parte del líquen denominada Mitad/Puntual 2	96
35	Concentraciones de elementos químicos y metales para parte del líquen denominada centro de la muestra HAB-ME3.	98
36	Concentraciones de elementos químicos y metales para parte del líquen denominada mitad HAB-ME3.	100
37	Concentraciones de elementos químicos y metales para parte del líquen denominada periferia HAB-ME3.	102
38	Comparación de las concentraciones de óxidos en la zona teatino 1 y Habich.	104
39	Formato para la toma de datos de campo	126

LISTA DE FIGURAS

N°	DESCRIPCIÓN	Pág.
1	Liquenes crustaceos saxícolas de la Reserva Nacional Lomas de Lachay.	20
2	Liquenes foliosos saxícolas de la Reserva Nacional Lomas de Lachay.	21
3	Liquenes fruticulosos saxícolas de la Reserva Nacional Lomas de Lachay.	22
4	Ubicación de la zona de estudio.	39
5	Ubicación Zona Teatino 1.	43
6	Ubicación Zona Teatino 2.	44
7	Registro de datos de campo en la zona de estudio.	45
8	Colecta de muestras para trasplante.	46
9	Colocación de muestras para trasplante.	47
10	Muestras trasplantadas.	47
11	Colecta de muestras para el análisis de metales pesados en el centro de Microscopía Electrónica y Aplicaciones en el Perú.	48
12	Proceso para la identificación de la muestra.	49
13	Liquen Parmotrema andinum	50
14	Preparación para la muestra del liquen.	50
15	Microscopio electrónico de Barrido Ambiental	52
16	Gráfico de la Relación entre el Tamaño y la Orientación de la Zona Teatino 1.	60
17	Gráfico de la Relación entre el Tamaño y la Inclinación Zona Teatino 1.	62
18	Gráfico de la Relación entre el Tamaño y la Altitud Zona Teatino 1.	64
19	Gráfico de la Relación entre el Tamaño y la Distancia al mar Zona Teatino 1.	66
20	Gráfico de la Relación entre el Tamaño y la Orientación Zona Teatino 2.	68
21	Gráfico de la Relación entre el Tamaño y la Pendiente Zona Teatino 2.	70
22	Gráfico de la Relación entre el Tamaño y la Altitud Zona Teatino 2	72

23	Gráfico de la Relación entre el Tamaño y la Distancia al mar Zona Teatino 2.	74
24	Espectroscopia de Energía Dispersa-EDS, análisis de la muestra T1-M01/centro.	76
25	Resultados representados en imágenes LFD, SSD y MIX de la muestra T1-M01/Centro	77
26	Espectroscopia de Energía Dispersa-EDS, análisis de la muestra T1-M01/mitad.	78
27	Resultados representados en imágenes LFD, SSD y MIX de la muestra T1-M01/mitad	79
28	Espectroscopia de Energía Dispersa-EDS, análisis de la muestra T1-M01/periferia	80
29	Resultados representados en imágenes LFD, SSD y MIX de la muestra T1-M01/periferia	81
30	Espectroscopia de Energía Dispersa-EDS, análisis de la muestra T2-M02/centro.	82
31	Resultados representados en imágenes LFD, SSD y MIX de la muestra T2-M01/centro	83
32	Espectroscopia de Energía Dispersa-EDS, análisis de la muestra T2-M01/mitad.	84
33	Resultados representados en imágenes LFD, SSD y MIX de la muestra T2-M01/mitad	85
34	Espectroscopia de Energía Dispersa-EDS, análisis de la muestra T2-M02/periferia	86
35	Resultados representados en imágenes LFD, SSD y MIX de la muestra T2-M01/periferia	87
36	Espectroscopia de Energía Dispersa-EDS, análisis de la muestra T2-M04/centro.	88
37	Resultados representados en imágenes LFD, SSD y MIX de la muestra T2-M04/centro	89
38	Espectroscopia de Energía Dispersa-EDS, análisis de la muestra T2-M04/mitad.	90

39	Resultados representados en imágenes LFD, SSD y MIX de la muestra T2-M04/mitad	91
40	Espectroscopia de Energía Dispersa-EDS, análisis de la muestra T2-M04/periferia	92
41	Resultados representados en imágenes LFD, SSD y MIX de la muestra T2-M04/periferia	93
42	Espectroscopia de Energía Dispersa-EDS, análisis de la muestra Mitad/Puntual 1	94
43	Resultados representados en imágenes LFD, SSD y MIX de la muestra Mitad/Puntual 1	95
44	Espectroscopia de Energía Dispersa-EDS, análisis de la muestra Mitad/Puntual 2.	96
45	Resultados representados en imágenes LFD, SSD y MIX de la muestra Mitad/Puntual 2	97
46	Espectroscopia de Energía Dispersa-EDS, análisis de la muestra HAB-ME3/centro.	98
47	Resultados representados en imágenes LFD, SSD y MIX de la muestra HAB-ME3/centro	99
48	Espectroscopia de Energía Dispersa-EDS, análisis de la muestra HAB-ME3/mitad.	100
49	Resultados representados en imágenes LFD, SSD y MIX de la muestra HAB-ME3/mitad.	101
50	Espectroscopia de Energía Dispersa-EDS, análisis de la muestra HAB-ME3/periferia	102
51	Resultados representados en imágenes LFD, SSD y MIX de la muestra HAB-ME3/periferia	103
52	Mapa del lugar de estudio en la zona Arqueológica de Teatino-Reserva Nacional Lomas de Lachay.	123
53	Ubicación del sitio de trasplante y la ladrillera Rex.	124
54	Ubicación de la Reserva Nacional Lomas de Lachay.	125

RESUMEN

El presente estudio de investigación se realizó en la zona Arqueológica de Teatino-Reserva Nacional Lomas de Lachay, ubicado en el Distrito de Huacho, Provincia de Huaura, Departamento de Lima. El objetivo del estudio fue evaluar la calidad del aire mediante la líquenobiota saxícola en la zona Arqueológica de Teatino-Reserva Nacional Lomas de Lachay, analizando a través de la Microscopía Electrónica de Barrido ambiental (MEBA) muestras de líquenes de la especie *Parmotrema andinum*; los resultados del análisis evidencian la presencia de metales pesados acumulados en los líquenes tales como: Aluminio (Al), Hierro (Fe), Bario (Ba), Titanio (Ti) y Azufre (S), expresados en ppm (partes por millón) siendo este último un elemento tóxico; sin embargo, no fueron los resultados esperados en esta investigación, debido a que estos metales y elementos no forman parte de la emanación gaseosa de vehículos que circulan por la zona de estudio, no se desestima la capacidad de absorción del líquen ya que se encontraron concentraciones máximas para la zona Teatino 2 (zona contaminada) y Habich (zona de alto tránsito vehicular). Adicionalmente se correlacionó variables como, orientación, inclinación, altitud y distancia al mar, para conocer cómo influyen en el crecimiento y desarrollo del líquen, encontrando influencia en variable Tamaño-Altitud solamente para la Zona Teatino 1.

Palabras claves: calidad del aire, líquenes, MEBA, correlación.

I. INTRODUCCIÓN

La Zona Arqueológica de Teatino pertenece a la Reserva Nacional Lomas de Lachay, le corresponde al Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado (SINANPE), conservar una muestra del ecosistema de lomas costeras que guarda especies únicas. Sin embargo, la contaminación del aire es un proceso inevitable en esta zona por la proximidad que tiene con la carretera Panamericana Norte que presenta un alto tránsito vehicular por presencia de camiones de carga pesada, que es habitual por ser principal vía de acceso a otras ciudades, son la principal herramienta de transporte de las industrias que se localizan a lo largo de la carretera además en las cercanías de la zona Arqueológica de Teatino, existe un transepto habilitado por las empresas que comercializan la venta de aves domésticas, que son transportadas para su distribución, en camiones de carga pesada, las plumas de estas aves son quemadas en el lugar causando así un gran impacto en la zona.

La importancia de mantener una buena calidad del aire es indispensable ya que es uno de los elementos más significativos para la vida humana y de todos los seres vivos. Martínez (2009), “indica que la respiración es una de las actividades más necesarias para la vida de cualquier ser vivo, además el aire es vital para el funcionamiento del planeta pues gracias a la composición de este, se mantienen unas condiciones adecuadas de humedad y temperatura”. No solo a los seres humanos les afecta el estado de la contaminación atmosférica; otros seres vivos, como los líquenes, también sufren por ello. Sus poblaciones aumentan o disminuyen su densidad de acuerdo con la presencia

de factores adversos en la atmósfera, llegando incluso a pagar un precio muy alto por la desmedida actividad humana, precio que incluye la muerte. “Cuando la contaminación atmosférica es baja, los líquenes se desarrollan normalmente y es común observarlos viviendo sobre los troncos de los árboles o de las rocas. Cuando esa contaminación es alta, su población disminuye o desaparecen del todo” (Méndez y Fournier, 1980).

“Los líquenes tienen un importante papel como bioindicador de lectura inmediata de la contaminación, actualmente se conoce, que además del dióxido de azufre, una amplia gama de otros compuestos (amoníaco, fluoruros, el polvo alcalino, metales y metales radioactivos, hidrocarburos colorados), así como la eutrofización y la lluvia ácida, pueden ser detectados y monitoreados utilizando los líquenes” (Hawksworth et al., 2005).

Por esta razón, en este estudio se evaluó la calidad del aire mediante la líquenobiota saxícolas en la zona Arqueológica de Teatino ubicada en la Reserva Nacional Lomas de Lachay. Esto permitió conocer el estado de la calidad del aire en el lugar.

II. PROBLEMA

2.1. Descripción del problema

En el año 2008 la Reserva Nacional Lomas de Lachay (RNLL) fue declarada en peligro por contaminación, en un reporte realizado en ese entonces por el INRENA; como resultado la basura procedente de la comunidad de Sayán, de los residuos de las granjas y la quema de plumas de las aves que se encuentran en este lugar, además de las emisiones de partículas suspendidas de los camiones de carga pesada; todos causan daños considerables, afectando la calidad del aire en la reserva, principalmente en la Zona Arqueológica de Teatino.

En la carretera Panamericana Norte, el intenso tráfico vehicular afecta a esta zona por su cercanía, siendo esto una alarmante fuente de contaminación del aire, “las emisiones procedentes de los escapes de los vehiculos que emanan monóxido de carbono, óxido de nitrógeno y dióxido de carbono que son liberados a la atmósfera en importantes cantidades” (Puerto & García, 2008).

En tal sentido, en el presente estudio se plantea evaluar la calidad del aire mediante la liquenobiota saxícolas en la zona Arqueológica de Teatino, lugar que se encuentra ubicado dentro de la Reserva Nacional Lomas de Lachay; puesto que los líquenes son utilizados como indicadores biológicos de la calidad del aire, la razón principal de realizar la evaluación en esta zona es porque se encuentra más expuesta a fuentes contaminantes procedente de las

emisiones de los vehiculos que transportan por la carretera Panamericana Norte y su cercanía a las granjas que queman las plumas de las aves de corral.

2.2. Definición del problema

¿Cuál es la calidad del aire en la zona Arqueológica de Teatino-Reserva Nacional Lomas de Lachay determinada por la liquenobiota saxícola?

III. HIPÓTESIS

3.1. Hipótesis general

Con el análisis de la liquenobiota saxícola se conocerá la cantidad de metales pesados y la situación de la calidad del aire en la zona Arqueológica de Teatino-Reserva Nacional Lomas de Lachay.

3.2. Hipótesis alterna

Existe alta cantidad de metal pesado en la liquenobiota saxícola que indica la baja calidad del aire en la zona Arqueológica de Teatino-Reserva Nacional Lomas de Lachay.

3.3. Hipótesis nula

No existe presencia de metal pesado en la zona Arqueológica de Teatino-Reserva Nacional Lomas de Lachay analizada en la liquenobiota saxícola.

IV. OBJETIVOS

4.1. Objetivo general

Evaluar la calidad del aire mediante la liquenobiota saxícola en la zona Arqueológica de Teatino-Reserva Nacional Lomas de Lachay.

4.2. Objetivos específicos

- Analizar la liquenobiota saxícola en la zona Arqueológica de Teatino-Reserva Nacional Lomas de Lachay, registrando características como, tamaño, orientación, inclinación, altitud y distancia al mar.
- Cuantificar los metales pesados existentes en la liquenobiota saxícolas tanto en la zona de estudio como en la de un alto tránsito vehicular.
- Correlacionar las características del líquen (tamaño, orientación, inclinación, altitud y distancia al mar) con la presencia de metales pesados.
- Sembrar líquenes en una zona de alto tránsito vehicular en la ciudad de Lima.

V. VARIABLES

5.1. Identificación de variables, indicadores e índices

En este estudio se plantea como variable la calidad del aire y la liquenobiota saxícola, para la variable calidad del aire los indicadores serán representados por Buena, Moderado y Malo, como índice partes por millón (ppm). En la variable Liquenobiota Saxícola los indicadores serán longevos, estándar y pequeño y como índice centímetros cuadrados (cm²).

5.2. Operacionalización de las variables

Cuadro 1.- Operacionalización de las variables para el estudio

VARIABLES	INDICADORES	INDICE
Calidad del aire	Buena Moderado Malo	ppm
Liquenobiota saxícola	Longevos Estándar Pequeño	cm ²

VI. MARCO TEÓRICO

6.1. Antecedentes

6.1.1. Estudio de Liqueenes a nivel internacional

Canseco et al (2006), en un estudio realizado en la ciudad de La Paz, Bolivia; “concluyó que los lugares sin contaminación se caracterizan por el poco tráfico vehicular, usencia de industrias y por sus grandes superficies con vegetación, en estos lugares la diversidad de liquen es mayor, mientras en áreas céntricas de la ciudad de La Paz, por el tráfico vehicular pesado, mas las pocas areas verdes, se convierten en una zona desértica de liquenes, con IPA's bajos que tienden a cero (zonas de contaminación muy alta)”.

Lavornia (2009), para su investigación en la ciudad de Tandil, Argentina, utilizó una red de monitoreo del aire valiendose de los liquenes como bioindicadores de la contaminación atmosférica, para lo cual empleó cuatro versiones de IPA en sustratos saxícolas para lo cual aplico ciertos parametros para su evaluación, determinando de esta manera los niveles de calidad del aire en esta ciudad. Tambien (Lijteroff, *et al*, 2009), evaluaron la calidad del aire en la ciudad de San Luis Argentina; usando comunidades de liquenes como bioindicadores, seleccionando siete areas dentro de la ciudad de este modo determinaron en seis de estos los niveles de contaminación alcanzada por contraste con la septima area, ubicados en la ciudad de Juana Koslay a 6 km al este, destinandose como area de control, utilizando como metodología el Índice de Pureza Atmosferica.

Rivera (2008), comenta en un estudio en el pueblo de Guayama, Puerto Rico, que la zona del pueblo con mas industrias y tráfico vehicular resultó ser

en la que menos diversidad de líquenes se encontró. Siendo la zona norte una carente de industrias, poco movimiento vehicular y la zona con mayor diversidad de líquenes. Por lo que muestra una relación directa entre la presencia de industrias y el tránsito vehicular con la diversidad y la cantidad de líquenes.

Chiarenzelli *et al* (1997), “evaluaron la liquenobiota saxícolas, en el distrito de Keewatin en Canadá, analizaron 12 especies de líquenes, donde encontraron presencia de arsénico (As), cadmio(Cd), cromo (Cr), cobre (Cu), níquel (Ni), plomo (Pb), antimonio (Sb), vanadio (V) y zinc (Zn). Comparados con 7 subsustratos, llegaron a la conclusión que esto no es una fuente significativa de metales pesados y que los líquenes del tipo crustoso son acumuladores mas eficientes, demostraron de esta manera la capacidad que tienen los líquenes como bioacumuladores mas eficientes”.

Boamponsem, *et al* (2010), “analizaron la presencia de metales pesados por activación neutronica instrumental, en una minera de oro en Tarqwa-Ghana, usando líquenes del género *Parmelia sulcata*, revelando así niveles alevados de antimonio (Sb), manganeso (Mn), cobre (Cu), vanadio (V), aluminio (Al), cobalto (Co), Mercurio (Hg), cadmio (Cd) y arsénico (As), llegando a la conclusión que estas concentraciones provienen de: las actividades agrícola, polvo natural del suelo y de las actividades extractivas de oro”.

Kularatne & De Freitas (2013), “evaluaron en la zona metropolitana de Aucqland, Nueva Zelanda el desempeño del líquen *parmotrema reticulatum* como biomonitores de la contaminación del aire en presencia de cuatros metales pesados: cromo(Cr), cobre(Cu), plomo(Pb) y zinc (Zn). Considerando que un sitio se encuentra en aires relativamente limpio, y otros con presencia de mayor

contaminación dentro de áreas residenciales, comerciales e industriales. Para el análisis estos fueron evaluados durante un periodo de dos años y utilizaron metodología de biomonitorio activo y pasivo; analizaron en el talo las concentraciones de metales pesados. Posteriormente lograron demostrar que los líquenes son acumuladores de manera continua los contaminantes, siendo las zonas industriales las que poseen la acumulación mas alta de los cuatro metales pesados, seguida de las zonas comerciales y residenciales respectivamente”.

6.1.2. Los líquenes como bioindicadores de la contaminación atmosférica en el Perú.

En un estudio realizado en Lima Metropolitana (Tovar & Aguinaga, 1994), “sostienen que hasta ese año no existían antecedentes sobre investigación de líquenes como bioindicador de contaminación ambiental en el Perú, puesto que esto sería la primera investigación de líquenes en el país, donde concluyeron que en los lugares densamente poblados, con gran tránsito vehicular, los líquenes desaparecieron casi por completo, de las cortezas de los árboles y de los techos de las casas, comprobadas en las principales avenidas del centro de Lima y las adyacentes a la zona industrial”. Sin embargo encontraron algunos líquenes, en zonas de menor tránsito automotor y de contaminación decreciente, como en el parque Chabuca Granda de Barranco, el campus de la Universidad Católica, el parque de las Leyendas en San Miguel. La desaparición de los líquenes es una señal de aumento en la concentración del dióxido de azufre en el aire y esto coincide con el mayor tránsito vehicular, cercanas a fábricas y otros contaminantes. En efecto podemos decir que la presencia del SO₂ determina la distribución de los líquenes

Beteta (2015), en una evaluación realizada en el campus de la Universidad Nacional Agraria de la Selva “sostuvo que la calidad del aire en esa zona es regular según la clasificación de (Rivera, 2008), con un 42% de líquenes crustoso obtenidos en los resultados de su evaluación”. Quispe (2002), estudió a los líquenes como bioindicadores de la calidad del aire en la ciudad de Tingo María, desarrolló el método de cartografía de líquenes, basados en la utilización de líquenes como organismos bioindicadores de la calidad del aire por su sensibilidad frente a cambios en el ambiente, expresados en su frecuencia y abundancia, como resultado de su investigación concluyó que existen niveles de contaminación atmosférica en la zona urbana de Tingo María y tienen estrecha relación con las tasas de flujos vehiculares.

Villanueva (2014), en la ciudad de Tingo Maria evaluó la contaminación en las áreas urbanas mediante la presencia y ausencia de líquenes, determinando el mayor IPA promedio de 25.1 para una de sus zonas que a su vez presentó el menor flujo vehicular, mientras que el menor IPA promedio de 14.9 presentó el mayor flujo vehicular, concluyendo así que efectivamente existen niveles de contaminación atmosférica en la zona urbana de Tingo Maria y tienen estrecha relación con el flujos vehiculares.

Bedregal *et al* (2005), utilizaron especies de líquenes como *Usnea sp* y *Tillandsia capillaris*, para evaluar la calidad del aire en la ciudad de Lima utilizando el método de activación neutrónica, obtuvieron resultados con altas concentraciones de metales pesados, en zonas de actividad industrial y de alto flujo vehicular.

Vargas (2013), registró el Índice de Pureza Atmosférica (IPA) de la zona sur del Parque Nacional Cerros de Amatope (PNCA) alcanzando valores máximos y mínimos de 1,24 y 21,26 respectivamente el cual indica que el Parque Nacional no está contaminada según estos valores, los focos de contaminación y las presiones climáticas han sido determinantes para el análisis de estos resultados.

Cuba & Villacorta (2008), evaluaron la liquenobiota epifita bajo la acción del dióxido de azufre (SO_2), como indicadora de la contaminación atmosférica de la baja troposfera en el Centro Histórico del Cusco, seleccionando un método directo de laboratorio, un método indirecto cualitativo y cuantitativo (IPA), como resultado demostraron, que en áreas más contaminadas, existe menor composición y frecuencia de líquenes registrando un total de 22 especies y 27 géneros, correspondientes a 11 biotipos crustáceos, 27 foliosos, 8 fruticulosos y 3 lepraroides, los resultados del IPA arrojó una contaminación media.

Huaman (2016), en una investigación realizada en la Provincia de Huancayo estimó la riqueza y la abundancia de los líquenes cortícolas mediante el índice de Shannon y calculó la concentración de emisiones (NO_2 , SO_2 y CO_2) comparando estos valores con los estándares de calidad ambiental (ECA) así la concentración de dióxido de azufre en uno de las cuatro estaciones que evaluó fue la única que superó los estándares de calidad ambiental, concluyó de esta manera que a pesar de existir una correlación entre la diversidad de líquenes cortícolas y la calidad del aire, esto no sería estadísticamente significativa.

Valdivia (2017), empleó los líquenes como bioindicadores de contaminación atmosférica en pasivos ambientales mineros, tomando como lugar de estudio el pasivo ambiental minero Santo Toribio, utilizó el Índice de Pureza Atmosférica

(IPA) para el conocimiento de los niveles de contaminación, además realizó estudio de metales pesados con el uso del microscopio electrónico de Barrido ambiental (MEBA) en la especie *Usnea sp*, los valores más bajos de IPA se encontraron en la zona pasivo, adicionalmente, los datos obtenidos producto del análisis estadístico y de metales pesados estuvieron en relación a lo obtenido a través del IPA, reflejando así la baja calidad atmosférica en la zona pasivo y la eficacia del empleo de líquenes como bioindicadores de contaminación atmosférica, del mismo modo (Castillo, 2011), evaluó los líquenes como bioindicador de metales pesados en una zona de pasivo ambiental minero en el distrito de Pampas-Ancash, el análisis de sus muestras en el laboratorio a través de la técnica de Microscopía Electrónica de Barrido Ambiental arrojaron en su mayoría metales pesados como el Hierro (Fe) y Aluminio (Al), además aporta que en esta zona se aprecia un ecosistema devastado, donde pocos organismos vivos pueden sobrevivir.

Díaz (2006), analizó a los líquenes como bioindicador de contaminación en presencia de metales pesados en zonas cercanas a empresas mineras en áreas andinas llegando a la conclusión de que existe una carga de metales pesados en el ambiente, los líquenes funcionan como bioacumuladores sumamente eficientes, especialmente los líquenes del tipo folioso, finalmente probó que los líquenes no liberan los metales pesados que acumulan extracelularmente.

Ramires & Cano (2005). realizaron un estudio en la liquenobiota del distrito de Pueblo Libre, Huaylas-Ancash describieron caracteres macroscópico, microscópico y algunos químicos de esta manera identificaron 38 especies,

agrupadas en 28 generos y 17 familias encontrando asi 18 especies como nuevos registrado para Perú siendo esto un aporte importantisimo para nuestro pais.

6.1.3. Estudios en líquenes realizados en la Reserva Nacional Lomas de Lachay

Para la Reserva no existen publicaciones extensas referente a líquenes, sin embargo (Ramírez *et al*, 2003), en resumen, menciona que las lomas son ecosistemas únicos de las costas de Perú y de Chile, si bien las plantas vasculares y en especial las hierbas definen la fisonomía de estas formaciones, los líquenes son componentes que deben merecer un mayor estudio, por su rol en la sucesión ecológica y como indicadores de ambientes no polutos.

La Torres & Ocrospoma (1998), “indican que la flora líquénica de las lomas de Lachay está constituida principalmente por líquenes saxícolas, además cortícolas y terrícolas; mientras que por la morfología del talo son frecuentes los líquenes crustáceos, fruticulosos, foliosos y pulverulentos, se puede concluir que la flora líquénica de las lomas de Lachay presenta una diversidad considerable de líquenes pero que es necesario profundizar los estudios taxonómicos y ecológicos”.

6.1.4. Contaminación del aire en Lima Metropolitana Perú.

Los niveles de contaminación atmosférica promedio registrados para las emisiones de material particulado superaron, de manera significativa, tanto los estándares internacionales del Organismo Mundial de la Salud (OMS) como los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) establecidos por la autoridad nacional. Esto significa un grave riesgo para la salud, sobre todo, para las zonas de Lima Ciudad, Lima Este y Lima Norte que albergan la mayor proporción de la población

y donde se han reportado los máximos niveles de emisión. En Lima el nivel de contaminación atmosférica es casi seis veces superior al máximo “razonable” establecido por la Organización Mundial de la Salud lo que la convierte en la urbe latinoamericana con peores indicadores y en un factor de riesgo para la salud de sus habitantes. En ese sentido, un reciente informe presentado por la OMS advierte que vivir en ciudades donde los niveles son dos veces y medio superior a los recomendados “pone a la población en riesgo de padecer problemas de salud a largo plazo”.

En Lima Metropolitana, las fuentes de contaminación del aire en exteriores incluyen las fuentes móviles, representadas por el parque automotor; las fuentes puntuales conformadas por el sector industrial e institucional; y las fuentes de área, compuestas por el sector comercial, de servicios y municipal. En el caso del NO₂ y el SO₂ en particular, la media anual de emisiones para todo Lima Metropolitana ha decrecido a tasas de 9% y 24% al año, respectivamente. Asimismo, los niveles de emisión promedio, según área de monitoreo, se han mantenido por debajo de los niveles sugeridos por los Estándares de Calidad Ambiental Nacional (ECA). Sin embargo, dichos estándares se sitúan por encima de los estándares de calidad del aire recomendados por organizaciones internacionales. En el caso del SO₂, si bien se observa que, en los últimos años, el nivel de emisiones se ha reducido de manera importante, los distritos de mayor contaminación se ubican en Lima Ciudad y en Lima Sur. Del total de emisiones registradas de SO₂ en el año 2009, el 36% corresponde a Lima Sur mientras el 24% a Lima Ciudad. (Lamas, 2015).

6.1.5. Monitoreo de la contaminación atmosférica realizada por el SENAMHI.

El monitoreo atmosférico que el SENAMHI efectúa involucra una serie de procedimientos asociados a la recolección o muestreo de contaminantes del aire ambiental. Algunas de las metodologías de tipo genérico para el muestreo de contaminantes atmosféricos son el muestreo pasivo (método de jarras, placas, tubos pasivos, etc.) y automático (analizadores basados en principios de quimiluminiscencia, fotometría, espectrofotometría, fluorescencia). Realizan el monitoreo pasivo del polvo atmosférico ó contaminantes sólidos sedimentables (CSS) a través de campañas mediante la unidad móvil de monitoreo y la estación fija de calidad de aire de la sede central; el monitoreo automático de los gases lo realizan a través de una red de puntos de muestreo distribuidos adecuadamente en la capital (SENAMI, sf).

El índice de calidad del aire (ICA) se basa en valores establecidos por los estándares nacionales de calidad ambiental del aire y los niveles de alerta nacional de contaminantes del aire (MINAM, 2015). Para establecer la categoría global de cada estación se utiliza el índice mas elevado de los contaminantes monitoreados, representados en los **Cuadros 2 y 3**. La información del índice de calidad del aire permite que las personas puedan conocer y entender mejor el estado de la calidad del aire que respiran, pues además se indican los riesgos que implican y las recomendaciones que deben tomar (MINAM, op cit) **Cuadro 4**

Cuadro 2.- Índice de calidad del aire para material particulado (PM10).

Índice de calidad del aire	PM ₁₀	
	(µg/m ³)	
0 - 50	0 - 50	0 – 75
51 - 100	51 - 100	76-150
101 - 167	101 - 167	151-250
>167	>167	>250

Fuente: Resolución Ministerial 112-2015-MINAM.

Cuadro 3.- Índice de calidad del aire para material particulado PM_{2.5}.

Índice de calidad del aire	PM _{2.5}	
	(µg/m ³)	
0 - 50	0 - 50	0 – 12.5
51 - 100	51 - 100	12.6-25
101 - 500	101 - 500	25.1-125
>500	>500	>125

Fuente: Resolución Ministerial 112-2015-MINAM

Cuadro 4.- Clasificación del estado de la calidad del aire.

Estado de la calidad del aire	Riesgo	Recomendaciones
BUENA	La calidad del aire se considera satisfactoria y no representa ningun riesgo.	La calidad del aire es aceptable y cumple con el ECA de aire. Se puede realizar actividades al aire libre
MODERADO	Las personas de los grupos sensibles (niños, personas de la tercera edad, embarazadas, personas con enfermedades respiratorias y cardiovasculares crónicas) podrían experimentar algunos síntomas respiratorios.	La calidad del aire es aceptable y cumple con el ECA de aire. Se puede realizar actividades al aire libre con ciertas restricciones para los grupos vulnerables.
MALA	Las personas de los grupos sensibles podrían experimentar daños a la salud. La población en general podría sentirse afectada.	Mantenerse atento a los informes de calidad del aire. Evitar realizar ejercicio y actividades al aire libre.
UMBRAL DE CUIDADO	Toda la población puede verse afectada en su salud.	Implementar estados de alerta.

Fuente: Resolución Ministerial 112-2015-MINAM

6.2.1. Descripción general de los líquenes

Enzenberg (2000); hace mención en el Dictionary of The Fungy, un “líquen es una asociación simbiótica autosuficiente de un hongo (micobionte) y un alga (fotobionte); sin raíces, hojas o flores, que toman el agua y sus nutrientes fundamentalmente a partir de la atmósfera; ambos obtienen beneficio, el alga genera sustancias orgánicas producidas en la fotosíntesis y agua del medio; y el hongo nutrientes y minerales; también plantea que los líquenes son realmente hongos que han adaptado un modo de vida en asociación con algas microscópicas o cianobacterias, y que esta estrategia, es de gran éxito desde el punto de vista evolutivo, ya que les ha producido una gran diversificación en el número de especies; y que se encuentran en casi todas las partes del globo terrestre, tapizando las superficies de rocas, corteza de troncos y ramas, claros del suelo, vidrio, cemento, tejas, monumentos, etc”.

Por otro lado Broad (1989), “indica que las células del alga por medio de fotosíntesis proveen la nutrición orgánica del líquen mientras que los tejidos del hongo absorben agua, nutrientes y gases del ambiente, además de cumplir una función estructural y de protección”. Respecto a su ecología (Redon, 1985), “señala que los líquenes han desarrollado una gran plasticidad permitiéndose ocupar variados sustratos, como (líquenes saxícolas) o cortezas (líquenes epífitos cortícolas), en las más diversas zonas climáticas del planeta”.

Distribución

Según Enzenberg (2000), “los líquenes cubren el 8% de la superficie terrestre, y estima que hay en el mundo unas 20 mil especies, los líquenes crecen muy lentos y se adaptan a condiciones muy variadas por ello colonizan todas las zonas climáticas de la tierra”. Barreno & Pérez, (2003), “indica que los líquenes tienen una amplia distribución que abarcan desde los polos al Ecuador”.

Tipos

“Los líquenes por su aspecto externo han sido clasificados en tres grupos bien definidos” (Barreno,1997; Lijteroff *et al.*, 2009 y Burgart *et al.*, 2013).

- Crustáceos: siempre en estrecho contacto con el sustrato del cual no se pueden separar sin ser destruidos. Carecen de córtex inferior o de órganos de sujeción: se sujetan al sustrato por medio de la médula o de un hipotalo.



Figura 1.- Líquenes crustáceos saxícolas de la Reserva Nacional Lomas de Lachay.

- Foliosos: generalmente laminares, tendidos sobre el sustrato, estratificados, con organización dorsoventral y cara inferior diferenciada. Sus lóbulos son separables del sustrato al cual pueden estar muy o laxamente adheridos, pero siempre constan de algún órgano de sujeción como rizinas.



Figura 2.- Liqueños foliosos saxícolas de la Reserva Nacional Lomas de Lachay.

- Fruticulosos: sobresalen siempre al sustrato que sujetan a veces por una mínima superficie, discos basales o hapterios. Por lo general son distintamente ramificados, con aspecto de pequeños arbustos o bien con lóbulos que se estrechan y alargan profundamente. En ocasiones son cortos y casi simples. Pueden ser erectos, colgantes, ascendentes.



Figura 3.- Liqueenes fruticoso saxícolas de la Reserva Nacional Lomas de Lachay.

Taxonomía

Redon (1987), “indica que la sistemática moderna ha ubicado los líquenes dentro del sistema de los hongos (Reino Fungi)”. Son alrededor de 16000 los ascomycetes liquenizados y representan el 99% del total de especies. Estos pertenecen a la división Ascomycota, Clase Ascomycetes y Subclases Ascomycetidae, que se caracteriza por el desarrollo de un sistema de hifas ascogenas y forman ascocarpos. La mayoría pertenece al grupo de hongos ascohimiales y muy pocos grupos de hongos ascoloculares, y la delimitación de sus categorías sistemáticas es la siguiente:

- Familias: los aspectos más importantes son la ontogenia de los ascocarpos, el desarrollo de los tejidos estériles que rodean los ascos, la estructura de los ascos, la forma y color de las esporas, las estructuras vegetativas, el contenido químico y el tipo de alga.
- Géneros: para su identificación, en la actualidad se utiliza la estructura anatómica, el contenido químico y la ontogenia de los ascocarpos.

- Aunque tradicionalmente se utilizaba la forma y color de las esporas, el borde de los ascocarpos, la forma de crecimiento y el tipo de fotobionte.
- Especies: la identificación precisa de esta categoría, reviste una mayor dificultad que en los casos anteriores. En las formas crustosas se utiliza el tamaño y estructura de las esporas; en las formas foliosas y fruticulosas se analiza la presencia de soralios, isidios, cilios, tomento y cefalodios.

Reproducción

Según Morales *et al;* (2009), “los líquenes utilizan varias estrategias reproductivas que se pueden dividir en vegetativa, sexual y asexual. La reproducción vegetativa y asexual de los líquenes es mejor conocida, existen aspectos de su reproducción sexual que aun permanecen desconocidas, como por ejemplo el mecanismo de fertilización. Aún así, la reproducción sexual es la más frecuente en los líquenes, seguida por la vegetativa. La reproducción vegetativa; tiene lugar por la fragmentación del talo, la pérdida de agua por desecación hace que el talo se vuelva frágil, rompiéndose por el viento, facilitando la dispersión de los fragmentos, cada fragmento puede originar un nuevo talo en otro lugar. La reproducción asexual en los líquenes se efectúa mediante la formación de conidios mitóticos de la parte fúngica, muy parecida a la reproducción asexual en hongos no liquenizados, los conidios al encontrarse en condiciones favorables germinan para producir las hifas del micobionte y buscan el fotobionte compatible para formar un nuevo talo”. Para (Rivera, 2002); “la reproducción sexual esta a cargo del hongo, que desarrolla ascocarpos ya sea en forma de apotecio o de peritecio. Los apotecios en forma

de disco abierto, se presentan sobre el talo, mientras que los peritecios se hunden en el y ambos liberan las esporas”.

Fisiología

“Presentan alta tolerancia a circunstancias ambientales desfavorables, y en el momento de desecación ya sea por el sol o por el viento suspenden su actividad, la cual inicia nuevamente al recobrar el agua por medio de la lluvia o del rocío que absorben a través de las rizinas o del tomento. Esta forma de vida intermitente limita su crecimiento, pero les permite vivir en lugares donde difícilmente podría desarrollarse una planta” (Rivera, 2002).

Ecología

Rivera (2002), “señala que la naturaleza del sustrato determinan la distribución y crecimiento de los líquenes; se puede afirmar que crecen sobre cualquier superficie bien iluminada como las rocas, las cortezas de los árboles o el suelo. Aunque no son exigentes con la humedad y la temperatura, si son muy específicos del sustrato en que se desarrollan”.

Habitat

Los líquenes pueden colonizar los sustratos más diversos, aproximadamente el 8% del total de la superficie terrestre está ocupada por los líquenes como vegetación dominante. Han sido hallados sobre plásticos y vidrios. Presentan una gran resistencia a factores ambientales adversas o extremos, como frío, calor o desecación. De acuerdo al sustrato donde se encuentran se denominan:

- Cortícola: si crecen sobre la corteza de los árboles.
- Saxícolas: si crecen sobre rocas. Considerando aquí las especies endolíticas y epilíticas
- Terrícolas: ubicados directamente sobre la tierra.
- Muscícolas: encontrados sobre musgos.
- Humícolas: hallados sobre hojas muertas.
- Liquenícolas: hallados sobre otros líquenes, en este caso se denominan parasimbiontes.
- Foliícolas: encontrados sobre hojas vivas; también pueden ser encontrados sobre animales (insectos, crustáceos, perezosos, ranas, tortugas, etc), que en su mayoría los utilizan para mimetizarse.

6.2.2. Los líquenes como bioindicadores de la calidad de la atmósfera

Bedregal *et al.*, (2005), "indica que al ser empleados los líquenes como bioacumuladores para medir el estado de la atmósfera, los científicos recurren a la fisiología de los líquenes, dado que acumulan metales pesados que toman de la atmósfera, esto se debe a su capacidad de acumularlos en los espacios intercelulares y al intercambio catiónico: la carga negativa de los constituyentes de sus paredes celulares establecen enlaces iónicos con los elementos catiónicos solubles del aire".

Son muchos los metales que se han estudiado en las células de los líquenes: Aluminio (Al), Arsenico (As), Boro (B), Cadmio (Cd), Calcio (Ca), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Hierro (Fe), Plomo (Pb), Magnesio (Mg), Manganeso (Mn), Mercurio

(Hg), Niquel (Ni), Fosforo (P), Potasio (K), Sodio (Na), Azufre (S) y Zin (Zn). Los metales llegan hasta los líquenes a través de varias fuentes, el As (arsénico) proviene de la actividad minera industrial, el V (vanadio) se debe a la emisión de gases producto de la combustión del petróleo por los vehículos pesados, el Al (aluminio) es el resultado de la fabricación industrial de utensilios, envases, materiales de construcción y pinturas, el Pb (plomo) resulta de la combustión vehicular de los derivados del petróleo² (Hawksworth *et al.*, 2005), el U (uranio) es debido a emisiones radioactivas (Golubev *et al.*, 2005), el Co (cobalto) es emitido por la industria metalúrgica; mientras que las concentraciones de Mn (magnesio) y Zn (zinc) pueden estar relacionadas principalmente con las emisiones industriales como las del acero (Bernasconi *et al.*, 2000), el Zn también puede ser liberado al ambiente por el desgaste de los motores de vehículos, la abrasión de los neumáticos (Bernasconi *et al.*, 2000), y la quema de neumáticos viejos (Fuga *et al.*, 2008). El Cd (cadmio) es liberado por el desgaste normal sufrido por los neumáticos y por la industria del acero (Jeran *et al.*, 2002).

“Los compuestos de NO_x (óxido de nitrógeno) son más altos en las zonas cercanas a las fábricas de cemento y plantas químicas” (Weissman *et al.*, 2006).

“Los compuestos de SO_x, CO y CO₂ proceden de la combustión del carbón y del petróleo, de la industria metalmeccánica, de la combustión vehicular” (Cepeda y Garcia, 1998) y de “otras industrias como las plantas de energía térmica que emiten SO₂ a la atmósfera” (Policnik *et al.*, 2008). “Los procesos de combustión del tráfico vehicular, el sector industrial y la calefacción del hogar son los principales responsables de la generación de hidrocarburos aromáticos policíclicos” (Domeño *et al.*, 2006)

“Los contaminantes más comunes dentro de las ciudades son el dióxido de azufre (SO₂), los óxidos de nitrógeno (NO₂), el ozono, las partículas en suspensión, los metales pesados y los compuestos químicos orgánicos como el benceno y los hidrocarburos aromáticos policíclicos” (Anze *et al.*, 2007). “El aumento en la atmósfera de NO_x, SO_x y CO₂, contribuye a que el pH natural de la lluvia (entre 5 y 5,7) sea menor a 5. Esto se debe a que el contenido de dióxido de carbono (CO₂), al entrar en contacto con la humedad atmosférica, forma ácido carbónico y hace el pH mas ácido, situación que afecta a la densidad de líquenes” (Kett *et al.*, s.f). el “SO₂ presente en la lluvia ácida o en la atmosfera produce daños directos e indirectos cuando es absorbido por los líquenes, además también se acumulan altos niveles de sulfatos y bisulfatos en sus tejidos, los cuales producen serios daños al líquen, incapacitándolos para realizar la fotosíntesis, debido a que daña la clorofila; produce decoloración de los talos y separación de estos del sustrato, que sera mayor entre más cerca se ubiquen de la fuente de contaminación; altera la respiración celular, en algunos casos se interrumpe la fijación de nitrógeno y la transferencia de carbohidratos y nutrientes del alga (o cianobacteria) al hongo” (Nimis, s.f.; Kett *et al.*, s.f.; Canseco *et al.*, 2006), “lo que ocasiona la deformación de la estructura del talo y eventualmente causa la muerte” (Lijteroff *et al.*, 2009).

“La eficacia de los líquenes en la evaluación de la calidad del aire deriva de sus características biológicas”; (Méndez & Fournier, op. cit.; Loppi & Pirintsos, 2003).

- Al tiempo que son cosmopolitas como grupo taxonómico, hay muchas especies que se desarrollan en ambientes con características bien definidas;

- Dado que carecen de raíz y de sistemas de conducción, como es el caso de las plantas vasculares que se nutren del suelo, dependen prácticamente de la atmosfera y en menor medida del sustrato como fuentes de agua y nutrientes;
- No poseen estructuras selectivas o portectoras del medio externo (cutícula) que actúan como barrera ante las sustancias del ambiente, por lo que absorben nutrientes y contaminantes a través de gran parte de su superficie, incluyendo partículas y gases contaminantes;
- Poseen una naturaleza simbiótica, una asociación obligada entre hongo y alga en la cual si uno de estos componentes se ve afectado, el efecto, incluyendo la muerte en caso extremo, repercute en el otro;
- Son de crecimiento lento y relativamente longevos, permaneciendo expuestos al efecto nocivo por largos periodos, por lo que proporcionan una imagen de estados crónicos y no de variaciones puntuales del medio ambiente y
- Son organismos perennes, que no pierden porciones como hojas, en el caso de las plantas vasculares, por lo que pueden ser muestreados durante todo el año.

“Las sustancias tóxicas que se acumulan en los líquenes los obligan a romper sus mecanismos homeostáticos, reduciéndose así su capacidad fotosintética que les permite fabricar sus propios alimentos” (Méndez y Fournier, 1980).

“En el año 1960 se descubrió que estos individuos absorben el dióxido de azufre del medio, aproximadamente un 30%, debido a que al estar expuestos a varias repeticiones de sustancias tóxicas llegan a biocumular dicho contaminante el cual

influye negativamente e impide cumplir su rol ecológico (fotosíntesis, fijación de nitrógeno)” (Hawksworth *et al.*, 2005; Froehlich, 2006). “Estos procesos llegan a causar daños en la estructura física (deformaciones) de estos organismos hasta provocar la muerte del mismo. Apartir de eso se empezó a tomar en cuenta a los organismos liquenicos como bioindicadores de la calidad ambiental ya que son sensibles al dióxido de azufre (SO₂) y gases fluorados (F)” (Froehlich, *op. cit.*).

Rubio *et al.*, (2002), “menciona que los líquenes son usados como indicadores de radiación U-V”; y Barreno (2003), “indica que también poseen reacciones de tolerancia al contaminante, características que los destacan como bioindicadores por excelencia”.

“Los líquenes se utilizan para monitoreo de contaminación atmosférica, tanto como indicadores de reacción visible (demuestran síntomas visibles frente a una cantidad determinada de tóxicos) o como indicadores de acumulación (no muestran daños visibles frente a una determinada cantidad de tóxicos, pero los acumulan en sus falsos tejidos); además, pueden ser utilizados para monitoreo pasivo (análisis de indicadores en sus hábitats naturales) o para monitoreo activo (introducción de especie desde un hábitat no contaminado o un área de observación que se presume contaminada)” (Rubio *et al.*, *op. cit.*).

Cambio climático empleando líquenes

“El clima es un factor que influye en la diversidad de líquenes” (Lijteroff *et al.*, 2009); razón por la cual los líquenes son usados para estudiar el cambio climático presente en la tierra.

“Los líquenes se han empleado en los estudios que investigan el deshielo en las áreas polares (la Antártica y el Ártico), dado que cuando el hielo retrocede, los

líquenes colonizan las zonas que han quedado descubiertas” (Fernández, 2007) áreas rocosas cubiertas por líquenes saxícolas o pupículas. También son útiles para determinar la actividad del fuego en un bosque, pues después de un incendio no se recupera con facilidad la composición de flora y comunidades líquenicas existentes antes del incendio. “La sucesión de recolonización de las especies de líquenes es un bioindicador de recuperación de los bosques incendiados” (Hawksworth *et al.*, 2005). Giordani (2007), que “ha investigado la influencia significativa de predictores climáticos y factores de perturbación en líquenes epífitos, llegó a la conclusión de que su distribución depende tanto del sustrato y del ambiente como otros factores relacionados”.

6.2.3. Importancia de los líquenes

Valencia & Ceballos (2002), “establecen que las especies que se escogen como bioindicadoras deben de ser de amplia distribución, fácilmente reconocibles, con buena tolerancia y biomasa suficiente, las razones por las cuales los líquenes se están utilizando para este tipo de investigación, es por su gran sensibilidad, estrechamente relacionadas con su biología, ya que la alteración del balance simbiótico entre el fotobionte y el micobionte puede evidenciarse con rapidez, por la ruptura de la asociación simbiótica líquénica; esta separación no solo ocurre por la presencia de sustancias en concentraciones tóxicas, sino también, por la alteración de las sustancias nutritivas a favor de uno o de otro de los componentes. No todos los líquenes son igualmente sensibles a la contaminación aérea y diferentes especies muestran una marcada diferencia en este aspecto”.

“Anatómicamente los líquenes no poseen estomas ni cutícula, lo cual significa que los gases y aerosoles se puedan absorber por el talo y difundirse rápidamente

hacia el tejido donde esta el fotobionte. La ausencia de estas estructuras tampoco les permite excretar las sustancias tóxicas, o la selección de las sustancias que absorben lo cual hace que los gases al igual que el agua de lluvia sean absorbidos en toda su superficie” (Valencia & Ceballos, 2002).

“La actividad humana desmedida genera agentes contaminantes en la atmósfera que pueden producir respuestas adversas sobre la vida en el planeta de acuerdo con su combinación, concentración, y permanencia en el ambiente” (Rubiano & Chaparro, 2006). De acuerdo con estos autores, se entiende como agente contaminante aquel factor físico, sustancia química o biológica, o forma de energía que al estar presente durante un tiempo y en una concentración suficiente produce un efecto negativo medible en los seres vivos y los ecosistemas. Estos efectos son inicialmente invisibles al ojo humano por presentarse a escala bioquímica, fisiológica o microscópica. Eventualmente causan efectos visibles hasta llegar a la extinción local o regional de algunas especies.

6.2.4. Fuentes de contaminación del aire

- Fuentes naturales: “los procesos naturales que afectan la calidad del aire influyen las actividades volcánicas, que produce partículas de sulfuro, clorina y ceniza; los fuegos forestales que producen humo y monóxido de carbono. El ganado y otros animales producen metano como parte de su proceso digestivo” (NESTA, 2000).
- Fuentes domésticas: “Las áreas residenciales son las causas principales de las emisiones. Las emisiones que provienen de chimeneas u hornos domésticos, sistemas de calefacción, eliminación de residuos sólidos incinerados por combustión” (Rojas, 2015).

- Fuentes comerciales: “restaurantes, hoteles, imprentas y la aplicación de pinturas generan mayormente hidrocarburos clorados, que cuando se queman desprenden cloro, el cual se hidroliza rápidamente en la atmosfera o ácido clorhídrico, un contaminante muy corrosivo que también daña la vegetación sensible a concentraciones muy bajas y contribuye a la lluvia ácida” (Rojas, 2015).
- Fuentes industriales: “son las más notorias, cualquier operación de combustión a alta temperatura produce óxidos de nitrógeno (NOx), entre las fuentes están las plantas de fabricación de fertilizantes y explosivos. Los óxidos de azufre (SOx) principalmente se emiten como SO₂ en la combustión de hidrocarburos y carbón” (Rojas, 2015).
- Fuentes por transporte: “el sector del transporte genera alrededor de un tercio de las emisiones totales de COV, óxidos de nitrógeno y plomo, más de dos tercios de CO₂, el CO₂ y los COV son productos de una combustión ineficiente. Las emisiones del COV provenientes de los motores se pueden controlar empleando reactores catalíticos e inyectando aire para quemar los hidrocarburos que se emiten en la zona de altas temperaturas. Se alienta el uso de combustibles oxigenados para reducir las emisiones de COV. Es necesario reducir la emisión de óxido de nitrógeno para aminorar las emisiones de precursores de smog fotoquímico y lluvia acida, esto se logra reduciendo la temperatura de combustión” (Henry & Heinke, 1999)

Elementos potencialmente tóxicos

Las partículas ricas en elementos potencialmente tóxicos pueden ser partículas emitidas durante procesos industriales debido a la quema de combustibles de fósiles, fabricación de cemento y a las emisiones vehiculares, como escape de gases, abrasión y desgaste de las partes metálicas de la carrocería y motor y desgaste de sistema de frenos.

“La mayoría de los polvos industriales contienen óxidos de hierro como magnetita, maghemita, hematita” (Flanders, 1994); estos minerales se forman durante los procesos tecnológicos a alta temperatura y se acompañan de elementos potencialmente tóxicos. “Los principales elementos asociados a estos procesos son: Arsénico (As), Berilio (Be), Cobalto (Co), Molibdeno (Mo), Niquel (Ni), Plomo (Pb), Antimonio (Sb), Selenio (Se), Estaño (Sn), Zinc (Zn) y Vanadio (V). En particular, las emisiones de MP de las industrias coqueras tienen asociados elementos como: Hierro (Fe), Vanadio (V), Zinc (Zn), Plomo (Pb) y Cobre (Cu). Metales como Plomo (Pb), Cadmio (Cd), Cobre (Cu), Zinc (Zn), Bario (Ba) y Niquel (Ni), están relacionados con las emisiones vehiculares. Las emisiones asociadas a los gases de escapes desde vehículos de combustión interna (nafta y/o diésel) son portadoras de metales como Plomo (Pb), Hierro (Fe), Cobre (Cu), Zinc (Zn), Niquel (Ni) y Cadmio (Cd)”. “La abrasión de los neumáticos sobre la cinta asfáltica es fuente de Zinc (Zn)”, (Lim et al. 2007). “El desgaste del sistema de frenos aporta partículas enriquecidas con Hierro (Fe), Bario (Ba), Carbono (C), Oxígeno (O), Aluminio (Al), Silicio (Si), Azufre (S), Magnesio (Mg), Cobre (Cu), Zinc (Zn) y Cromo (Cr)”, (Chaparro et al. 2010).

Contaminantes y su dispersión.

Un contaminante emitido a la atmosfera es transportado en la dirección del viento predominante y dispersado por movimientos de aire perpendiculares al viento, así como por turbulencia, (Manzur *et al*, 2012).

La concentración de los contaminantes atmosféricos depende fundamentalmente de las condiciones de dispersión de la atmosfera y de las condiciones meteorológicas (turbulencia atmosférica, velocidad y dirección del viento, radiaciones solares, etc.). Diferentes tipos de fenómenos de dispersión de los contaminantes provocan bien acumulación en zonas más o menos alejadas, la estabilidad atmosférica dificulta la dispersión de los contaminantes y, en consecuencia, contribuyen a la acumulación de los mismos cerca de las fuentes emisoras. Existe una relación evidente entre la intensidad del viento y los niveles de concentración de los contaminantes. “La dispersión de los contaminantes aumenta con la velocidad y la turbulencia del viento” (Bustos, 2004).

Contaminantes:

- Dióxido de azufre (SO₂)
- Óxidos de nitrógeno (NO_x)
- Partículas en suspensión
- Ozono troposférico (O₃)
- Compuestos orgánicos volátiles (COV)

- Benceno (C₆H₆)
- Monóxido de carbono (CO)
- Metales pesados.

6.2.5. Distribución de los líquenes en algunos lugares del Perú.

Ramos *et al* (2013), “reportaron un total de 34 taxa de líquenes en Tuctumpaya, Arequipa-Perú. De los que determinaron 29, distribuidos en 24 familias y 27 géneros, además de 5 muestras no determinadas. La familia con mayor representatividad fue la Parmeliaceae (12 especies); los generos mas diversos son *Acarospora* e *Hypotrachyna* cada uno con 2 especies. Los líquenes de tipo crustoso representaron el 47.06% del total de (16 especies), los de tipo folioso el 41, 18 % del total (14 especies), encontrados mayormente en laderas del bosque de *Polylepis rugulosa* “Queñua” y camino al mismo; los de tipo fruticoso representaron el 8,82% del total (3 especies) y el 2.94 %(1 especie) restante pertenece al tipo dimórfico, este último tipo hallado exclusivamente en el bosque”. Mientras que Holgado, *et al* (2007), “en un inventario de líquenes en el santuario histórico de Machupicchu, realizaron colectas usando parcelas permanentes en cada localidad, las muestras fueron llevadas al herbario para su determinación por comparación, claves dicotómicas, bibliografía especializada y ayuda de especialistas. Colectaron líquenes epífitos, epilépticos, terrícolas con biotipo folioso, crustosos y fruticosos y leprarioides, determinandose los siguientes generos: *Anaptychia*, *Chrysothrix*, *Cryptothecia*, *Usnea*, *Ramalina*, *Heterodermia*, *Sticta*, *Pseudocyphellaria*, *Leptogium*, *Collema*, *Phaeophyscia*, *Nephroma*, *Peltigera*, *Punctelia*, *Parmelia*, *Hypotrachyna*, *Psora*, *Parmotrema*, *Psiloparmelia*, *Parmeliopsis*, *Teloschistes*, *Physcia*, *Cladonia*, *Diploschistes*, *Pyxine*, *Phillopsora*,

Stereocaulon, *Umbilicaria*, *Punctelia*, *Cladina*, *Everniastrum*, *Cladia*, *Rimelia*, *Pannaria*, *Lepraria*, *Physconia*, *Caloplaca*, *Baeomyces*, *Dictyonema*, *Candelaria*, distribuidos en 17 familias. Reportándose por primera vez para la flora del Perú: *Cryptothecia*, *Heterodermia*, *Nephroma* y *Phyllobaeis*". Nuñez & Vela (2008), "realizaron colectas aleatorias adicionales, en la biota líquénica de Inkaterra Machu Picchu. Se diferenciaron 92 morfotipos, de los cuales se identificaron 50 especies diferentes entre macro y micro líquenes, agrupados en 26 géneros, 17 familias y 7 órdenes, 34 han sido determinadas hasta especie, mientras que 16 permanecen en género, los líquenes más abundantes son los foliosos y crustosos". Ramírez *et al* (2003), "realizaron una comparación de la floralíquénica de las lomas de Amancaes y Lachay, donde para la colecta y herborización de los especímenes se emplearon técnicas estandarizadas, para ambas lomas se presenta un total de 30 especies, en 22 géneros y 12 familias, además de un grupo imperfecto. Según el tipo de talo hay 11 especies de líquenes crustáceos, 9 foliosos, 9 fruticosos y uno dimórfico. Ambas lomas comparten 6 especies (20 %); 20 están restringidos a las lomas de Lachay (67 %) y 4 a las lomas de Amancaes (13 %), aunque no se descarta que estas también ocurran en Lachay. La menor diversidad de especies en las lomas de Amancaes podría explicarse por la menor área que en la actualidad poseen, así como por la contaminación circundante, ambas debidas al crecimiento urbano, evidenciado este último en el aspecto y coloración de algunos líquenes".

6.2.6. Los ambientes saxícolas: microambientes en roques y canchales

Barreno & Pérez (2003), “indican que las comunidades liquénicas colonizadores de cada uno de estos biotipos estarán en buena parte supeditadas a la situación topográfica de los roquedales: cumbres, collados, circos, sopladuras, fondos de valles, interior de los bosques, corrientes de agua, bordes de laguna, etc. Esta selección de biotipos discriminantes para las comunidades liquénicas no siempre será aplicable a otras áreas no afectadas por las condiciones climáticas de las montañas templadas: altura media de la nieve, presencia frecuente de vientos húmedos, exposición a las ventiscas, iluminación por reflejo de la nieve, etc. Los contrastes térmicos entre las superficies rocosas y el aire pueden elevar la humedad relativa hasta valores cercanos o superiores al punto de condensación, provocando el depósito de rocío, niebla goteante o concellada. En estas circunstancias, los hábitas rupícolas aparentemente inhóspito, se convierten para los líquenes en excelentes hábitas para su desarrollo”.

VII. MARCO CONCEPTUAL

Liquen: “Los líquenes no son individuos en sí mismo, sino más bien el resultado de la asociación de dos o más organismos diferentes siendo uno un hongo (micobionte) y el otro (o los otros) un alga y/o una cianobacteria (fotobiontes)” (Henssen & Jahns 1974; Nash 1996; Purvis 2000; Brodo *et al.* 2001).

Saxícola: Individuo que crece sobre rocas

Calidad ambiental: “Indicador del grado de adecuación del medio ambiente con las necesidades de vida de los organismos vivos, en especial del hombre”. (OCDE, 1993).

Bioindicador: “Es un organismo o conjunto de ellos que muestra la propiedad de responder a la variación de un determinado factor abiótico o biótico del ecosistema” (Molero, s.f.).

Contaminación ambiental: “Todo cambio indeseable en algunas características del ambiente que afecta negativamente a todos los seres vivos. Estos cambios se generan en forma natural o por acción del ser humano” (Aponte, 2003).

Liquenobiota: Conjunto de especies de líquenes que ocupan un área.

MEBA: Microscopía Electrónica de Barrido Ambiental

VIII. MATERIALES Y MÉTODOS

8.1. Lugar de ejecución

El trabajo de investigación se realizó en la zona Arqueológica de Teatino, Reserva Nacional Lomas de Lachay, ubicado en el Distrito de Huacho, Provincia de Huaura, Departamento de Lima.

El acceso a esta reserva es por vía terrestre; la carretera principal es la Panamericana Norte hasta el kilómetro 105 donde se encuentra el desvío hacia el interior de esta área protegida, con altitudes comprendidas entre 100 y 150 msnm.

En la parte norte, bordeando la entrada de la reserva, existe un camino de tierra que permite el acceso a la zona Arqueológica de Teatino, lugar donde se realizó el presente estudio. Los puntos de evaluación tienen las siguientes coordenadas:

Zona Teatino 1: 239593.69 E-8743532.15 S

Zona Teatino 2: 239318.95 E-8742664.34 S

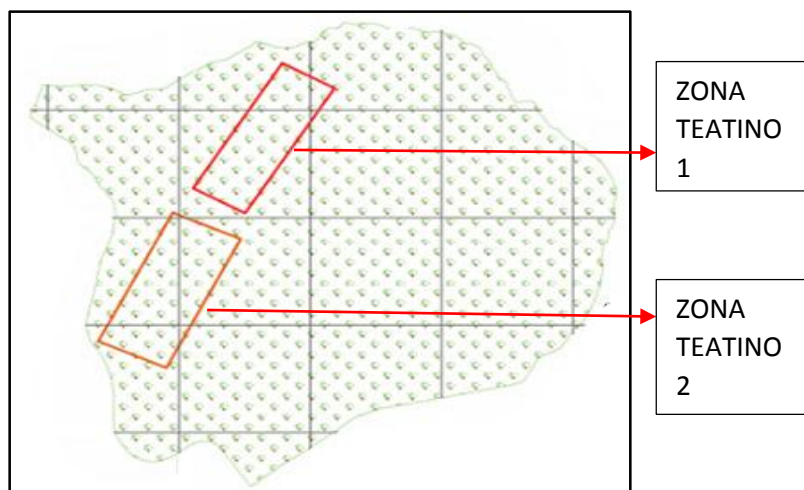


Figura 4.- Ubicación de la zona de estudio, la Zona Teatino 1 se encuentra en el cuadrante de color rojo y la Zona Teatino 2 en el cuadrante color anaranjado.

8.2. Materiales y equipos

- Materiales de campo: clinómetro, formato de campo, papel milimetrado, wincha, cúter, plumón, sobres de papel, lápiz y pilas.
- Equipos de campo: Cámara fotográfica, receptor GPS, radio receptor.
- Materiales de gabinete: Laptop, programas: Google Earth Qgis, Infostat, Microsoft, AutoCad, material de escritorio en general.

8.3. Método

8.3.1. Tipo y nivel de investigación

La investigación fue del tipo descriptivo, correlacional, exploratorio de nivel básico.

8.3.2. Población y muestra

Población: La población estuvo constituida por toda la liquenobiota saxícola de la zona Arqueológica de Teatino.

Muestra: La muestra fue representada por las especies de líquenes frecuentes (Parmotrema).

8.3.3. Análisis estadístico

Para la evaluación estadística que se registró en la recolección de los datos del tamaño de los individuos de la población de líquenes frecuentes (pequeños, estándar y longevos), se aplicó la estadística básica incluyendo la prueba de regresión y correlación para definir si existe relación o no entre el tamaño del líquen y demás variables: orientación, inclinación a la que crece, altitud y distancia al mar; de estos caracteres se obtuvo una tendencia para saber cómo ha

influenciado en el crecimiento el tamaño de los líquenes y correlacionar las características del líquen con la presencia de metales.

Los cálculos se efectuaron utilizando el software libre Infostat.

8.3.4. Procedimiento

8.3.4.1. Fase de pre Campo

Recopilación de Información bibliográfica

La información que se recopiló fueron; imágenes satelitales, revisiones bibliográficas, tesis, artículos científicos, entre otros; referentes a estudios realizados sobre líquenes como bioindicador de la calidad del aire tanto para el Perú como a nivel mundial.

8.3.4.2. Fase de Campo

Delimitación de las parcelas de muestreo:

Se establecieron dos parcelas de medición permanente en la zona Arqueológica de Teatino, la primera denominada “Zona Teatino 1” que sirvió de blanco o patrón por estar más protegida y otra denominada “Zona Teatino 2”, esta última es la que se encuentra cerca de la carretera Panamericana Norte, en cada zona se establecieron 16 puntos respectivamente, teniendo un total de 32 puntos de evaluación (**Ver cuadro 5**), cada punto de evaluación tuvo una dimensión de 200m aprox, el área total aproximado de las zonas de estudio es de 5000 m².

Como ya se mencionó anteriormente se tomaron las dos áreas puesto que cada una presenta características únicas. En la “Zona Teatino 1” los líquenes deben estar menos contaminados ya que se encuentra sin ninguna fuente de perturbación ambiental (**Ver figura 06**). Mientras en la “Zona Teatino 2” se espera encontrar muestras líquénicas con alto contenido de metales pesados, ya que se

encuentra muy cerca de las granjas de aves domésticas que queman las plumas de estas y la carretera panamericana norte vía principal de vehículos de transportes (**Ver figura 06**).

Cuadro 5.- Coordenadas UTM de la dos zonas de evaluación

ZONA	PUNTO	X	Y	ALTITUD
ZONA TEATINO 1	1	0240734	8743253	270
	2	0240594	8743253	260
	3	0240488	8743370	242
	4	0240383	8743438	232
	5	0240263	8743505	219
	6	0240112	8743569	210
	7	0239962	8743569	204
	8	0239816	8743483	200
	9	0239673	8743401	197
	10	0239515	8743269	190
	11	0239363	8743146	185
	12	0239354	8742994	170
	13	0239363	8742821	165
	14	0239331	8742617	174
	15	0239311	8742378	155
	16	0239235	8742220	151
ZONA TEATINO 2	17	0239205	8742058	145
	18	0239232	8741919	143
	19	0239313	8741790	145
	20	0239222	8741594	141
	21	0239139	8741435	132
	22	0239065	8741276	128
	23	0238951	8741116	124
	24	0238982	8740969	120
	25	0238984	8740818	119
	26	0238955	8740634	115
	27	0238917	8740482	112
	28	0238901	8740316	108
	29	0238867	8740148	105
	30	0238836	8740019	101
	31	0238760	8739903	99
	32	0238673	8739823	100



Figura 5.- Ubicación “Zona Teatino 1”. Se aprecia en la figura una zona sin perturbaciones ambientales.



Figura 6.- Ubicación “Zona Teatino 2”. Se muestran en las figuras los posibles impactos ambientales que existen en la Zona Teatino 2, en la parte superior izquierda con círculo rojo se muestra la carretera Panamericana Norte, en la imagen superior derecha se ve la carretera que da acceso a las granjas de aves domésticas y, en la parte inferior, las granjas de aves domésticas y un espacio donde inoportunamente se está convirtiendo en un botadero.

Obtención de datos:

Los datos obtenidos en las dos zonas, permitió conocer el desarrollo normal, respecto a su crecimiento del líquen en su hábitad natural “Zona Teatino 1” (sin contaminación) con la zona contaminada “Zona Teatino 2. **(Ver figura 4).**

- a) Número de roca; indicó el número de roca a ser evaluada.

- b) Número de foto; número de fotografía de las muestras.
- c) Número de individuo; cada una de las especies que fueron evaluadas.
- d) Inclinación; grado de inclinación de la roca que alberga al líquen, con ayuda del clinómetro.
- e) Orientación; se midió la orientación (E, W, N y S) de exposición a la cual crece el líquen, se utilizó como herramienta la brújula.
- f) Distancia; se determinó la distancia desde el mar y/o suelo hasta el punto de evaluación (lugar donde crece el líquen), medidos con el GPS y programa Google Eart.
- g) Altitud; se midió la altitud de la roca a evaluar, con el GPS.
- h) Tamaño; se determinó el tamaño del líquen para ser procesado en el software AutoCad; para esto previamente en campo se tomó una foto del líquen con papel milimetrado para escalarlo en el programa.

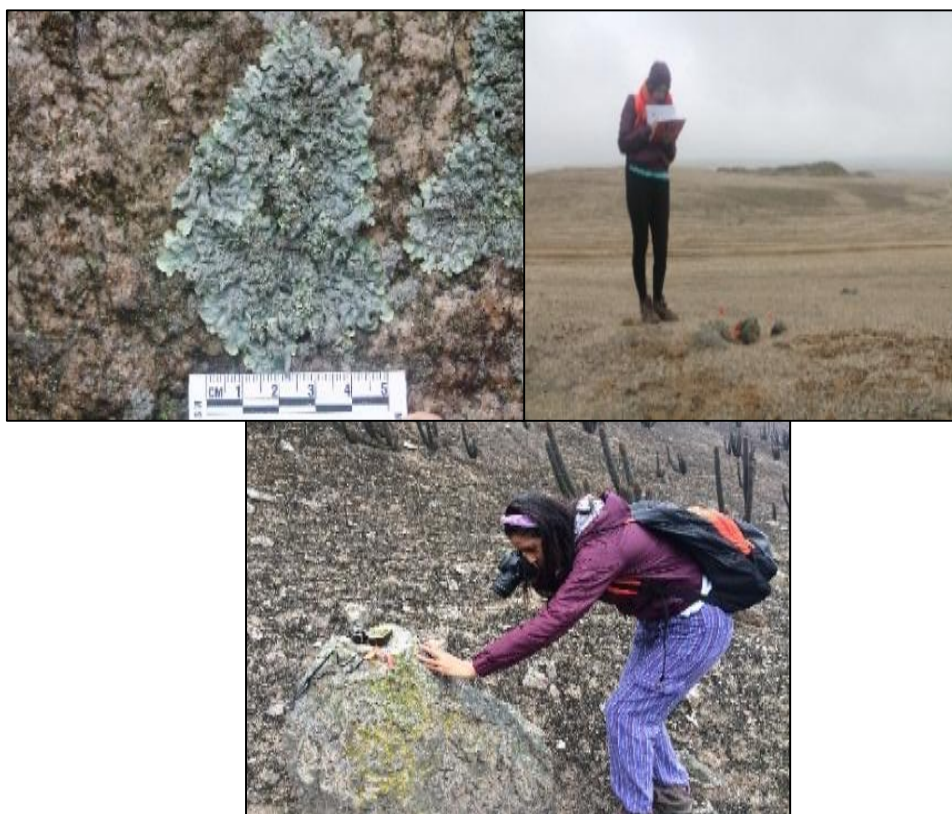


Figura 7.- Registro de datos de campo en la zona de estudio.

- **Colecta y trasplante de líquenes en una zona de alto tránsito vehicular:**

En el mes de agosto del 2017 para complementar la investigación y obtener un rango máximo de contaminación se colectaron líquenes saxícolas (crecen en rocas) de la “Zona Teatino 1” (sitio limpio), estas fueron extraídas con la ayuda de un cúter e introducidas en sobres de papel **(Ver figura 08)**, posteriormente fueron colocadas en una rama amarrada cuidadosamente con hilo nylon, enumeradas para evitar perder la relación en caso las muestras se pierdan, además se tomaron fotografías con papel milimetrado para medir el tamaño de la muestra en el programa AutoCAD, **(Ver figura 09)** para luego ser trasplantadas en una avenida seleccionada como de alto tránsito vehicular el cual fue la av. Panamericana norte con la av. Habich, en la I. E Pedro Paulet Mostajo fueron instaladas en la azotea de esta institución estando así más expuestas a los contaminantes que emanan los vehiculos en este lugar **(Ver figura 10)**. Tuvo dos meses de exposición, fueron almacenadas y refrigeradas para posteriormente ser llevadas al laboratorio para la cuantificación de metales pesados por Microscopía Electrónica de Barrido Ambiental (MEBA).



Figura 8.- Colecta de muestras para trasplante. La imagen muestra la forma en la que fueron colectadas y guardadas las muestras de líquenes, para luego ser trasplantadas.



Figura 9.- Colocación de muestras para trasplante. Muestras de líquenes amarradas con hilo nylon, numeradas y medidas con papel milimetrado.

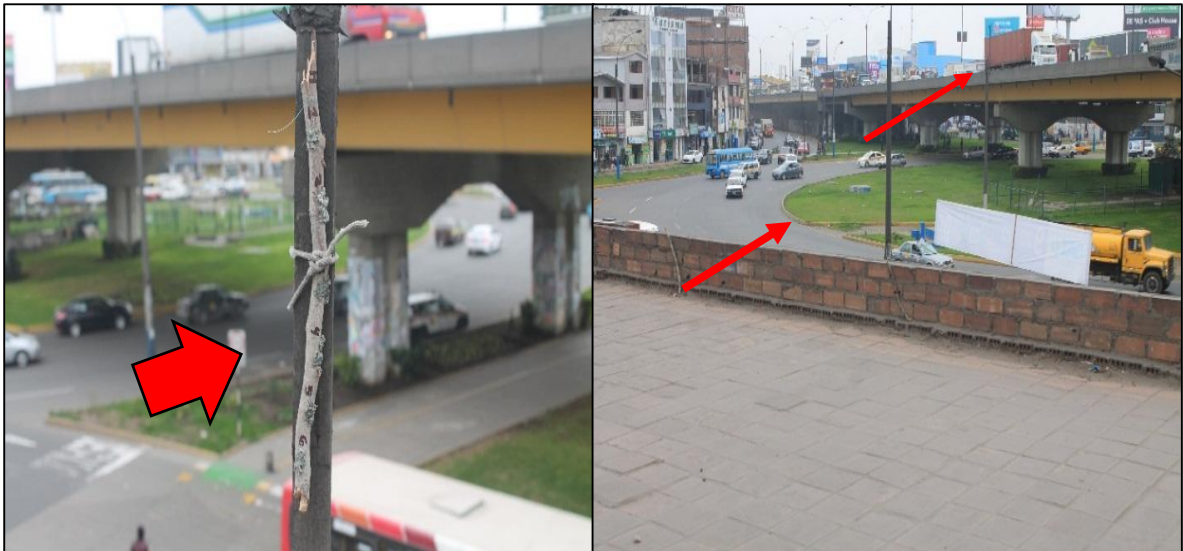


Figura 10.- Muestras trasplantadas. Trasplante de las muestras en la zona elegida por ser de alto tránsito vehicular como se muestra en la figura derecha.

- **Colecta de líquenes para análisis en Microscopía Electrónica de Barrido Ambiental (MEBA).**

En el mes de noviembre del 2017 se colectaron 4 muestras del líquen saxícolas (crecen en rocas) *Parmotrema andinum*, por cada zona 2 muestras, fueron rotuladas con datos referentes al punto de colecta, número de muestra, fecha de colecta, entre otros datos de interés para fines de investigación, se almacenaron como se detalla líneas arriba (**Ver figura 11**). Además se eligió; por criterio propio, una muestra de líquen que fue trasplantado en la zona de alto tránsito vehicular, junto a las muestras colectadas de las dos zonas de estudio fueron llevadas al centro de Microscopía Electrónica y Aplicaciones en el Perú (MyAP), para el respectivo análisis de metales pesados.



Figura 11.- Colecta de muestras para el análisis de metales pesados en el centro de Microscopía Electrónica y Aplicaciones en el Perú (MyAP)

Fase de Post Campo

- **Identificación de especie:**

Con el aporte del especialista en líquenes Blgo Ángel Ramírez se determinó la identificación del género de la muestra y con el fin de facilitar la determinación de la especie, se consultó bibliografía y claves relacionada con el género, con la ayuda de la clave de MASON HALE para Parmotrema, además del análisis morfológico, mediante los cortes, se realizaron diversas pruebas químicas (**Ver figura 12**) para conocer las reacciones de color que poseen los componentes del líquen, los reactivos utilizados fueron: Hidróxido de Potasio (KOH 5%) y Clorox (C), esta prueba se realizó en el córtex y en la medula del líquen.

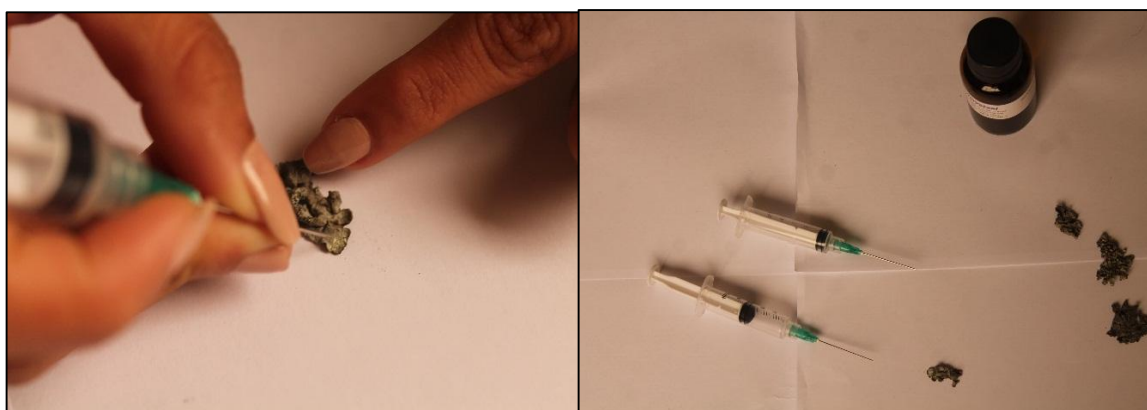


Figura 12.- Proceso para identificación de la muestra.

- **Análisis de metales pesados.**

Para la cuantificación de los metales pesados, las muestras de líquenes fueron analizadas en el microscopio electrónico de Barrido ambiental, en la empresa MyAP de la Dra. Geóloga Gladys Ocharan, empresa representada por la compañía FEI COMPANYY.

Con la finalidad de comprobar la existencia de metales pesados, la concentración de elementos químicos, la capacidad de absorción y retención que puede tener un líquen se realizó el análisis en 5 muestras de líquenes Parmotrema Andinum

elegidas de la siguiente manera; dos de la “Zona Teatino 1”, dos de la “Zona Teatino 2” y uno de la “zona de alto tránsito vehicular”, esto para tener rangos de comparación entre las tres zonas. Con el objetivo de comparar en qué medida absorben los metales pesados según su crecimiento, en cada muestra se analizaron tres puntos denominados como; centro, mitad y periferia, (**Ver figura 13**). Además, se realizaron análisis puntuales en una muestra, la toma puntual indica los elementos en un punto exacto de la estructura del líquen, mientras que la toma total se considera a los elementos que encuentran en la parte superficial y dentro de las estructuras del líquen.

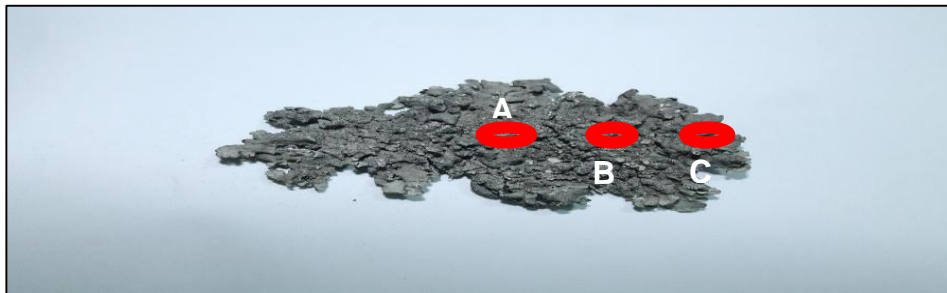


Figura 13.- Líquen *Parmotrema andinum*. Los círculos rojos muestran los puntos; centro (**A**), mitad (**B**) y periferia (**C**), que fueron analizados en el Microscopio Electrónico de Barrido Ambiental (MEBA).

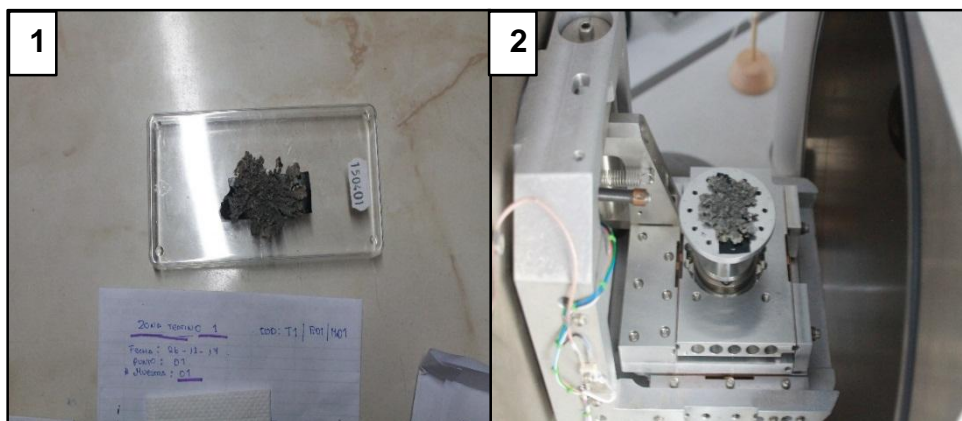


Figura 14.- Preparación de la muestra de líquen (1) previo a ser introducido en el Microscopio Electrónico de Barrido Ambiental para ser analizado (2).

- **Microscopio Electrónico de Barrido Ambiental (MEBA)**

Este microscopio permite la observación de muestras biológicas, poco conductoras, sin tratamiento previo ya que podemos controlar la humedad relativa de la cámara y la temperatura de la muestra para evitar daños durante el tiempo de observación, usa electrones en lugar de luz para formar una imagen, como ya se mencionó con el microscopio electrónico de Barrido ambiental no es necesario preparar o procesar las muestra a analizar, es decir admite el análisis de la muestra en su estado natural sin necesidad de utilizar técnicas convencionales de preparación de muestras, se realizará la toma de muestras en el talo de los líquenes puesto que esta estructura es la que almacena principalmente los elementos obtenidos del aire. La muestra es colocada en una cámara de vacío, donde es bombardeada por electrones, el electrón por rebote emite una lectura estas serán captadas por sensores que traducen el impacto en un resultado de concentración de algún elemento químico (metales pesados), el resultado será transmitido mediante un software a una computadora, el cual va expresar la muestra de tres maneras:

1. Electrones Secundarios: Imágenes LFD (Large Field Detector) donde se mostrará una imagen topográfica de la muestra.
2. Electrones Retrodispersados: Imagen SSD (Solid State Detector), donde se apreciará la parte física (morfológica de la muestra), posee mayor energía que la anterior.
3. Imágenes mixtas: Donde se une las dos anteriores.

El proceso será representado en un gráfico EDX (Dispersión de Energía por Rayos X), siendo esta la base de su análisis **(Ver figura 15)**

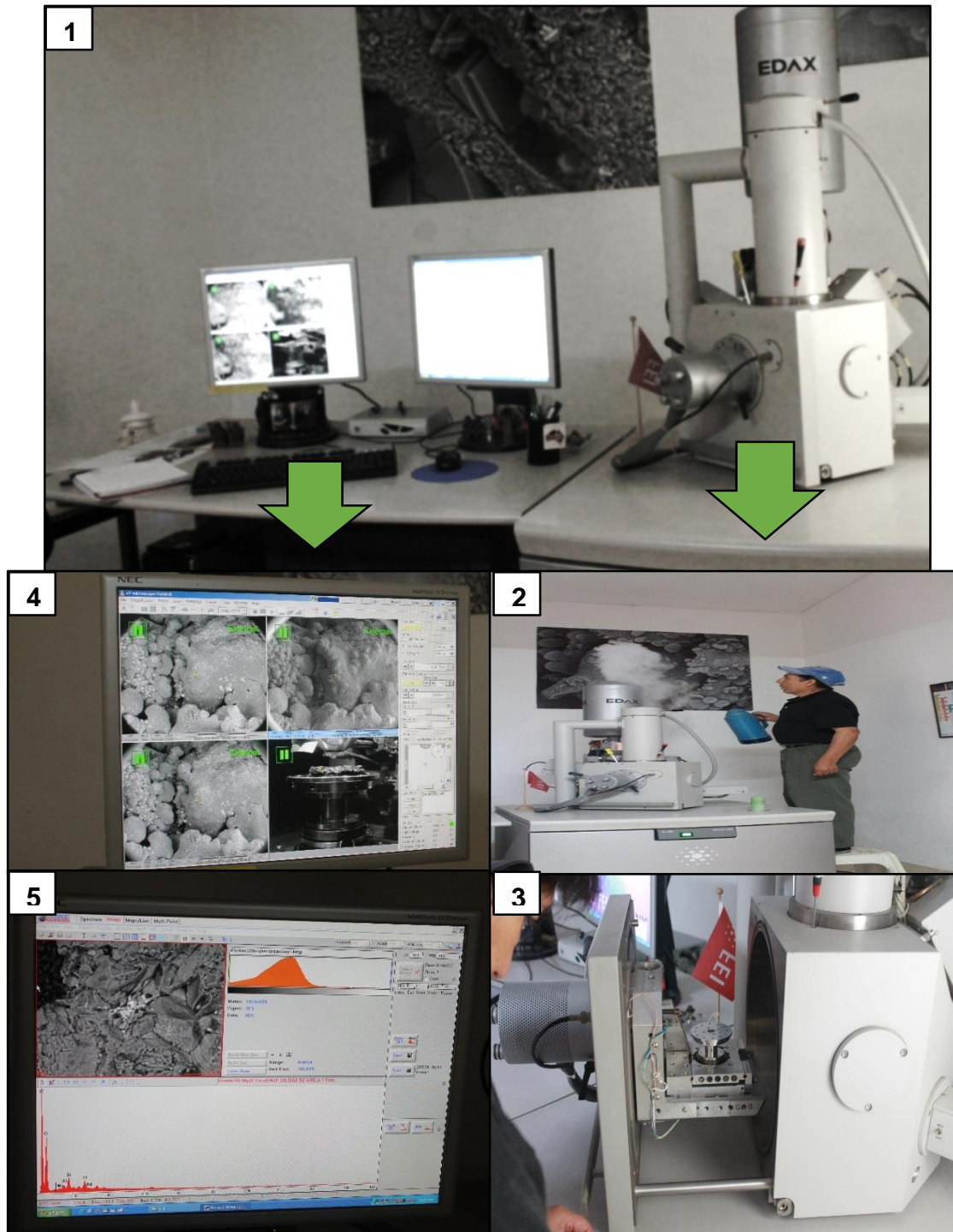


Figura 15.- Microscopio Electrónico de Barrido Ambiental, a la derecha la columna óptica Electrónica, en el gabinete inferior el sistema de vacío; a la izquierda el monitor de visualización, teclado y mouse para controlar el microscopio y la cámara (1). La parte que realiza el análisis, necesita de Nitrógeno líquido para que realice su función, colaborador añadiendo el gas (2). Lugar donde se sitúa la muestra para ser analizada (3). Computadora donde se expresan las muestras de tres maneras ya detalladas líneas arriba (4). Representación en gráficos EDX (Dispersión de Energía por Rayos X) (5).

8.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Para el registro de los datos se utilizó un formato de campo (cuadro 39- anexo); se evaluaron las rocas con líquenes Parmotrema, cada punto fue registrado con el GPS, tuvo una distancia de separación de 200 m cada punto, en cada roca se sacaron fotografías de todas las especies frecuentes (con el papel milimetrado, considerando así el tamaño) estas fotos fueron importadas al programa AutoCAD para calcular el tamaño de cada líquen, los datos obtenidos sirvieron para analizar la influencia de los factores ya mencionados anteriormente (tamaño, orientación, inclinación, altitud y distancia al mar) en relación al crecimiento del líquen. **(Ver cuadro 6)**

Cuadro 6.- Registros y coordenadas UTM de las rocas que fueron evaluadas en los 32 puntos de la zona de estudio. Como se aprecia en el cuadro los puntos faltantes son por ausencia de líquenes para los puntos; 22, 26-29

ROCAS A EVALUAR					
FECHAS DE EVALUACIÓN	PUNTO	ROCA	COORDENADAS		ALTITUD
			X	Y	
13/09/2017	1	1	0240734	8743253	270
		2	0240740	8743252	271
		3	0240747	8743234	276
		4	0240747	8743231	277
13/09/2017	2	1	0240594	8743302	259
		2	0240594	8743304	259
		3	0240597	8743313	260
		4	0240591	8743317	258
		5	0240587	8743315	258

ROCAS A EVALUAR					
FECHA DE EVALUACION	PUNTO	ROCA	COORDENADAS		ALTITUD
			X	Y	
13/09/2017	3	1	0240492	8743371	243
13/09/2017	3	2	0240502	8743375	241
		3	0240514	8743392	243
		4	0240509	8743383	236
13/09/2017	4	1	0240393	8743441	232
		2	0240379	8743440	231
		3	0240377	8743446	231
		4	0240373	874350	231
13/09/2017	5	1	0240265	8743501	220
		2	0240256	8743503	210
		3	0240243	8743506	218
		4	0240220	8743519	215
13/09/2017	6	1	0240113	8743569	210
		2	0240101	8743564	210
		3	0240096	8743561	210
		4	0240094	8743569	206
13/09/2017	7	1	0239954	8743539	207
		2	0239946	8743549	205
		3	0239938	8743553	205

ROCAS A EVALUAR					
FECHA DE EVALUACION	PUNTO	ROCA	COORDENADAS		ALTITUD
			X	Y	
13/09/2017	8	1	0239813	8743482	202
		2	0239803	8743481	202
		3	0239793	8743480	201
13/09/2017	9	1	0239676	8743397	193
		2	0239658	8743371	197
		3	0239627	8743352	196
13/09/2017	10	1	0239522	8743255	193
		2	0239517	8743249	192
13/09/2017	11	1	0239359	8743094	185
		2	0239398	8743108	184
		3	0239410	8743105	187
19/09/2017	12	1	0239376	8742988	174
		2	0239400	8742997	179
		3	0239415	8742997	182
19/09/2017	13	1	0239283	8742841	164
19/09/2017	14	1	0239292	8742654	163
		2	0239306	8742639	166
		3	0239304	8742641	166
		4	0239306	8742636	166
		5	0239329	8742624	173

ROCA A EVALUAR					
FECHA DE EVALUACION	PUNTO	ROCA	COORDENADAS		ALTITUD
			X	Y	
29/09/2017	15	1	0239376	8742446	160
		2	0239378	8742446	160
29/09/2017	16	1	0239203	8792219	150
		2	0239203	8742218	150
29/09/2017	17	1	0239321	8742011	146
		2	0239317	8742011	147
		3	0239306	8742007	144
29/09/2017	18	1	0239253	8741898	137
		2	0239268	8741850	136
29/09/2017	19	1	0239295	8741783	140
29/09/2017		2	0239359	8741792	143
29/09/2017		3	0239358	8741773	142
29/09/2017		4	0239318	8741749	140
05/10/2017	20	1	0239224	8741559	122
05/10/2017		2	0239211	8741565	126
05/10/2017		3	0239206	8741559	130
05/10/2017		4	0239198	8741576	131
05/10/2017	21	1	0239122	8741411	132
05/10/2017	23	1	0238943	8741111	128
05/10/2017	24	1	0238833	8740916	146
05/10/2017	25	1	0238846	8740887	141

ROCA A EVALUAR					
FECHA DE EVALUACION	PUNTO	ROCA	COORDENADAS		ALTITUD
			X	Y	
05/10/2017	30	1	0238837	8740018	106
05/10/2017		2	0238872	8740012	110
05/10/2017		3	0238872	8740010	110
05/10/2017	31	1	0238657	8739940	115
05/10/2017		2	0238654	8739943	115
05/10/2017	32	1	0238708	8739799	110
05/10/2017		2	0238706	8739799	111

8.5. Técnica de presentación de resultados

La presentación de los resultados finales se realizará a través de cuadros y figuras, con las respectivas descripciones y análisis de los mismos.

IX. RESULTADOS

9.1. IDENTIFICACIÓN DE LA ESPECIE

El resultado de las pruebas químicas realizadas en las muestras de líquen en selección fueron las siguientes: con Hidróxido de Potasio (KOH 5%) y Clorox (C).

Cuadro 7.- Pruebas químicas

PARTE DEL LIQUEN	REACCIÓN	
	KOH	C
Córtex	+ amarillo	-
Médula	-	+rojo

Las características identificadas fueron las siguientes:

- Thallus sin isidia o soledia.
- Cilios completamente ausentes alrededor de las puntas de los lóbulos y en las axilas de los lóbulos
- Médula blanco (a veces con parches de skyrin naranja-rojo u otras antraquinonas cerca de la corteza inferior; en plantas descompuestas ácido salazínico puede causar tinción roja)
- Médula C + rojo sangre (ácido lecanóico); apotecia si está presente perforar.

De acuerdo a estos resultados, con la corroboración del Blgo Ángel Ramírez, el Dr. Harrie Sipman y las bibliografías revisadas se concluyó que el líquen en estudio es *Parmotrema andinum*

9.2. ANÁLISIS DE LA REGRESIÓN Y CORRELACIÓN PARA EL TAMAÑO DEL LIQUEN Y LAS VARIABLES (ORIENTACIÓN, INCLINACIÓN, ALTITUD, DISTANCIA AL MAR) PARA LAS DOS ZONAS DE EVALUACIÓN (ZONA TEATINO 1/ZONA TEATINO 2).

9.2.1. Análisis Zona Teatino 1:

- **Tamaño y Orientación:**

En el **cuadro 08** podemos observar que el p-valor para determinar la correlación entre las variables Tamaño y Orientación, posee un valor 0,31 (redondeado de 0,3097), lo cual indica que no existe suficiente evidencia estadística que sea significativa para demostrar que existe correlación entre las variables.

También podemos observar que el coeficiente de determinación (R^2) extraída del ANVA para el modelo de regresión muestra un valor de 0,01 (redondeado de 0,0064), esto indica que si existiera correlación entre la variable Tamaño y Orientación, la orientación explicaría el 1% de la variabilidad observada en el tamaño del líquen.

Con respecto al coeficiente de correlación Rho de Pearson (R) de valor -0,08, se desprende que, si existiera suficiente evidencia estadística para afirmar que hay una correlación entre las variables tamaño y Orientación, esta sería una relación negativa y muy débil; entendiéndose que disminuyendo la orientación, aumenta el tamaño pero de manera muy débil.

En cuanto a la pendiente estimada ($\hat{\beta}_1$) se calcula su valor en -0,01, lo que indica en cuánto se afecta la proyección o la tendencia si se comprueba que existe significancia estadística para la correlación; de expresarse una

correlación se podría decir que la pendiente estimada es negativa como se puede apreciar en el gráfico. En otras palabras, el valor de esta pendiente expresa que, por cada grado que se aumente en la orientación, el tamaño decaerá en 0,01 unidades.

Cuadro 8.- Resumen de los coeficientes del Análisis de regresión y Correlación para Tamaño y Orientación.

Coeficiente de determinación (R ²)	Coeficiente de correlación (R)	pendiente estimada ($\hat{\beta}_1$)	P valor
0,01	-0,08	-0,01	0,31

Cuadro 9.- Análisis de varianza de la regresión del Tamaño vs la Orientación

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
ORIENTACION	123,29	1	123,29	1,04	0,3097
Error	20069,32	169	118,75		
Total	20192,61	170			

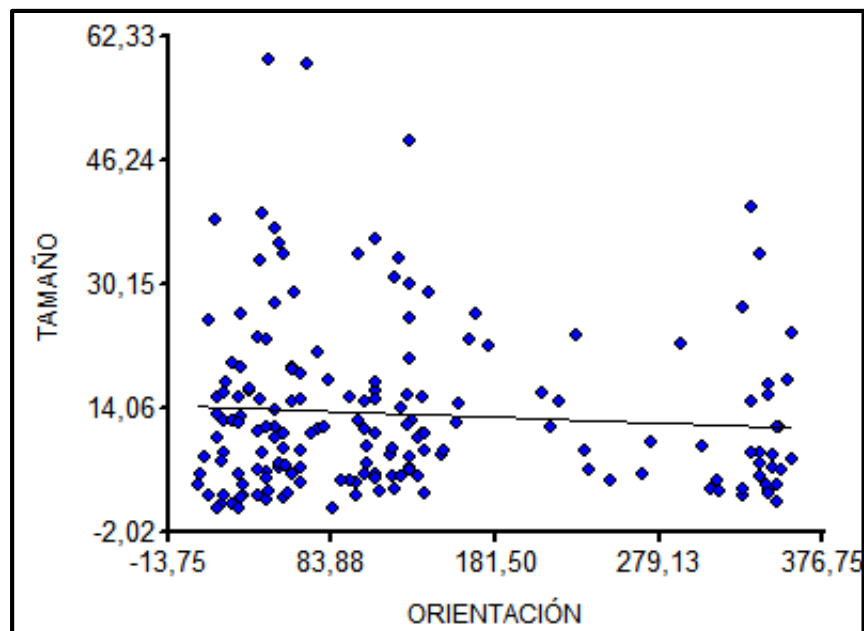


Figura 16.- Gráfico de la Relación entre el Tamaño y la Orientación

- **Tamaño e Inclinación:**

En el **cuadro 10** podemos observar que el p-valor para determinar la correlación entre las variables Tamaño e Inclinación, posee un valor 0,07 (redondeado de 0,0713), lo cual indica que no existe suficiente evidencia estadística que sea significativa para demostrar que existe correlación entre las variables.

También podemos observar que el coeficiente de determinación (R^2) extraída del ANVA para el modelo de regresión muestra un valor de 0,02 (redondeado de 0,0196), esto indica que si existiera correlación entre la variable Tamaño e Inclinación, la Inclinación explicaría el 2% de la variabilidad observada en el tamaño del líquen.

Con respecto al coeficiente de correlación Rho de Pearson (R) de valor 0,14, se desprende que si existiera suficiente evidencia estadística para afirmar que hay una correlación entre las variables Tamaño e Inclinación, esta sería una relación positiva y muy débil; entendiéndose que aumentando la inclinación, aumenta el tamaño pero de manera muy débil.

En cuanto a la pendiente estimada ($\hat{\beta}_1$) se calcula su valor en 0,06, lo que indica en cuánto se afecta la proyección o la tendencia si se comprueba que existe significancia estadística para la correlación; de expresarse una correlación se podría decir que la pendiente estimada es positiva como se puede apreciar en el gráfico. En otras palabras, el valor de esta pendiente expresa que, por cada grado que se aumente en la variable inclinación, la variable tamaño aumentará en 0,06 unidades

Cuadro 10.- Resumen de los coeficientes del Análisis de regresión y Correlación para Tamaño e Inclinación.

Coeficiente de determinación (R ²)	Coeficiente de correlación (R)	pendiente estimada ($\hat{\beta}_1$)	P valor
0,02	0,14	0,06	0,07

Cuadro 11.- Análisis de varianza de la regresión del Tamaño vs la Inclinación.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
PENDIENTE	386,07	1	386,07	3,29	0,0713
Error	19806,53	169	117,20		
Total	20192,61	170			

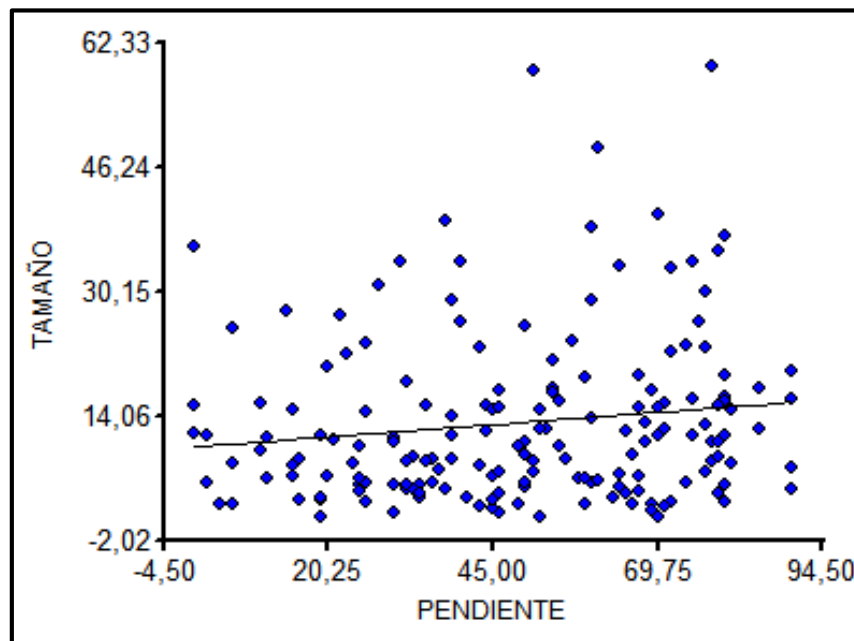


Figura 17.- Grafico de la Relación entre el Tamaño y la Inclinación.

- **Tamaño y Altitud:**

En el **cuadro 12** podemos observar que el p-valor para determinar la correlación entre las variables Tamaño y Altitud, posee un valor 0,02 (redondeado de 0,0218), lo cual indica que existe suficiente evidencia estadística para demostrar que existe correlación entre las variables.

También podemos observar que el coeficiente de determinación (R^2) extraída del ANVA para el modelo de regresión muestra un valor de 0,03 (redondeado de 0,0324), esto indica que, la altitud explicaría el 3% de la variabilidad observada en el tamaño del líquen.

Con respecto al coeficiente de correlación Rho de Pearson (R) de valor 0,18, se desprende que, existe una relación positiva pero muy débil; entendiéndose que aumentando la altitud, aumentará el tamaño pero de manera muy débil.

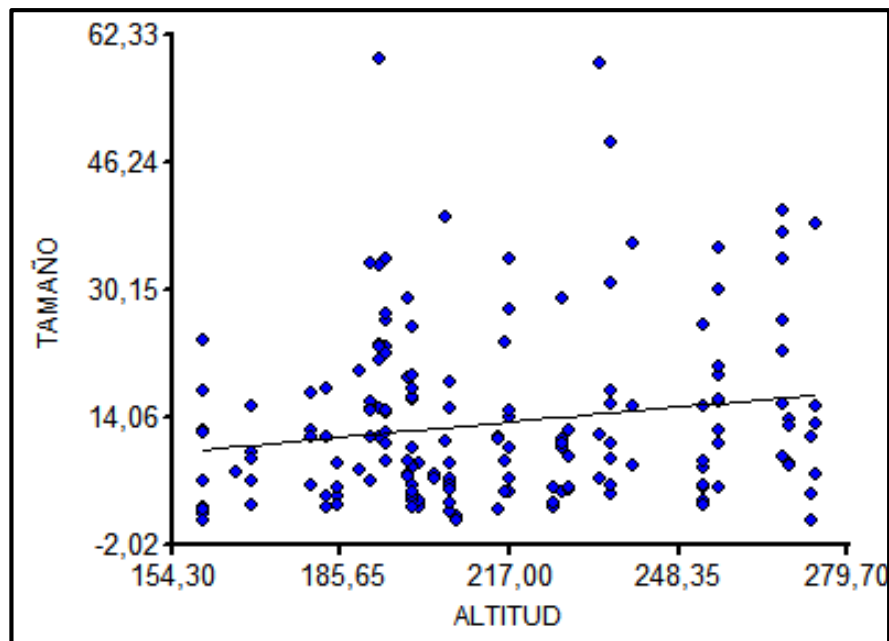
En cuanto a la pendiente estimada ($\hat{\beta}_1$) se calcula su valor en 0,06, lo que indica en cuánto se afecta la proyección o la tendencia; la pendiente estimada es positiva como se puede apreciar en el gráfico. En otras palabras, el valor de esta pendiente expresa que, por cada metro que se aumente en la **altitud**, el tamaño aumentará en 0,06 unidades.

Cuadro 12.- Resumen de los coeficientes del Análisis de regresión y Correlación para Tamaño y Altitud.

Coeficiente de determinación (R^2)	Coeficiente de correlación (R)	pendiente estimada ($\hat{\beta}_1$)	P valor
0,03	0,18	0,06	0,02

Cuadro 13.- Análisis de varianza de la regresión del Tamaño vs la Altitud.

F.V.	SC	GI	CM	F	p-valor
ALTITUD	621,12	1	621,12	5,36*	0,0218
Error	19571,48	169	115,81		
Total	20192,61	170			

**Figura 18.-** Gráfico de la. Relación entre el Tamaño y la Altitud.

- **Tamaño y Distancia al mar:**

En el **cuadro 14** podemos observar que el p-valor para determinar la correlación entre las variables Tamaño y Distancia al mar, posee un valor 0,14 (redondeado de 0,1364), lo cual indica que no existe suficiente evidencia estadística que sea significativa para demostrar que existe correlación entre las variables.

También podemos observar que el coeficiente de determinación (R^2) extraída del ANVA para el modelo de regresión muestra un valor de 0,01 (redondeado de 0,0121), esto indica que si existiera correlación entre la variable Tamaño y Distancia, la distancia explicaría el 1% de la variabilidad observada en el tamaño del líquen.

Con respecto al coeficiente de correlación Rho de Pearson (R) de valor 0,11, se desprende que si existiera suficiente evidencia estadística para afirmar que hay una correlación entre las variables tamaño y Distancia al mar, esta sería una relación positiva y muy débil; entendiéndose que aumentando la distancia, aumenta el tamaño pero de manera muy débil.

En cuanto a la pendiente estimada ($\hat{\beta}_1$) se calcula su valor en 2,92, lo que indica en cuánto se afecta la proyección o la tendencia si se comprueba que existe significancia estadística para la correlación; de expresarse una correlación se podría decir que la pendiente estimada es positiva como se puede apreciar en el gráfico. En otras palabras, el valor de esta pendiente expresa que, por cada **kilómetro** que se aumente en la variable Distancia al mar, la variable tamaño aumentará en 2,92 unidades

Cuadro 14.- Resumen de los coeficientes del Análisis de regresión y Correlación para Tamaño y Distancia al mar

Coeficiente de determinación (R ²)	Coeficiente de correlación (R)	pendiente estimada ($\hat{\beta}_1$)	P valor
0,01	0,11	2,92	0,14

Cuadro 15.- Análisis de varianza de la regresión del Tamaño vs la Distancia al mar.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
DISTANCIA	264,04	1	264,04	2,24	0,1364
Error	19928,56	169	117,92		
Total	20192,61	170			

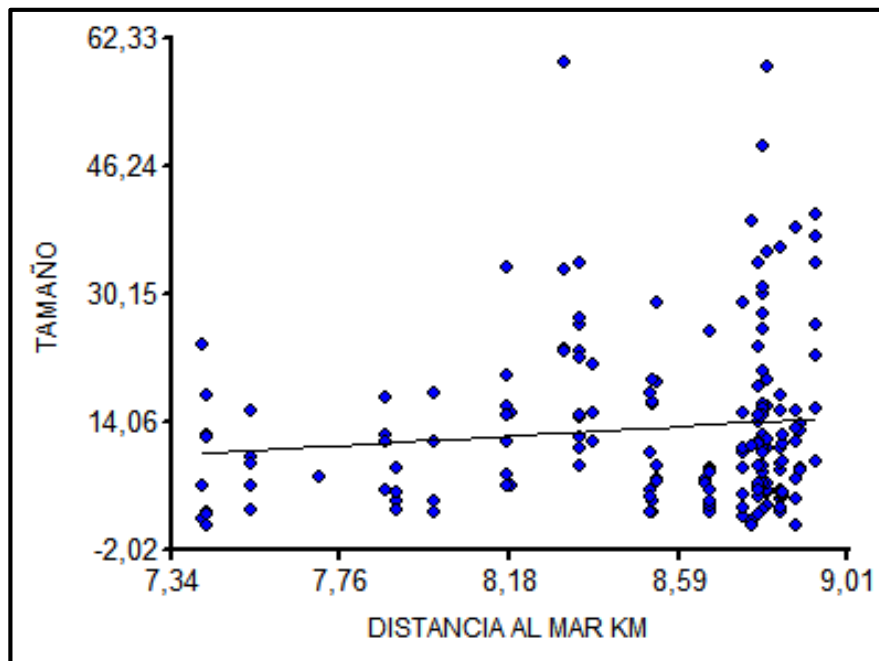


Figura 19.- Gráfico de la Relación entre el Tamaño y la Distancia al mar.

9.2.2. Zona Teatino 2

- **Tamaño y Orientación:**

En el **cuadro 16** podemos observar que el p-valor para determinar la correlación entre las variables Tamaño y Orientación, posee un valor 0,18 (redondeado de 0,1784), lo cual indica que no existe suficiente evidencia estadística que sea significativa para demostrar que existe correlación entre las variables.

También podemos observar que el coeficiente de determinación (R^2) extraída del ANVA para el modelo de regresión muestra un valor de 0,08 (redondeado de 0,0841), esto indica que si existiera correlación entre la variable Tamaño y Orientación, la orientación explicaría el 8% de la variabilidad observada en el tamaño del liquen.

Con respecto al coeficiente de correlación Rho de Pearson (R) de valor 0,29, se desprende que, si existiera suficiente evidencia estadística para afirmar que hay una correlación entre las variables tamaño y Orientación, esta sería una relación positiva y débil; entendiéndose que aumentado la orientación, aumenta el tamaño pero de manera débil.

En cuanto a la pendiente estimada ($\hat{\beta}_1$) se calcula su valor en 0,01, lo que indica en cuánto se afecta la proyección o la tendencia si se comprueba que existe significancia estadística para la correlación; de expresarse una correlación se podría decir que la pendiente estimada es positiva como se puede apreciar en el gráfico. En otras palabras, el valor de esta pendiente expresa que, por cada grado que se aumente en la orientación, el tamaño aumentará en 0,01 unidades.

Cuadro 16.- Resumen de los coeficientes del Análisis de regresión y Correlación para Tamaño y Orientación

Coefficiente de determinación (R ²)	Coefficiente de correlación (R)	pendiente estimada ($\hat{\beta}_1$)	P valor
0,08	0,29	0,01	0,18

Cuadro 17.- Análisis de varianza de la regresión del Tamaño vs la Orientación

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
ORIENTACION	79,93	1	79,93	1,94	0,1784
Error	865,75	21	41,23		
Total	945,67	22			

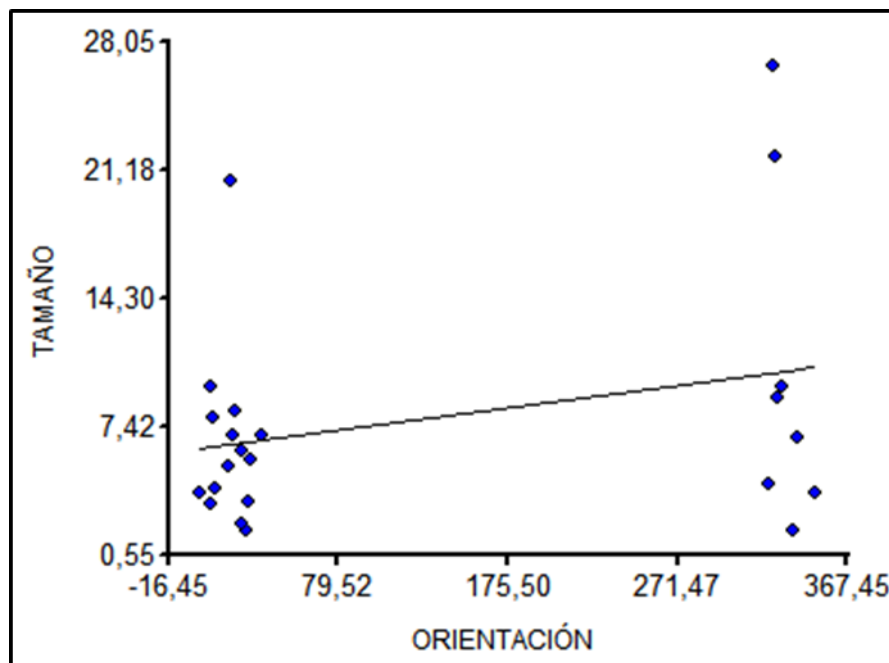


Figura 20.- Gráficos de la Relación entre el Tamaño y la Orientación.

- **Tamaño e Inclinación:**

Para el cálculo de la regresión y la correlación se dispuso a trabajar con la raíz cuadrada de los valores observados de la pendiente porque los valores originales no cumplían con el requisito de normalidad para las pruebas paramétricas.

En el **cuadro 18** podemos observar que el p-valor para determinar la correlación entre las variables Tamaño y pendiente, posee un valor 0,57 (redondeado de 0,5690), lo cual indica que no existe suficiente evidencia estadística que sea significativa para demostrar que existe correlación entre las variables.

También podemos observar que el coeficiente de determinación (R^2) extraída del ANVA para el modelo de regresión muestra un valor de 0,02 (redondeado de 0,0169), esto indica que si existiera correlación entre la variable Tamaño y Pendiente, la pendiente explicaría el 2% de la variabilidad observada en el tamaño del líquen.

Con respecto al coeficiente de correlación Rho de Pearson (R) de valor 0,13, se desprende que si existiera suficiente evidencia estadística para afirmar que hay una correlación entre las variables Tamaño y Pendiente, esta sería una relación positiva y muy débil; entendiéndose que aumentando la pendiente, aumenta el tamaño pero de manera muy débil.

En cuanto a la pendiente estimada ($\hat{\beta}_1$) se calcula su valor en 0,32, lo que indica en cuánto se afecta la proyección o la tendencia si se comprueba que existe significancia estadística para la correlación; de expresarse una correlación se podría decir que la pendiente estimada es positiva como se puede apreciar en el gráfico. En otras palabras, el valor de esta pendiente expresa que, por cada grado

que se aumente en la variable pendiente, la variable tamaño aumentará en 0,32 unidades.

Cuadro 18.- Resumen de los coeficientes del Análisis de regresión y Correlación para Tamaño e Inclinación.

Coeficiente de determinación (R ²)	Coeficiente de correlación (R)	pendiente estimada ($\hat{\beta}_1$)	P valor
0,02	0,13	0,32	0,57

Cuadro 19.- Análisis de varianza de la regresión del Tamaño vs la Pendiente

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
R_PENDIENTE	14,84	1	14,84	0,33	0,5690
Error	930,84	21	44,33		
Total	945,67	22			

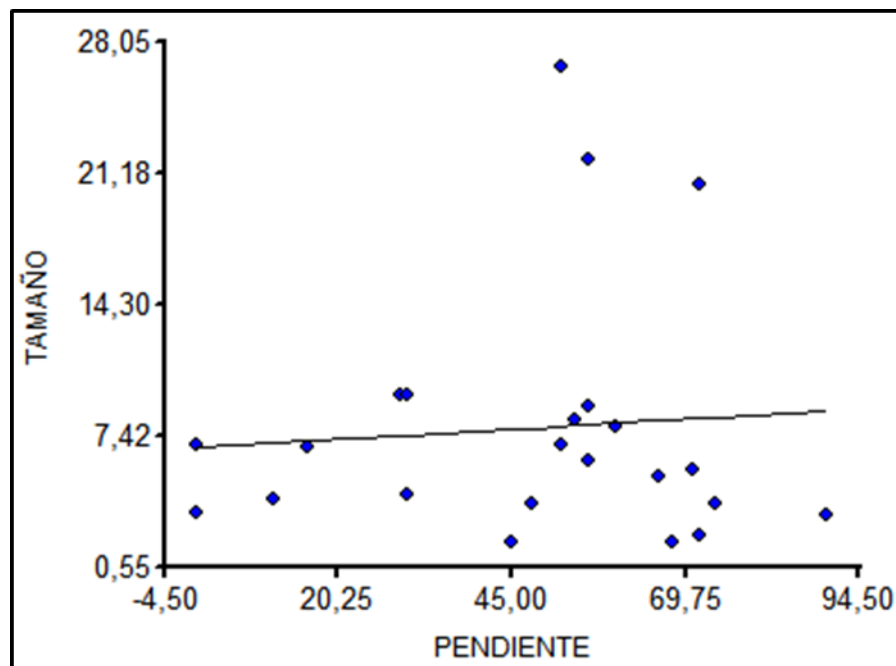


Figura 21.- Gráfico de la Relación entre el Tamaño y la Pendiente.

- **Tamaño y Altitud:**

En el **cuadro 20** podemos observar que el p-valor para determinar la correlación entre las variables Tamaño y Altitud, posee un valor 0,60 (redondeado de 0,5970), lo cual indica que no existe suficiente evidencia estadística que sea significativa para demostrar que existe correlación entre las variables.

También podemos observar que el coeficiente de determinación (R^2) extraída del ANVA para el modelo de regresión muestra un valor de 0,01 (redondeado de 0,0144), esto indica que si existiera correlación entre la variable Tamaño y Altitud, la altitud explicaría el 1% de la variabilidad observada en el tamaño del líquen.

Con respecto al coeficiente de correlación Rho de Pearson (R) de valor 0,12, se desprende que si existiera suficiente evidencia estadística para afirmar que hay una correlación entre las variables tamaño y altitud, esta sería una relación positiva y muy débil; entendiéndose que aumentando la pendiente, aumenta el tamaño pero de manera muy débil.

En cuanto a la pendiente estimada ($\hat{\beta}_1$) se calcula su valor en 0,06, lo que indica en cuánto se afecta la proyección o la tendencia si se comprueba que existe significancia estadística para la correlación; de expresarse una correlación se podría decir que la pendiente estimada es positiva como se puede apreciar en el gráfico. En otras palabras, el valor de esta pendiente expresa que, por cada metro que se aumente en la Altura, la variable tamaño aumentará en 0,06 unidades.

Cuadro 20.- Resumen de los coeficientes del Análisis de regresión y Correlación para Tamaño y Altitud.

Coeficiente de determinación (R ²)	Coeficiente de correlación (R)	pendiente estimada ($\hat{\beta}_1$)	P valor
0,01	0,12	0,06	0,60

Cuadro 21.- Análisis de varianza de la regresión del Tamaño vs la Altitud.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
ALTITUD	12,80	1	12,80	0.29	0,5970
Error	932,87	21	44,42		
Total	945,67	22			

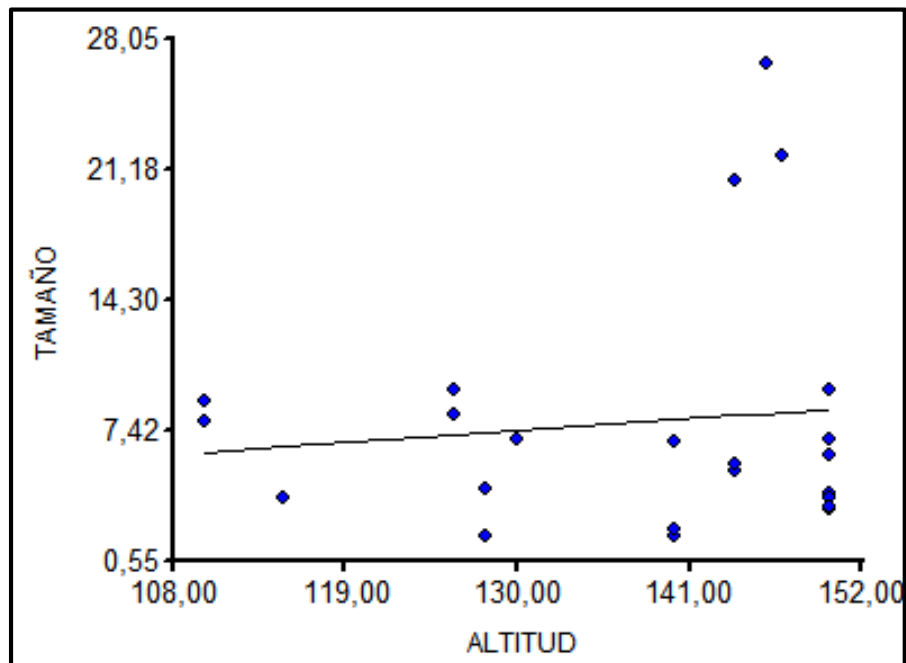


Figura 22.- Gráfico de la Relación entre el Tamaño y la Altitud.

- **Tamaño y Distancia al mar:**

En el **cuadro 22** podemos observar que el p-valor para determinar la correlación entre las variables Tamaño y Distancia al mar, posee un valor 0,52 (redondeado de 0,5199), lo cual indica que no existe suficiente evidencia estadística que sea significativa para demostrar que existe correlación entre las variables.

También podemos observar que el coeficiente de determinación (R^2) extraída del ANVA para el modelo de regresión muestra un valor de 0,02 (redondeado de 0,0196), esto indica que si existiera correlación entre la variable Tamaño y Distancia, la distancia explicaría el 2% de la variabilidad observada en el tamaño del líquen.

Con respecto al coeficiente de correlación Rho de Pearson (R) de valor 0,14, se desprende que si existiera suficiente evidencia estadística para afirmar que hay una correlación entre las variables tamaño y Distancia al mar, esta sería una relación positiva y muy débil; entendiéndose que aumentando la distancia, aumenta el tamaño pero de manera muy débil.

En cuanto a la pendiente estimada ($\hat{\beta}_1$) se calcula su valor en 1,32, lo que indica en cuánto se afecta la proyección o la tendencia si se comprueba que existe significancia estadística para la correlación; de expresarse una correlación se podría decir que la pendiente estimada es positiva como se puede apreciar en el gráfico. En otras palabras, el valor de esta pendiente expresa que, por cada **kilómetro** que se aumente en la variable Distancia al mar, la variable tamaño aumentará en 1,32 unidades.

Cuadro 22.-Resumen de los coeficientes del Análisis de regresión y Correlación para Tamaño y Distancia al mar

Coeficiente de determinación (R ²)	Coeficiente de correlación [®]	pendiente estimada ($\hat{\beta}_1$)	P valor
0,02	0,14	1,32	0,52

Cuadro 23.-Análisis de varianza de la regresión del Tamaño vs la Distancia al mar

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
DISTANCIA	18,91	1	18,91	0,43	0,5199
Error	926,77	21	44,13		
Total	945,67	22			

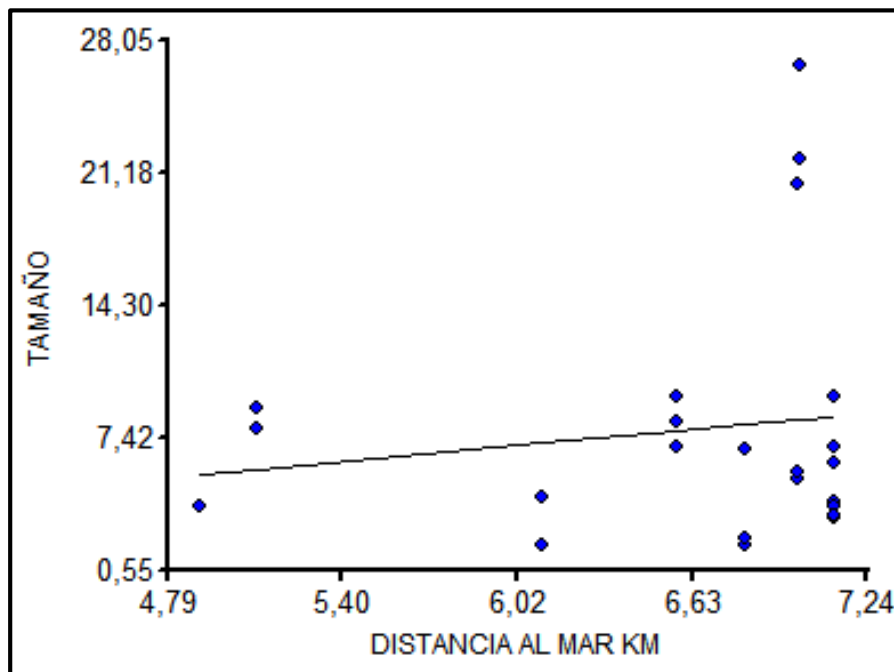


Figura 23.-Gráfico de la Relación entre el Tamaño y la Distancia al mar.

9.3. DETERMINACIÓN DE METALES PESADOS ATRAVÉS DE MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO AMBIENTAL

El análisis de metales pesados se realizó en tres partes de la muestra del líquen las que denominamos: centro, mitad y periferia. A continuación se muestran los resultados del análisis representadas en dos formas; en cuadros donde se presentan los resultados de los elementos en peso porcentaje (Wt%) y en partes por millón (ppm), además de la representación gráfica.

9.3.1. Zona Teatino 1 (zona control/protegida): como se mencionó anteriormente se realizaron análisis en muestras de líquenes colectados en las dos zona de estudio (Zona Arqueológica Teatino), en esta zona se analizó una muestra de líquen, se espera encontrar concentraciones de metales en menos proporción ya que esta zona nos serviría como zona control por ser la más protegida en esta investigación.

Muestra 01: T1-M01

En la **cuadro 24** y en la **Figura 24** del análisis Total Centro la parte más antigua en esta muestra, se puede observar la presencia de elementos propios del líquen, como también metales Al, Fe, Ti, producto del sustrato o efectos de la contaminación; aunque antes no fue mencionado, la presencia del S en esta muestra puede deberse a la planta procesadora de azufre que se encuentra a una distancia de 9 Km aproximadamente de la zona de estudio, demostrando así la capacidad de absorción del líquen. Puesto que esta muestra fue extraída de la zona de control/protegida el análisis debería arrojar menos concentración de elementos y/o metales, a continuación se revelarían mediante la

comparación si estos aumentan, se mantienen o disminuyen, en las demás muestras analizadas.

Cuadro 24.-Concentraciones de elementos químicos y metales para parte del líquen denomina **centro**

	CENTRO	
	Wt%	ppm
C	55,19	551900
O	39,55	395500
Na	0,16	1600
Mg	0,18	1800
Al	0,59	5900
Si	1,68	16800
P	0,06	600
S	0,14	1400
Cl	0,69	6900
K	0,49	4900
Ca	0,23	2300
Ti	0,14	1400
Fe	0,90	9000

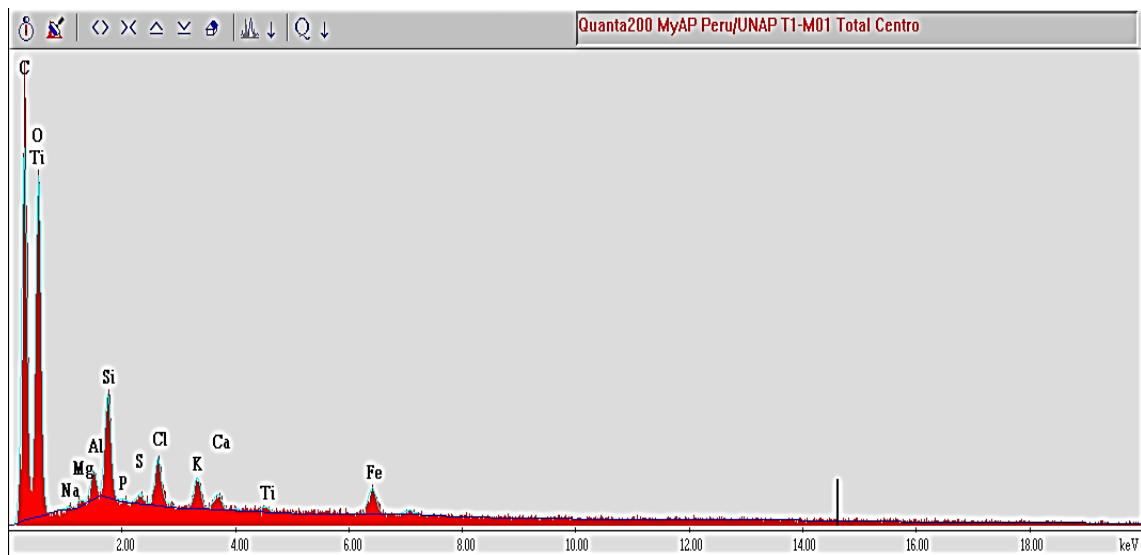


Figura 24.- Espectroscopia de Energía Dispersa-EDS, análisis de la muestra T1-M01/centro.

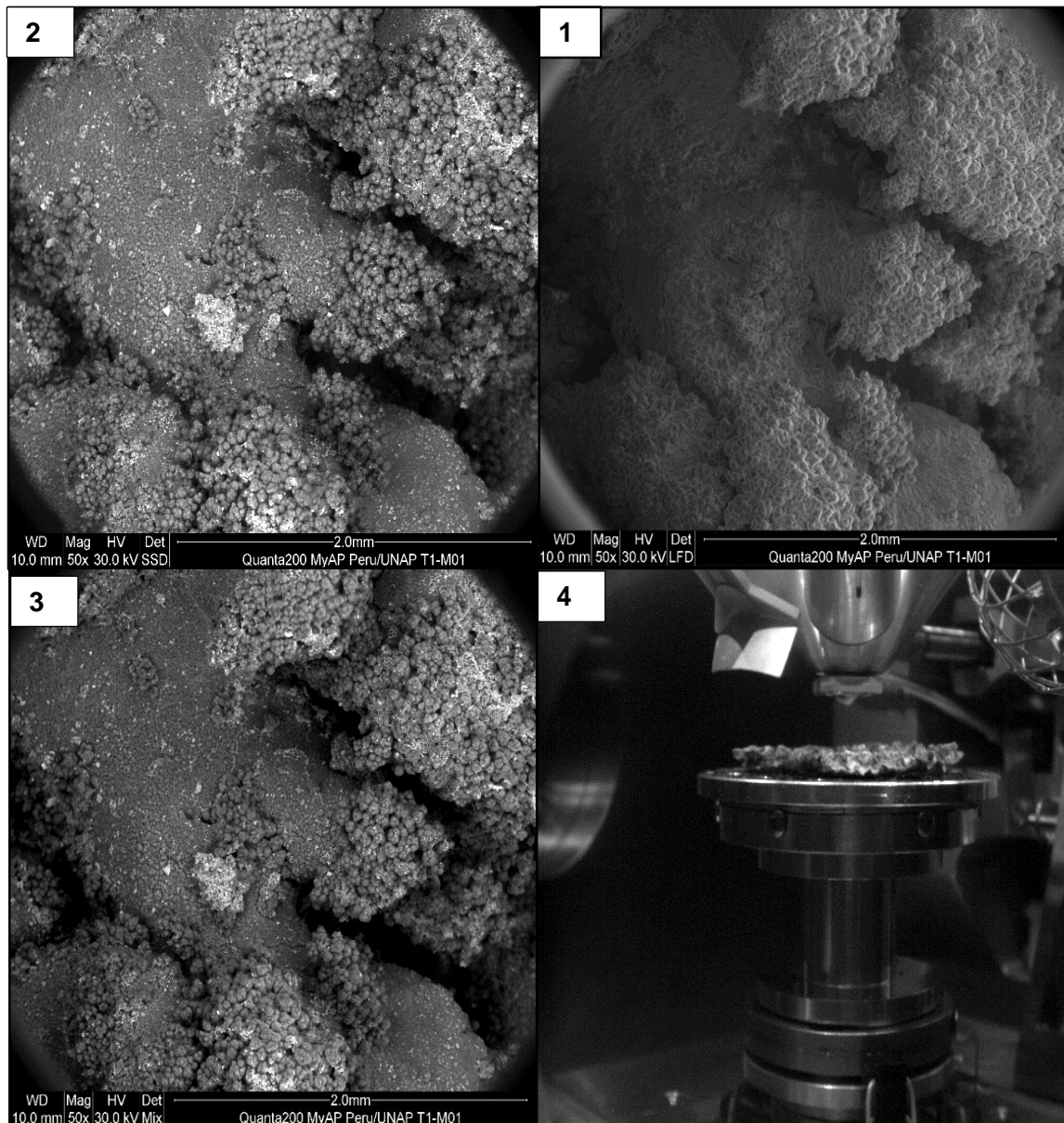


Figura 25.-Resultados representados en imágenes LFD, SSD y MIX de la muestra **T1-M01/Centro**. La imagen LFD (1) muestra la estructura del líquen *Parmotrema andinum*, SSD (2) y Mix (3) la presencia de partículas adheridas al líquen el cual se le reconoce por su aspecto brillante, podría estar relacionado con los elementos de la composición mineralógica del sustrato (roca) o la existencia de metales pesados como se demuestra en los cuadros líneas arriba, (4) colocación de la muestra previo a su análisis.

Cuadro 25.- Concentraciones de elementos químicos y metales para parte del líquen denomina **mitad**

MITAD		
	Wt%	ppm
C	55,90	559000
O	40,37	403700
Mg	0,07	700
Al	0,51	5100
Si	1,27	12700
P	0,08	800
S	0,09	900
Cl	0,59	5900
K	0,41	4100
Ca	0,14	1400
Ti	0,08	800
Fe	0,48	4800

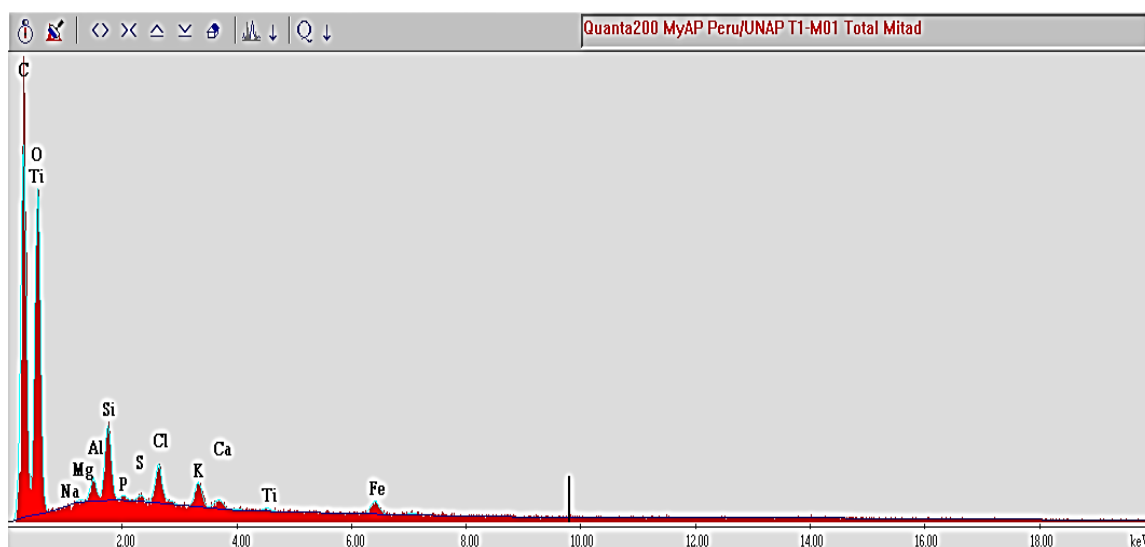


Figura 26.- Espectroscopia de Energía Dispersa-EDS, análisis de la muestra **T1-M01/mitad**.

En el **cuadro 25** y expuesto en la **figura 26** el análisis Total Mitad a diferencia de la parte centro se espera encontrar menos concentración de elementos y metales, puesto que sería la parte que habría crecido después, sin embargo para los elementos C, O y P, esta hipótesis al menos para estos elementos en esta

muestra se descarta puesto que relativamente incrementaron, además muestra la ausencia del metal Na, los otros elementos disminuyen en concentración aunque persiste la presencia de S como ya se mencionó podría deberse a la planta procesadora industrial rio seco. Al, Ti, Fe también se hacen presente

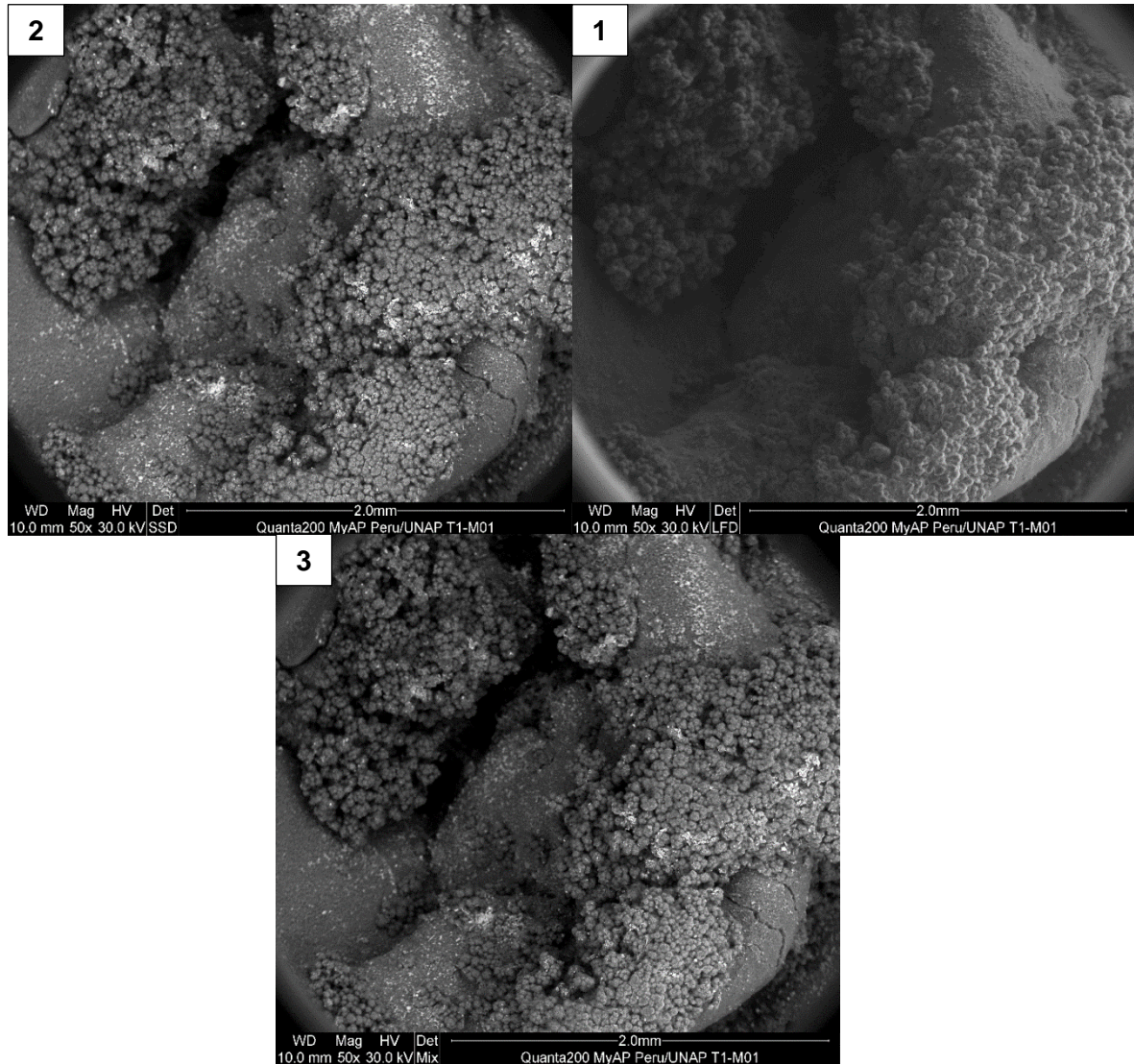


Figura 27.-Resultados representados en imágenes LFD, SSD y MIX de la muestra **T1-M01/mitad**. La imagen LFD (1) muestran en un acercamiento de 2.0 mm, además de la morfología de esta parte, el gran número de partículas brillantes adheridas, SSD (2) y Mix (3), comprobando de esta manera según el cuadro 25 la presencia de metales pesados.

Cuadro 26.- Concentraciones de elementos químicos y metales para parte del liquen denomina **periferia**.

PERIFERIA		
	Wt%	ppm
C	49,71	497100
O	42,26	422600
Na	0,21	2100
Mg	0,27	2700
Al	1,31	13100
Si	3,23	32300
S	0,07	700
Cl	0,64	6400
K	0,61	6100
Ca	0,33	3300
Ti	0,17	1700
Fe	1,18	11800

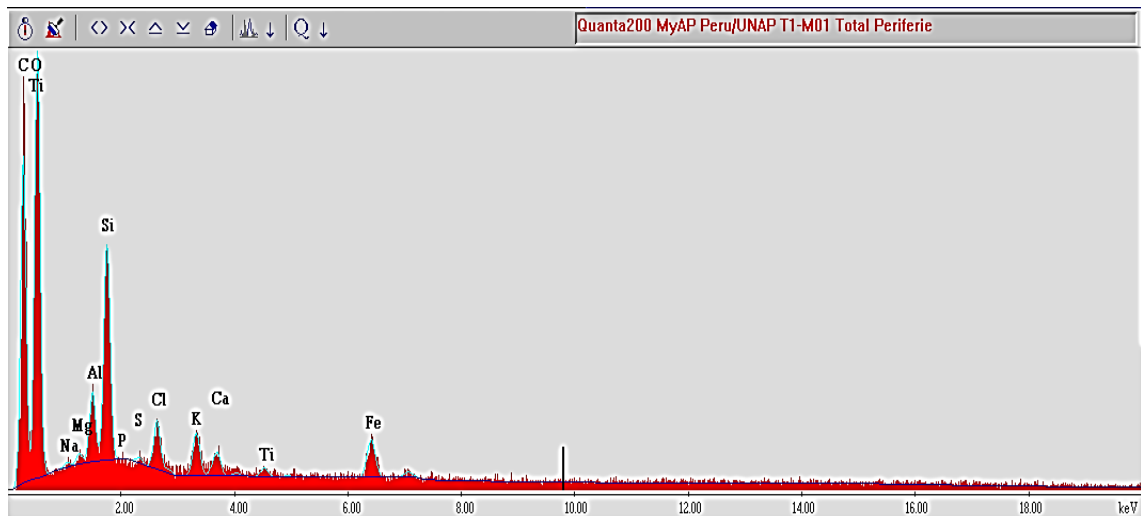


Figura 28.- Espectroscopia de Energía Dispersa-EDS, análisis de la muestra T1-M01/periferia.

Cuadro 26 Sin embargo el análisis en la muestra total periferia, se aprecia los mismo metales Na, Mg, Si, K, Ca, Ti, Al y Fe, con valores muchísimos más altos que las dos anteriores, según la forma de crecimientos de Parmotrema andinum, esta parte habría crecido en los últimos años, de acuerdo al tipo de crecimiento

(folioso) los lóbulos están separados del sustrato lo que no se explica que en esta parte existe mayor concentración de elementos o metales que podrían ser propios del sustrato (roca). Además de la ausencia de P y la disminución significativa de S

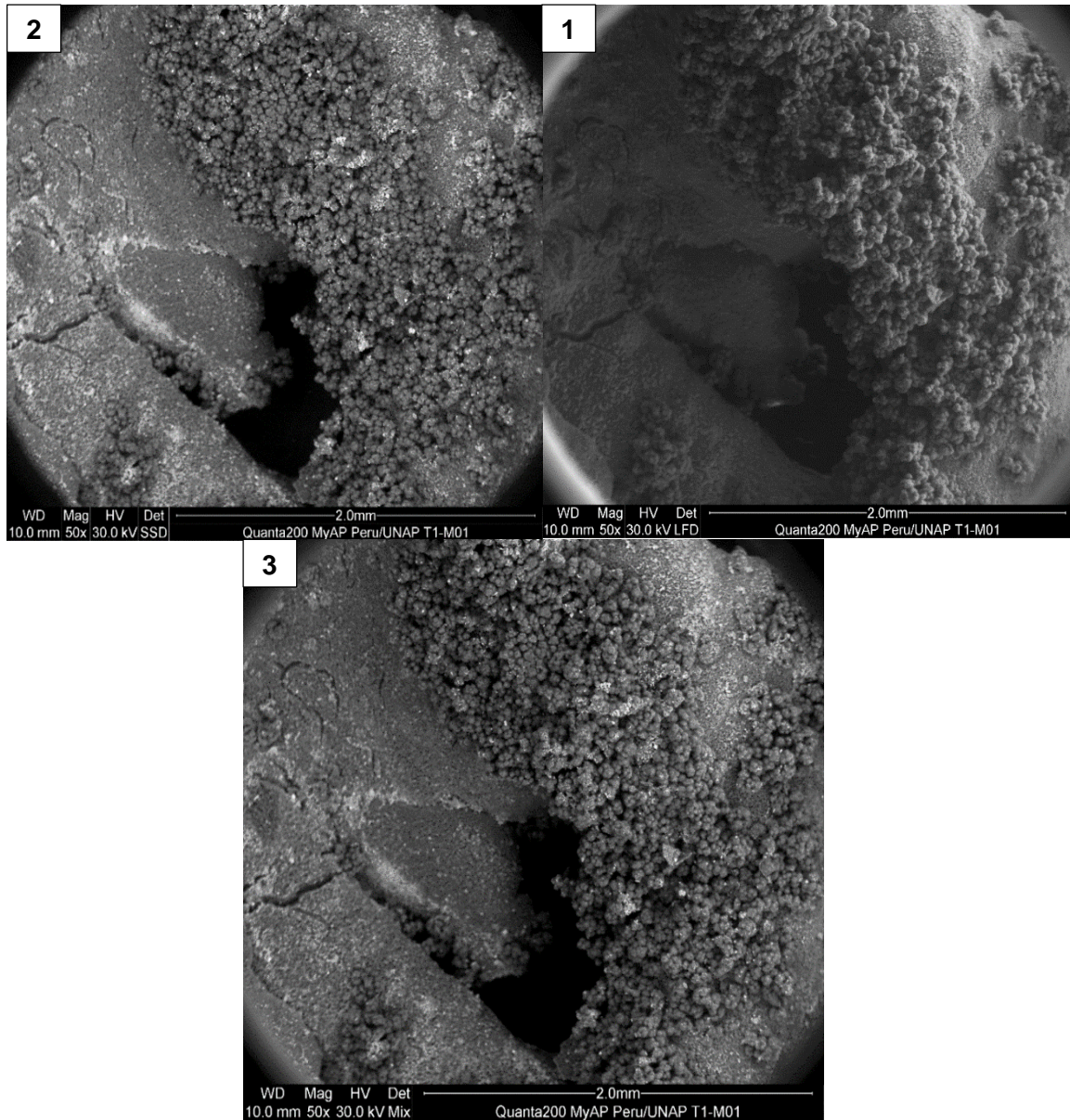


Figura 29.- Resultados representados en imágenes LFD, SSD y MIX de la muestra **T1-M01/periferia** al igual que en las otras imágenes en LFD (1) se muestra la estructura de esta parte del liquen en un acercamiento de la imagen de 2 mm, en SSD (2) y Mix (3) se puede ver la presencia de partículas brillantes producto de los metales que se demuestran en el cuadro antes interpretado.

9.3.2. Zona Teatino 2 (zona desprotegida): Esta zona de acuerdo a las condiciones ambientales que fueron descritas anteriormente y a través del análisis en Microscopía Electrónica de Barrido ambiental se espera encontrar mayor concentración de metales pesados. Serán descritas a continuación

- **Muestra 02: T2-M01**

Cuadro 27.- Concentraciones de elementos químicos y metales para parte del liquen denomina **centro**

CENTRO		
	Wt%	Ppm
C	47,51	475100
O	45,27	452700
Na	0,16	1600
Mg	0,35	3500
Al	1,33	13300
Si	3,09	30900
P	0,06	600
S	0,13	1300
Cl	0,48	4800
K	0,41	4100
Ca	0,15	1500
Ba	0,10	1000
Fe	0,95	9500

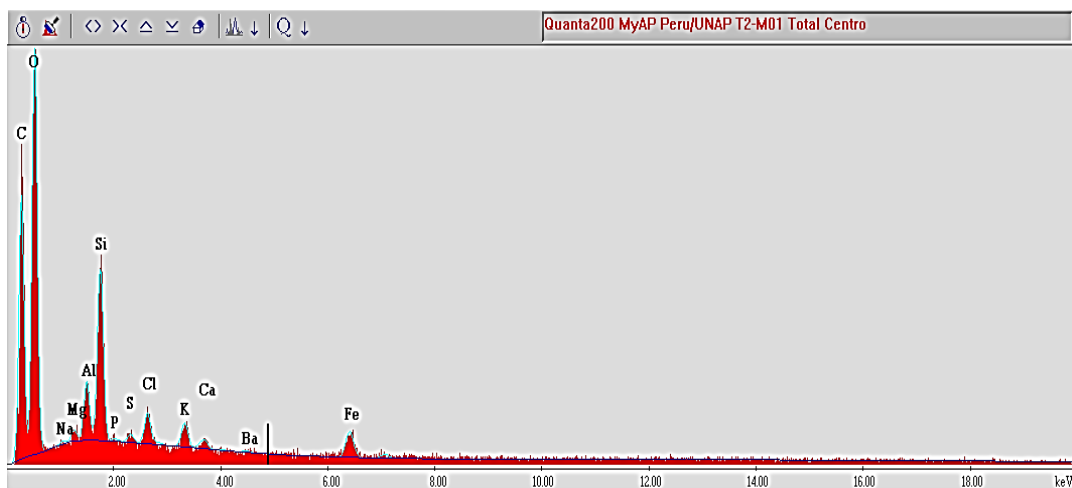


Figura 30.- Espectroscopia de Energía Dispersa-EDS, análisis de la muestra **T2-M02/centro**.

A través de los datos mostrados en el **cuadro 27** y expresados en el gráfico de la **figura 30**. Se puede apreciar a diferencia del análisis de las muestras **T2-M01** (Zona protegida) la presencia del metal pesado Ba, presente como Sulfato de Bario puesto a que puede ser encontrado en la mayoría de los suelos en bajos niveles, no se descarta la posibilidad de que otros factores puedan estar causando el impacto en esta zona, ya que es liberado al aire por la minas, procesos de refinados y pueden entrar al aire durante la combustión de carbón o aceite, este último puede deberse a la quema de las plumas de las aves domésticas. Por otro lado se mantiene la presencia de S, el Fe y Al en mayores cantidades que la **T1-M01**.

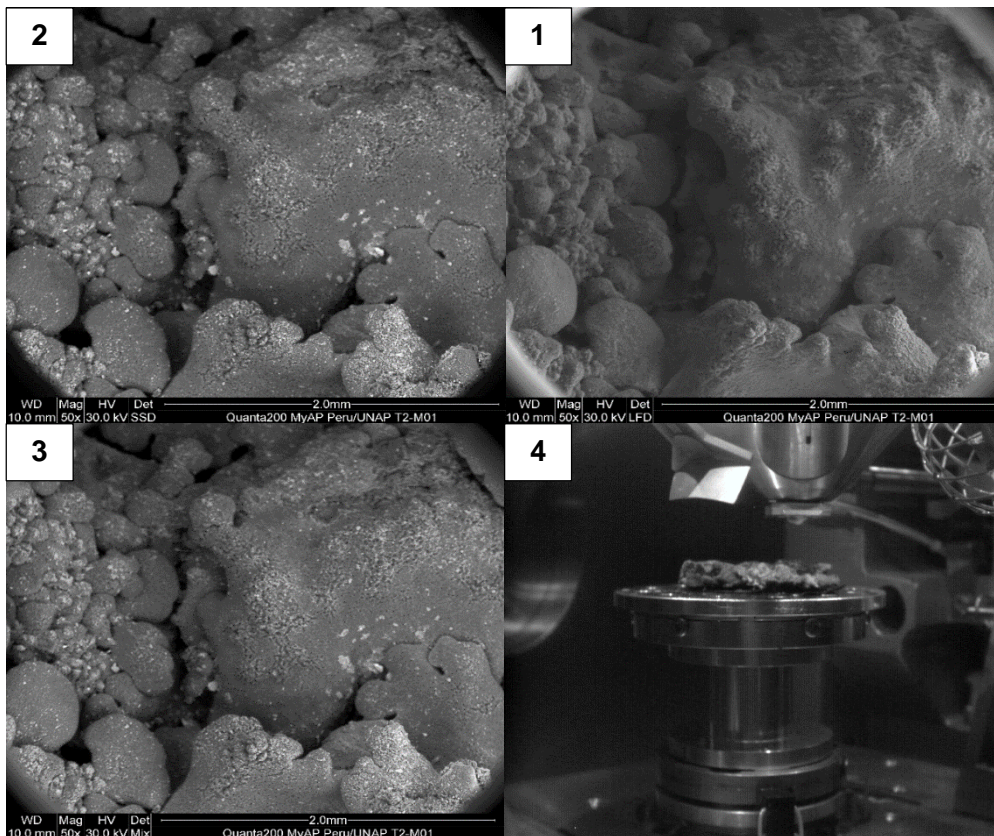


Figura 31.- Resultados representados en imágenes LFD, SSD y MIX de la muestra **T2-M01/centro**. LFD (1) y SSD (2) se puede apreciar la estructura del liquen, a pesar de ser la parte del centro, los lóbulos crecen unos sobre otros, además en Mix (3) se manifiestan las partículas adheridas muy bien reconocidas por su brillantes, esto producto del alto contenido de Si en esta muestra, también los

metales ya mencionados anteriormente. (4) colocación de la muestra previa a su análisis.

Cuadro 28.- Concentraciones de elementos químicos y metales para parte del liquen denomina **mitad**.

	MITAD	
	Wt%	Ppm
C	47,88	478800
O	41,59	415900
Na	0,30	3000
Mg	0,48	4800
Al	1,59	15900
Si	3,78	37800
P	0,07	700
S	0,10	1000
Cl	0,44	4400
K	0,61	6100
Ca	0,48	4800
Ba	0,41	4100
Fe	1,26	12600

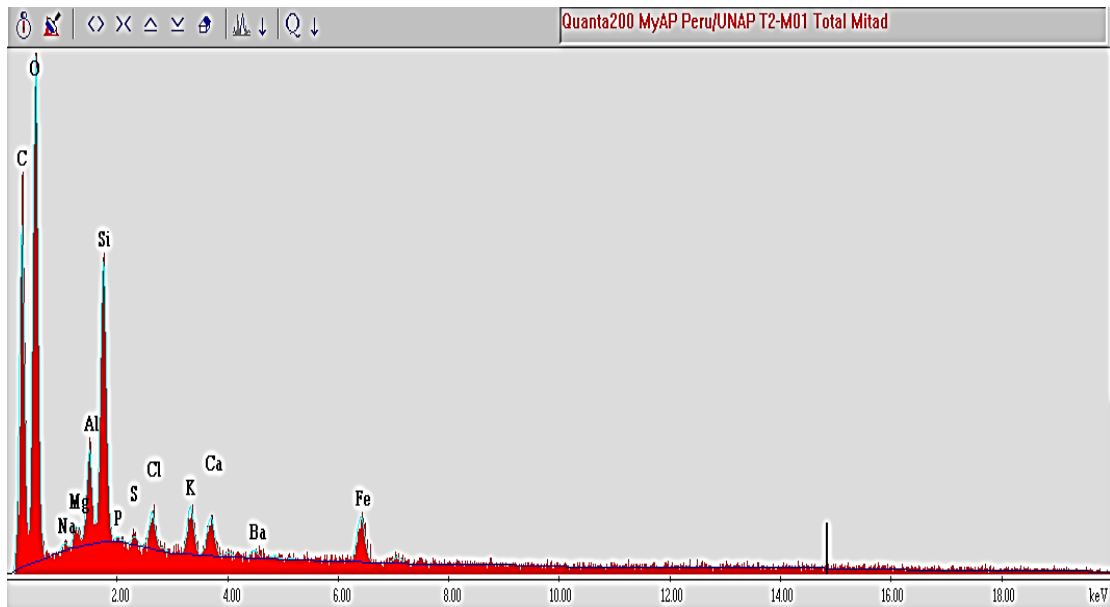


Figura 32.- Espectroscopia de Energía Dispersa-EDS, análisis de la muestra T2-M01/mitad.

En el **cuadro 28** representado en el gráfico de la **figura 32** los metales incrementaron su concentración en comparación con la parte centro, sin dejar de recalcar que Ba presente como sulfato de bario a incrementando considerablemente, además de la persistencia de S reiterando la posible relación de estos con la planta procesadora de azufre instaladas a unos kilómetros de la zona de estudio. Sin dejar de mencionar a Al y Fe.

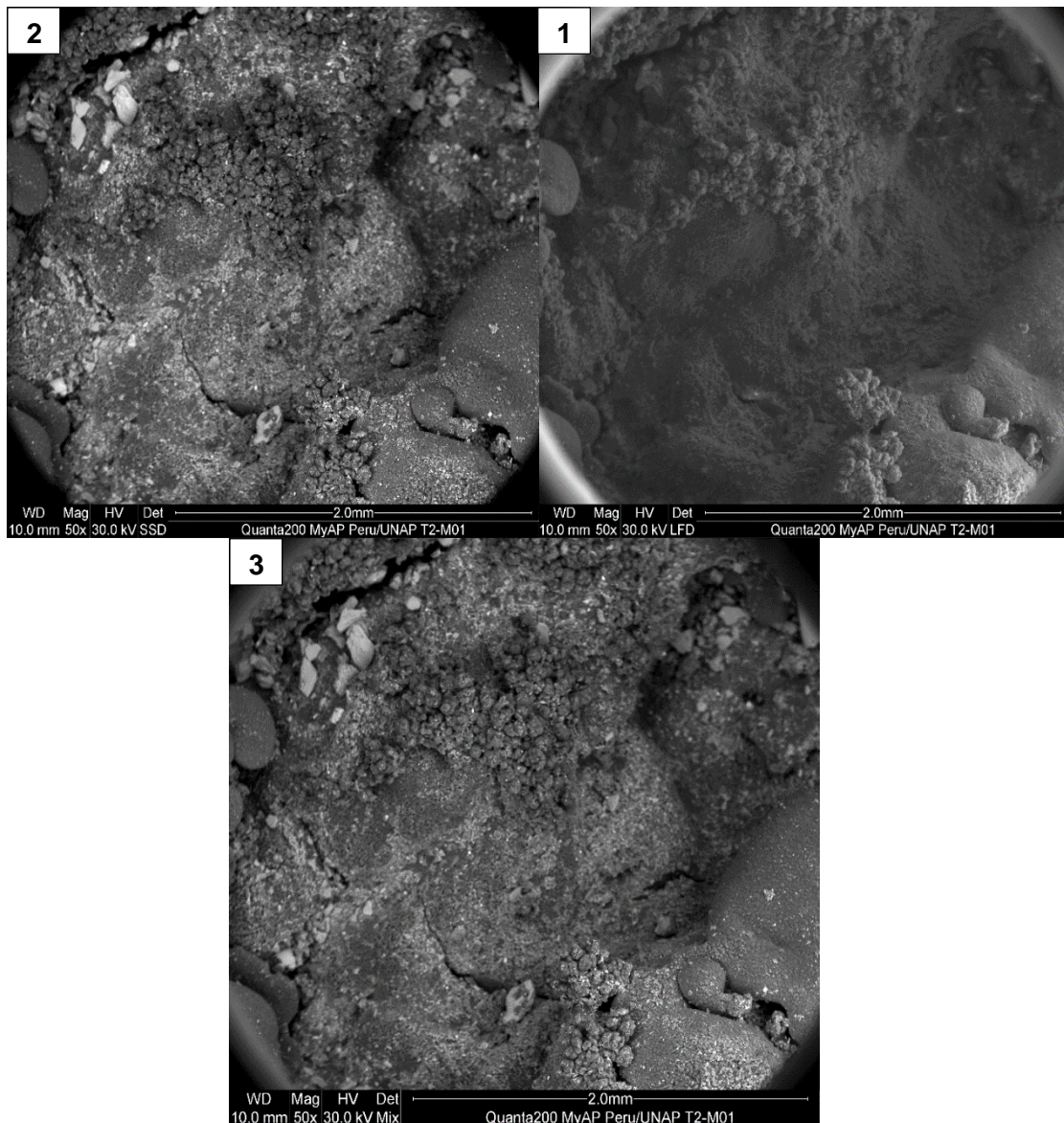


Figura 33.- Resultados representados en imágenes LFD, SSD y MIX de la muestra **T2-M01/mitad**. LFD (1) muestra la estructura de liquen, SSD (2) y Mix (3) la presencia de partículas adheridas al liquen, las cuales como ya se describió anteriormente se pueden reconocer por su brillantez, pudiendo representar la presencia de metales pesados (Ba) representados en el **cuadro 28**

Cuadro 29.- Concentraciones de elementos químicos y metales para parte del líquen denomina **periferia**

PERIFERIA		
	Wt%	Ppm
C	49,10	491000
O	43,36	433600
Na	0,26	2600
Mg	0,36	3600
Al	1,36	13600
Si	3,29	32900
P	0,03	300
S	0,07	700
Cl	0,52	5200
K	0,49	4900
Ca	0,17	1700
Ba	0,15	1500
Fe	0,84	8400

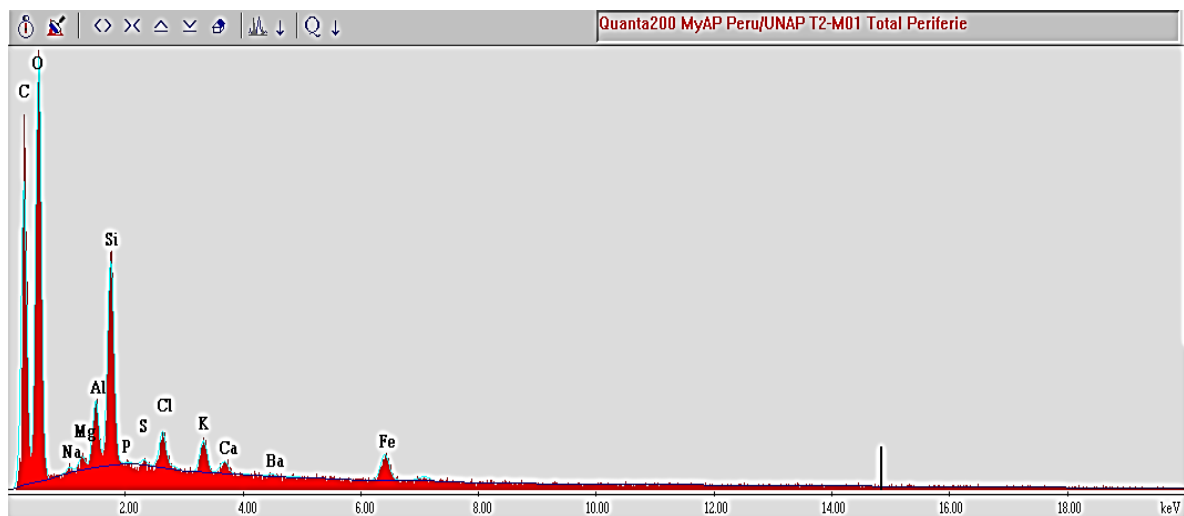


Figura 34.- Espectroscopia de Energía Dispersa-EDS, análisis de la muestra **T2-M02/periferia**.

En los datos indicados en el **cuadro 29** y expuesto en el gráfico de la **figura 34** se puede apreciar que Ba aún se mantiene en esta parte del líquen presente como sulfato de bario, además de los demás elementos que forman parte de la composición de este, también Fe, Al y demás metales expuestos anteriormente.

Los detalles de la presencia de estos elementos se pueden observar en la **figura 35**.

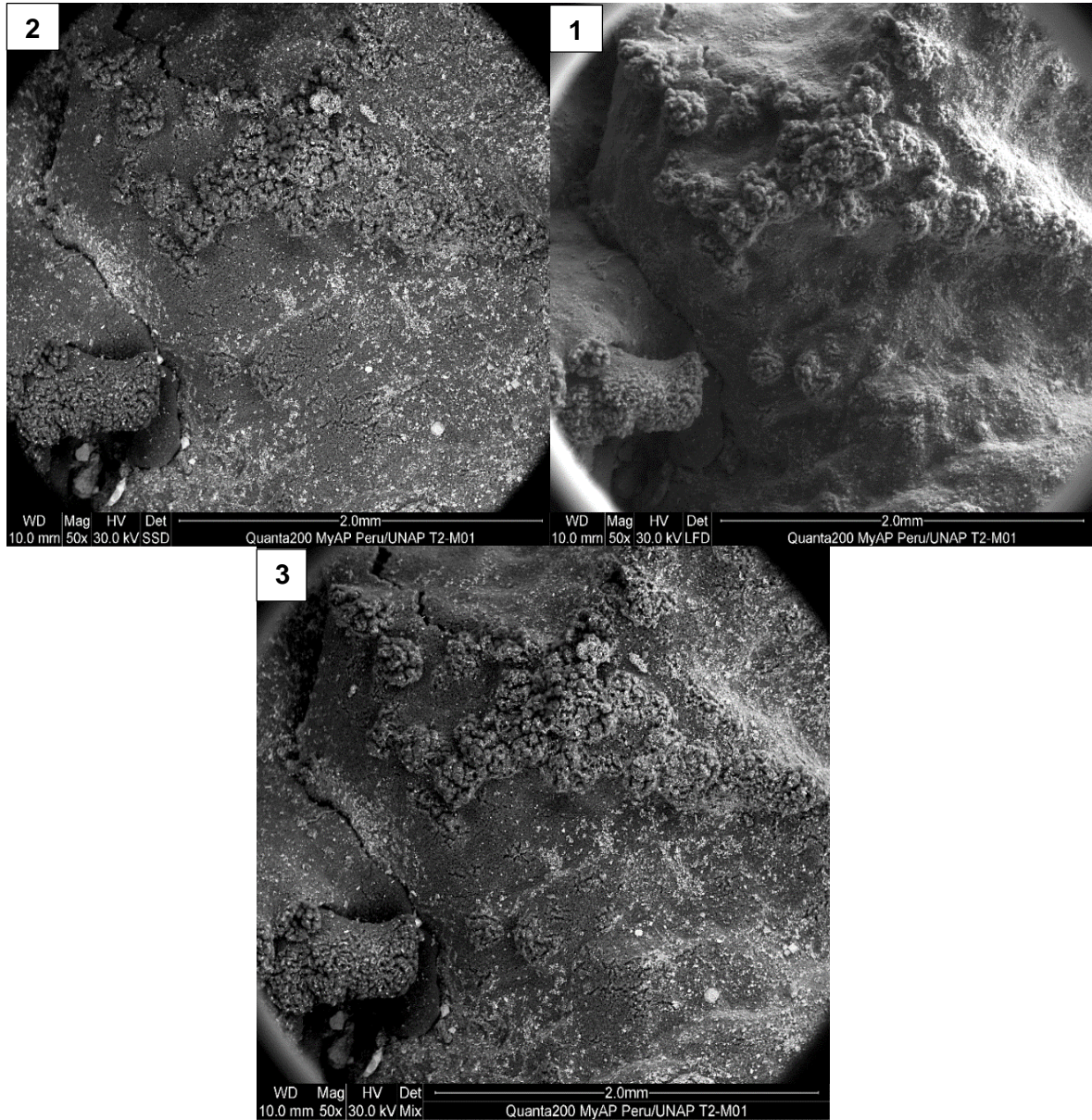


Figura 35.- Resultados representados en imágenes LFD, SSD y MIX de la muestra **T2-M01/periferia**. LFD (1) muestra la estructura de liquen (soredios), SSD (2) y Mix (3) en un acercamiento de 2.0 mm, la presencia de partículas adheridas al liquen, las cuales como ya se describió anteriormente se pueden reconocer por su brillantez, pudiendo representar la presencia de metales pesados (Ba) representados en el **cuadro 29**.

Muestra 03: T2-M04

Cuadro 30.- Concentraciones de elementos químicos y metales para parte del líquen denomina **centro**

CENTRO		
	Wt%	Ppm
C	48,76	487600
O	41,25	412500
Na	0,20	2000
Mg	0,28	2800
Al	1,83	18300
Si	4,98	49800
S	0,13	1300
Cl	0,08	800
K	0,53	5300
Ca	0,40	4000
Ti	0,13	1300
Fe	1,44	14400

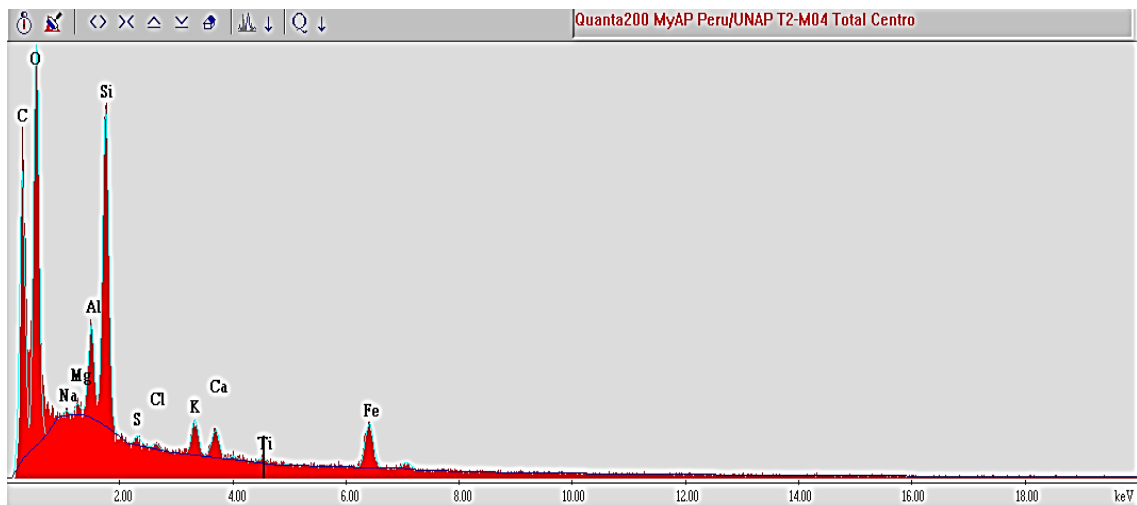


Figura 36.- Espectroscopia de Energía Dispersa-EDS, análisis de la muestra **T2-M04/centro**.

En el **Cuadro 30** y en la **figura 36** se aprecia que efectivamente mientras más se acercar la zona a los posibles impactos ambientales más incrementa la concentración de los metales como es el caso de Fe, Al; además del S, sin dejar de mencionar los demás metales que mantienen su presencia, asimismo los altos niveles de Ca y Si recae en la posibilidad de la influencia mineralógica de la roca.

También se percibe la ausencia de P. En la **figura 36** se puede corroborar la presencia de dichos elementos presentes en el líquen en estudio.

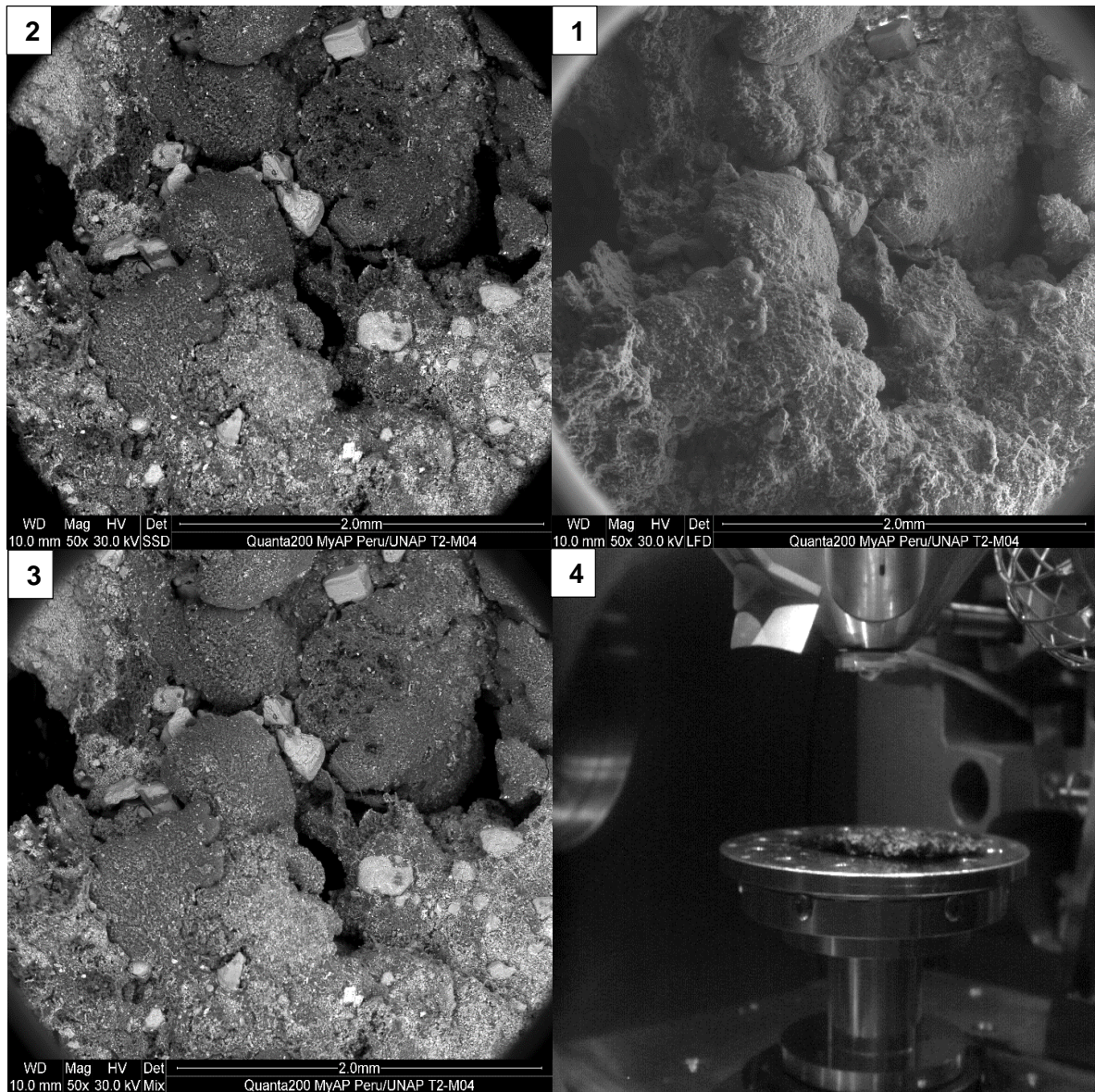


Figura 37.- Resultados representados en imágenes LFD, SSD y MIX de la muestra **T2-M04/centro**. La imagen LFD (1) muestra la humedad de una forma translúcida además de la estructura, en SSD (2) y Mix (3) a lo largo de la superficie del líquen se reflejan la presencia de partículas de un tamaño considerable, además de las brillantes. (4) colocación de la muestra previa a su análisis.

Cuadro 31.- Concentraciones de elementos químicos y metales para parte del líquen denomina **mitad**

MITAD		
	Wt%	Ppm
C	50,55	505500
O	39,92	399200
Na	0,42	4200
Mg	0,25	2500
Al	1,47	14700
Si	4,10	41000
P	0,10	1000
S	0,17	1700
Cl	0,13	1300
K	0,68	6800
Ca	0,42	4200
Ti	0,16	1600
Fe	1,63	16300

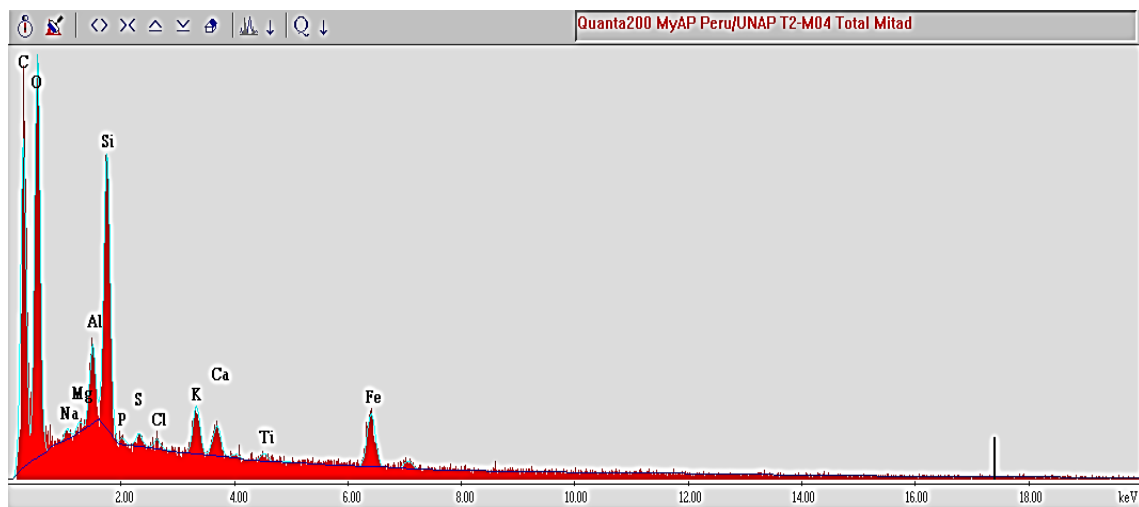


Figura 38.- Espectroscopia de Energía Dispersa-EDS, análisis de la muestra T2-M04/mitad.

A través de los datos expuestos en el **cuadro 31** así como en el análisis mostrado en la **figura 38**, podemos apreciar nuevamente la presencia de S y de los metales Fe, Al, por el alto contenido de concentración de Si podemos mencionar que se debe a la presencia de silicatos como silicato de aluminio, silicato de calcio y

silicato de hierro, estos recaen en la posibilidad de la influencia mineralógica del sustrato en la que estos líquenes fueron colectados. En la **figura 39**, se puede corroborar la presencia de dichos elementos presentes en el líquen en estudio.

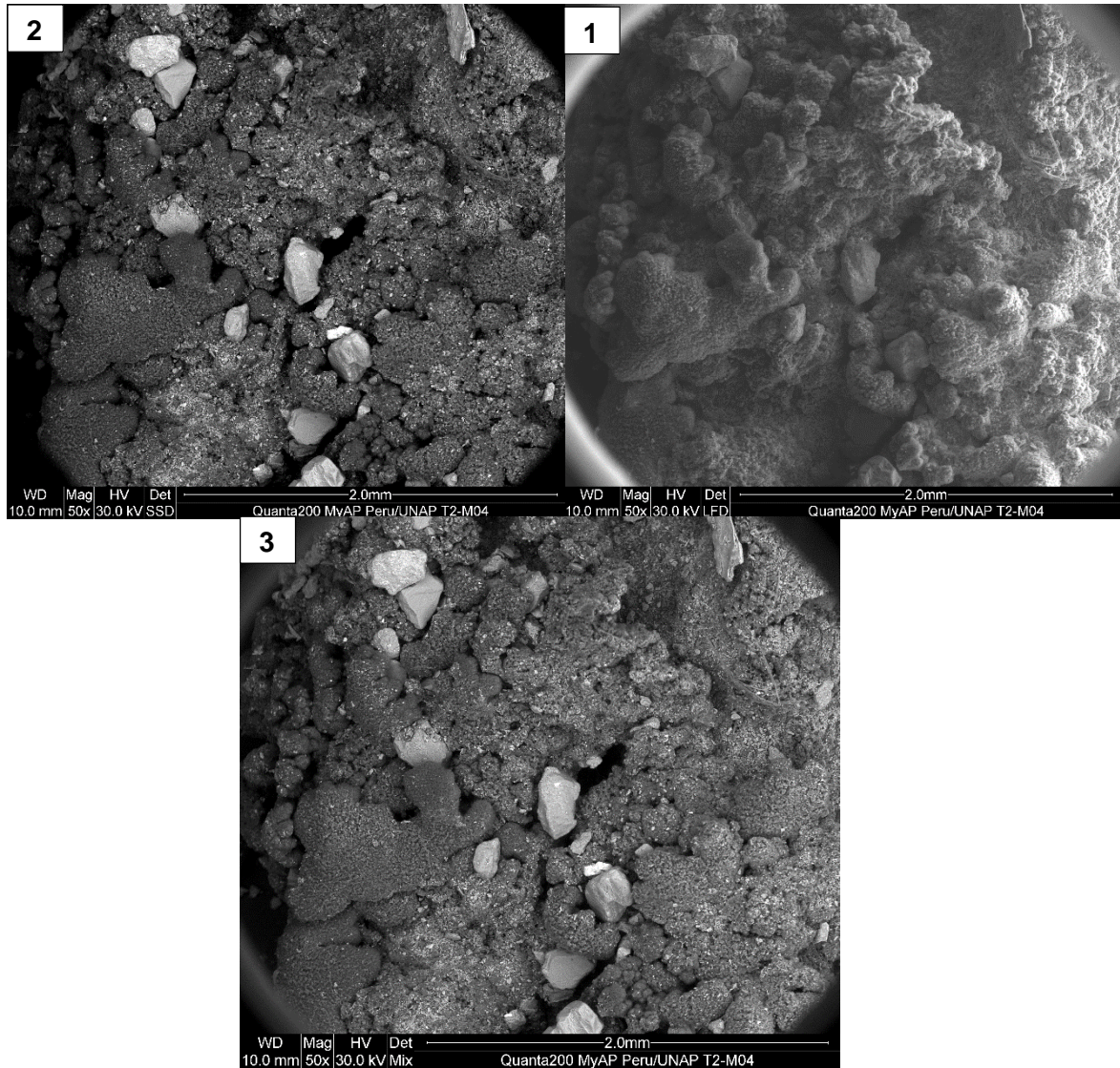


Figura 39.- Resultados representados en imágenes LFD, SSD y MIX de la muestra **T2-M04/mitad**. La imagen LFD (1) muestra la estructura del líquen, en SSD (2) y Mix (3) a lo largo de la superficie del líquen se reflejan la presencia de partículas de un tamaño considerable, comprobando de esta manera la presencia de metales pesados, además de las brillantes.

Cuadro 32.- Concentraciones de elementos químicos y metales para parte del líquen denomina **periferia**.

PERIFERIA		
	Wt%	Ppm
C	56,22	562200
O	39,86	398600
Na	0,25	2500
Mg	0,13	1300
Al	0,45	4500
Si	1,33	13300
S	0,13	1300
Cl	0,38	3800
K	0,33	3300
Ca	0,15	1500
Ti	0,06	600
Fe	0,73	7300

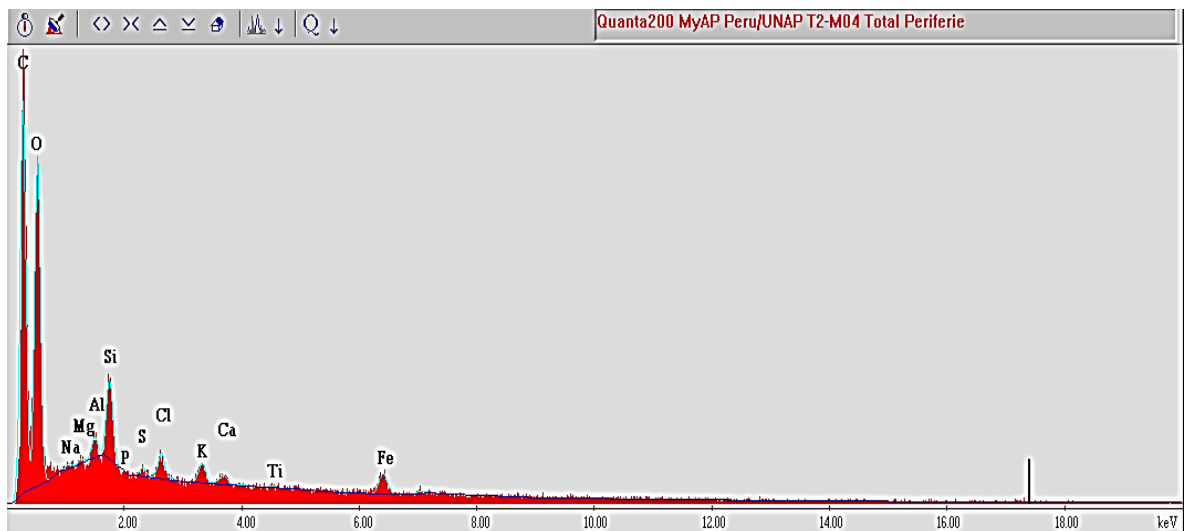


Figura 40.- Espectroscopia de Energía Dispersa-EDS, análisis de la muestra T2-M04/**periferia**.

Los datos consignados en el **cuadro 32** y graficados en la **figura 40**, nos indica que los metales Al, Fe, Ti, disminuyeron en concentración, al igual que silicio, esto debido a que los lóbulos de *Parmotrema andinum* se encuentran separados del sustrato por lo que se descarta que puedan ser producto de la influencia mineralógicas de la roca, lo que se puede percibir a continuación en la **figura 41**.

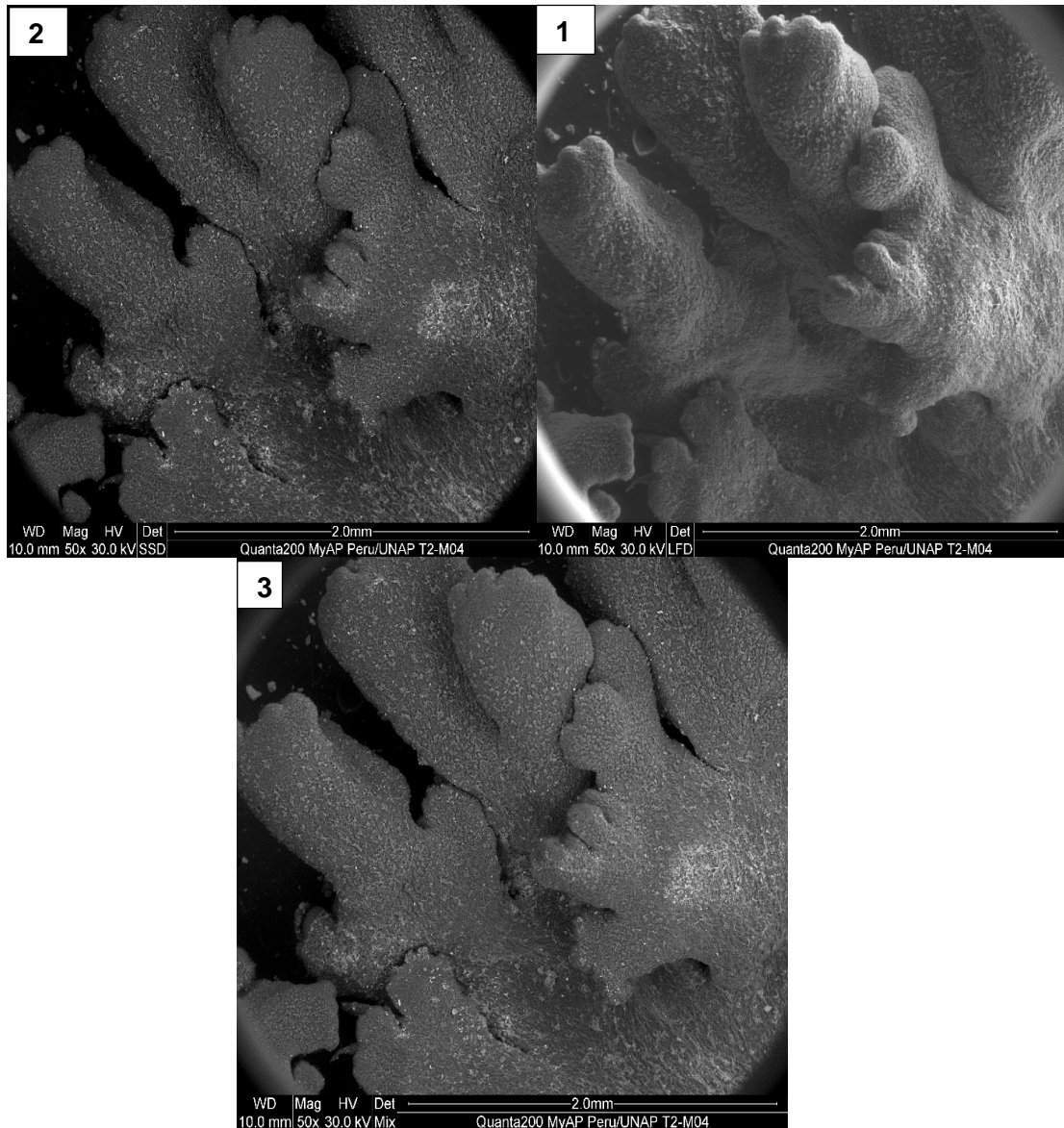


Figura 41.- Resultados representados en imágenes LFD, SSD y MIX de la muestra **T2-M04/periferia**. La imagen LFD (1) muestra la estructura del liquen, los lóbulos muy bien definidos por estar en la periferia, en SSD (2) y Mix (3) reflejan la presencia de partículas brillantes, notándose a diferencia de la

- **Toma puntual:** Las partículas que se refleja en la figura T2-M04 centro y mitad, despertó el intereses del investigador por lo que se decidió realizar tomas puntuales en estas partes del liquen para conocer a detalle que composición tienen las partículas que a diferencia de las demás muestras tienen un tamaño considerable. La toma puntual indica los elementos en un punto exacto de la estructura del liquen, mientras que en la toma total se

consideran los elementos que se hallan en la parte superficial y dentro de la estructura del líquen.

PUNTUAL 1:

Cuadro 33.- Concentraciones de elementos químicos y metales para parte del líquen denominada **Mitad/Puntual 1**.

ELEMENTO	Mitad P1	
	WT%	Ppm
O	44,06	440600
Al	12,72	127200
Si	18,99	189900
Ca	17,24	172400
Fe	6,99	69900

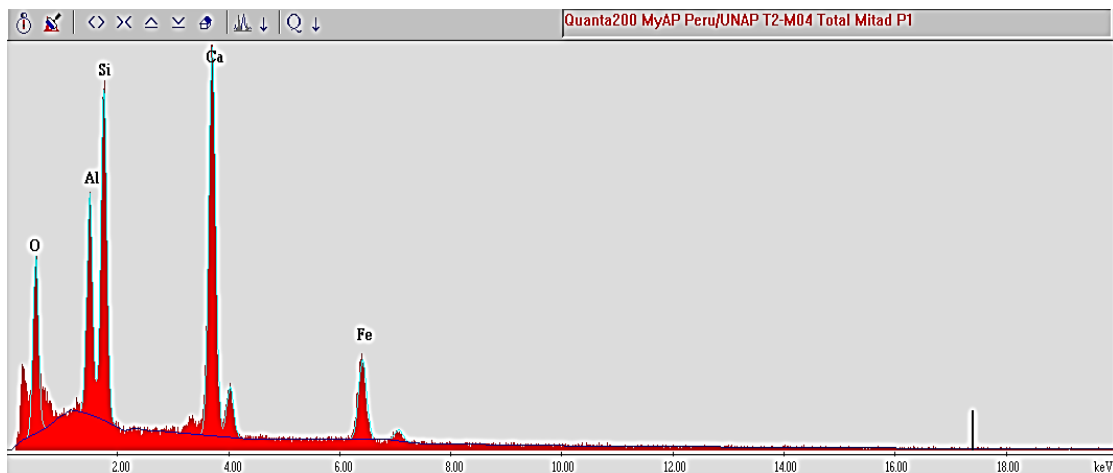


Figura 42.- Espectroscopia de Energía Dispersa-EDS, análisis de la muestra **Mitad/Puntual 1**.

En el **cuadro 33** y representado en el gráfico de la **figura 42**, se puede apreciar el alto contenido de Si, además de Fe, Al y Ca. El cual se relacionan como silicato de calcio, silicato de aluminio y silicato de hierro. La presencia de estos metales se puede apreciar en la **figura 43**

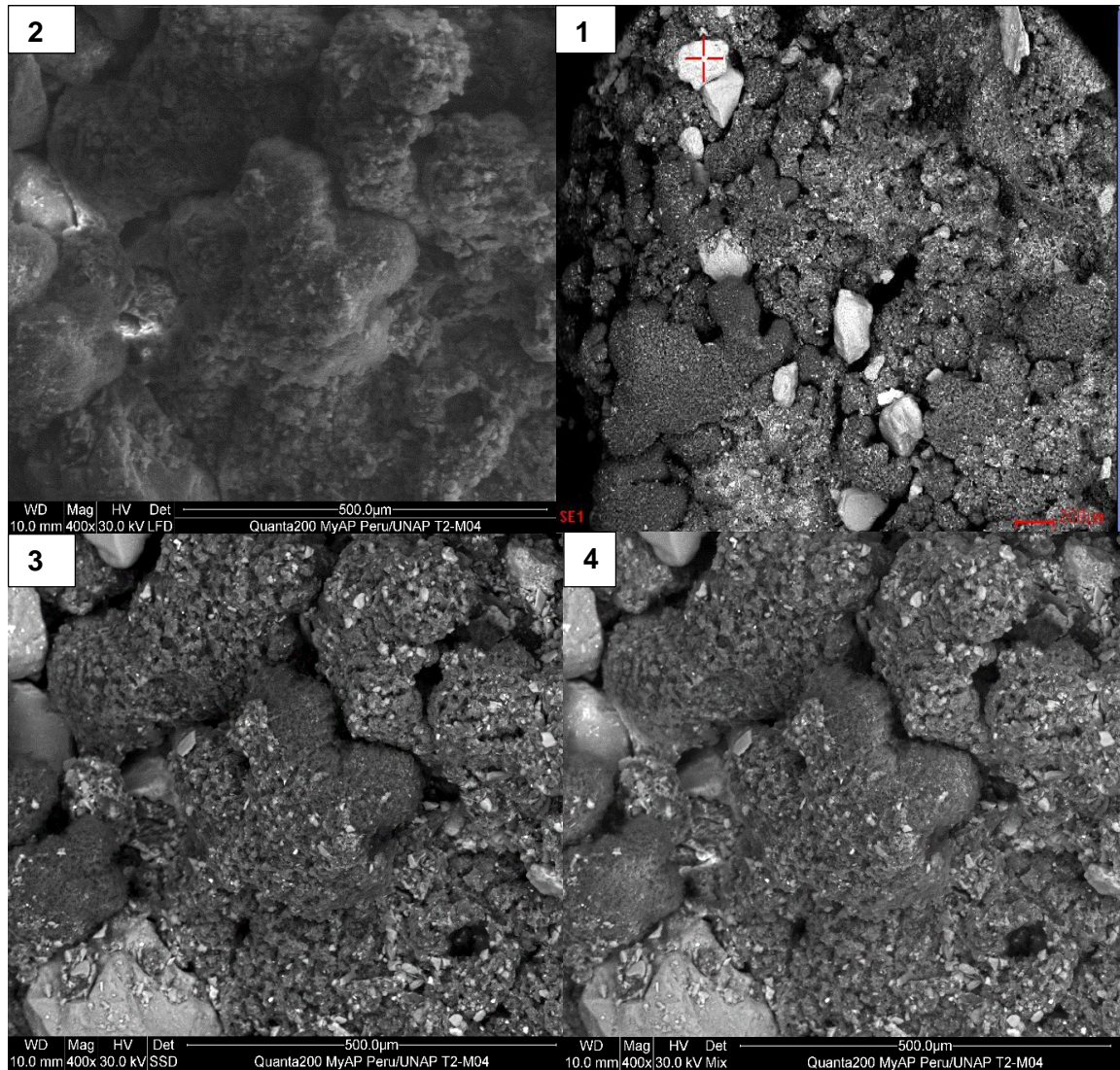


Figura 43.- Resultados representados en imágenes LFD, SSD y MIX de la muestra **Mitad/Puntual 1**. (1) En una cruz de color rojo indica la toma puntual para esta parte del líquen, (2) LFD con un mayor acercamiento de la imagen se nota de un color translucido la humedad que acumula este líquen, por otro lado SSD (3) y Mix (4) se aprecia como el líquen se apodera del metal disgregándolo por lo que lo transforma en partículas más pequeñas

PUNTO 2:

Cuadro 34.- Concentraciones de elementos químicos y metales para parte del líquen denominada **Mitad/Puntual 2**.

ELEMENTO	Mitad P2	
	WT%	ppm
O	46,37	463700
Na	5,6	56000
Al	14,29	142900
Si	29,59	295900
Ca	4,15	41500

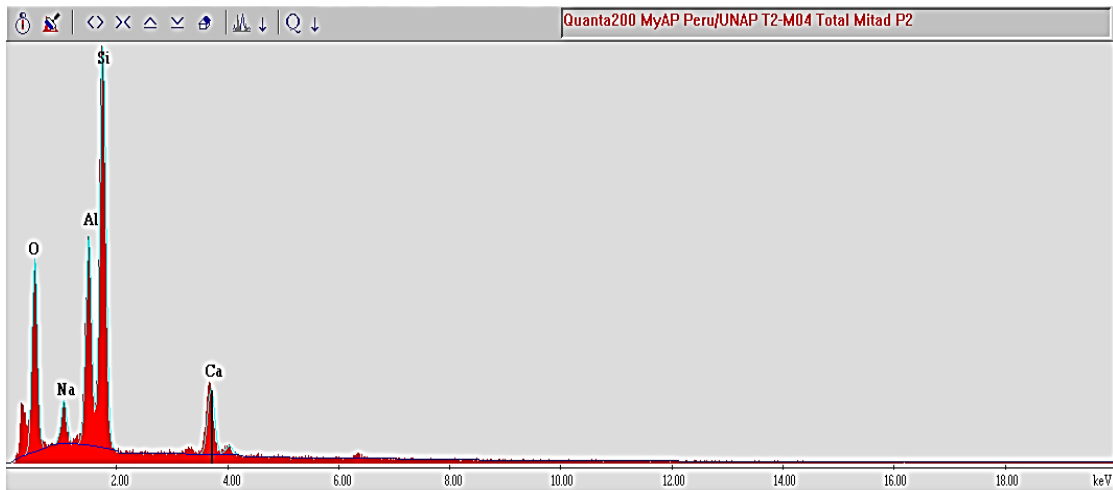


Figura 44.- Espectroscopia de Energía Dispersa-EDS, análisis de la muestra **Mitad/Puntual 2**.

En el **cuadro 34** y representado en el gráfico de la **figura 44** para esta toma puntual se puede apreciar también el alto contenido de Si, además de Na, Al y Ca.

Haciéndose notar la ausencia de Fe. La presencia de estos metales se puede apreciar en la **figura 45**.

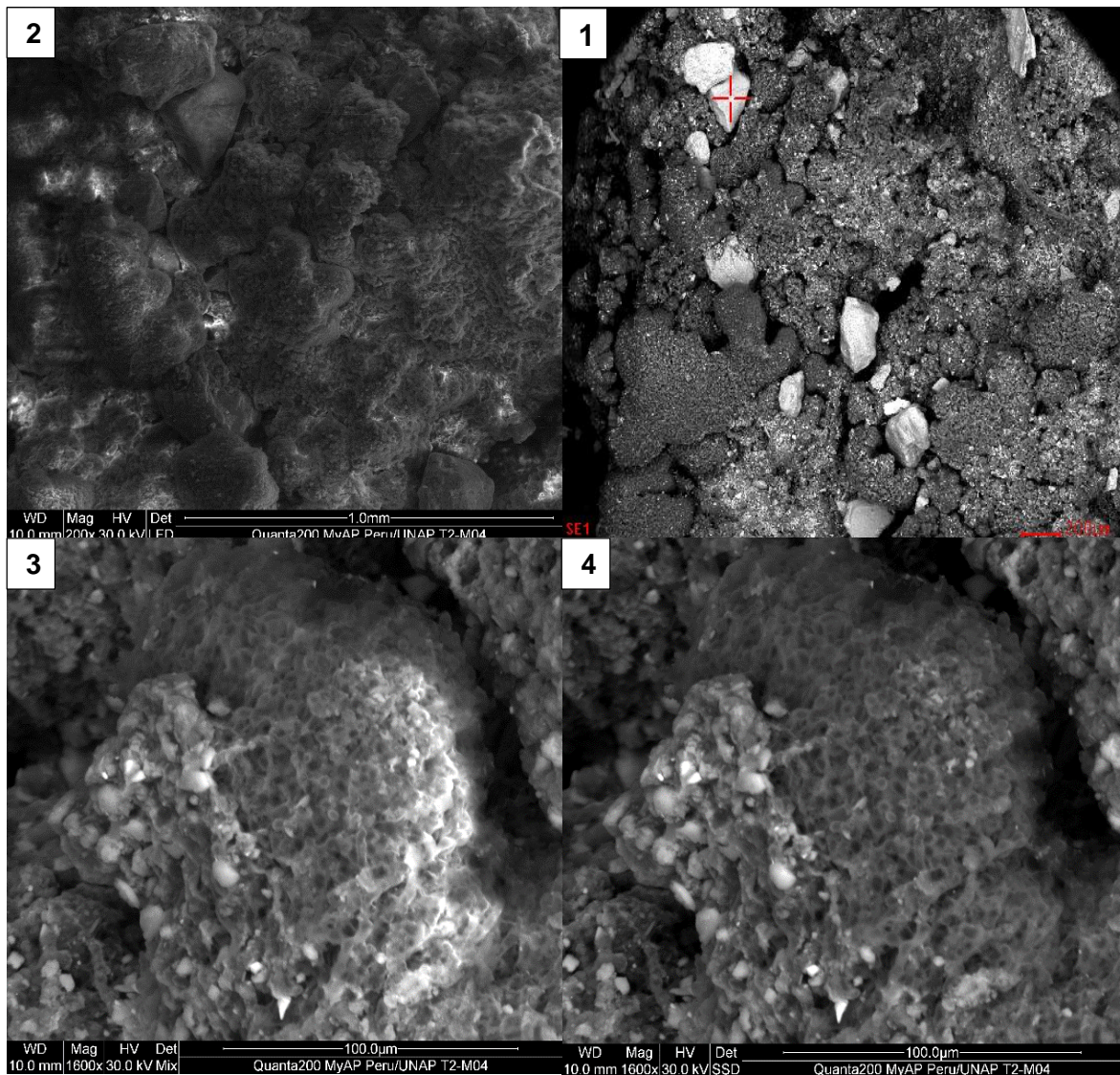


Figura 45.- Resultados representados en imágenes LFD, SSD y MIX de la muestra **Mitad/Puntual 2**. (1) En una cruz de color rojo indica la toma puntual para esta parte del líquen, la capacidad de absorción de humedad del líquen se aprecia en LFD (2) como ya se reiteró anteriormente, con un mayor acercamiento en Mix (3) y SSD (4) se puede percibir claramente como las partículas, silicato, plagioclasas están presentes en la superficie y son aglutinadas por el líquen.

9.3.3. Zona alto tránsito vehicular en Lima

Como ya se mencionó anteriormente, se decidió evaluar en una zona con alto tránsito vehicular para medir los rangos de contaminación y compararlos con la zona de estudio (Zona Arqueológica de Teatino) para esto elegimos la zona de Habich ubicada en la Panamericana Norte.

- **Muestra 04: HAB-ME3**

Cuadro 35.- Concentraciones de elementos químicos y metales para parte del líquen denominada **centro**.

CENTRO		
	Wt%	Ppm
C	46,14	461400
O	42,31	423100
Na	0,36	3600
Mg	0,37	3700
Al	1,98	19800
Si	4,92	49200
S	0,14	1400
Cl	0,49	4900
K	0,72	7200
Ca	0,82	8200
Ti	0,19	1900
Fe	1,55	15500

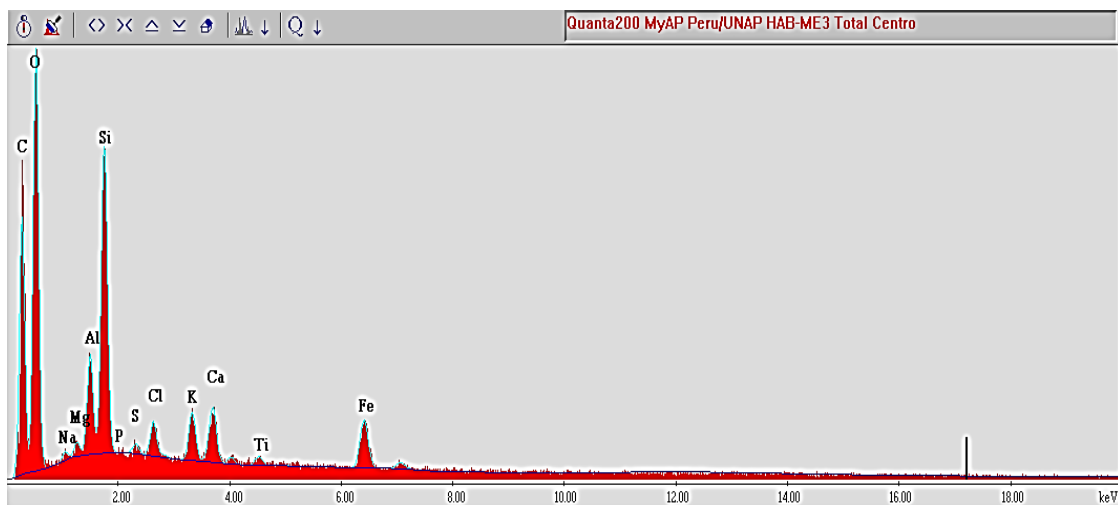


Figura 46.- Espectroscopia de Energía Dispersa-EDS, análisis de la muestra HAB-ME3/centro.

Al encontrarse esta muestra en una zona de alto tránsito vehicular se esperó encontrar que los niveles de concentración de metales incrementaran a comparación de las demás muestras, el cual se puede apreciar en el **cuadro 35** y representar en la gráfica de la **figura 46**, para los metales Ti, Al y Fe en esta parte del líquen se puede percibir un incremento significativo, además de Si, S se mantienen regularmente, sin dejar de mencionar los elementos propios del líquen, haciéndose notar la ausencia de P. los detalles de la presencia de estos elementos se puede observar en la **figura 47**

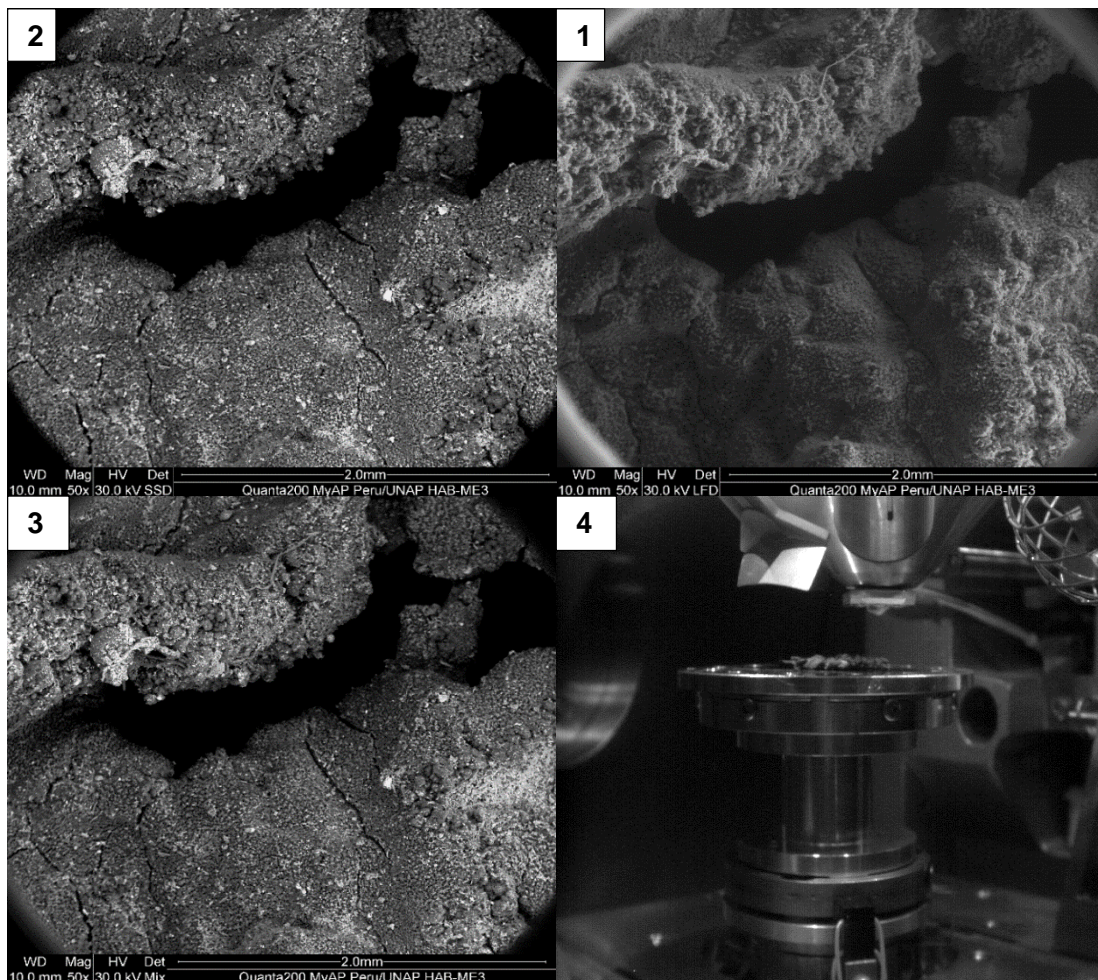


Figura 47.- Resultados representados en imágenes LFD, SSD y MIX de la muestra **HAB-ME3/centro**. En LFD (1) se puede apreciar la estructura del líquen. SSD (2) y Mix (3) a lo largo de la superficie del líquen se reflejan la presencia de los metales reconocidos por su brillantez. (4) colocación de la muestra previa a su análisis.

Cuadro 36.- Concentraciones de elementos químicos y metales para parte del líquen denominada **mitad**.

MITAD		
	Wt%	Ppm
C	48,08	480800
O	40,92	409200
Na	0,32	3200
Mg	0,45	4500
Al	1,65	16500
Si	3,86	38600
P	0,13	1300
S	0,32	3200
Cl	0,62	6200
K	0,67	6700
Ca	1,27	12700
Ti	0,17	1700
Fe	1,55	15500

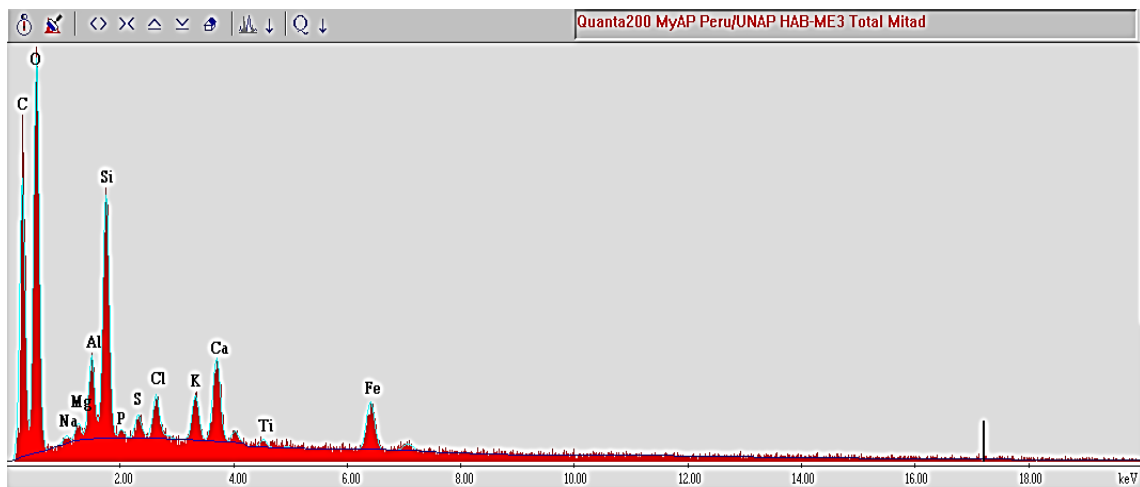


Figura 48.- Espectroscopia de Energía Dispersa-EDS, análisis de la muestra HAB-ME3/mitad.

En el **cuadro 36** representado en los gráficos de la **figura 48**, se puede percibir elementos propios del liquen como el C, O, Cl, para esta parte se hace notar la presencia de P a diferencia de la parte descrita anteriormente (centro), no se descarta la posibilidad de que la presencia de S como fue descrito anteriormente se debe al impacto que causa la planta procesadora de azufre, además de los metales Fe, Ti Al que se mantienen. Si como se ha indicado anteriormente tenga relación con el sustrato.

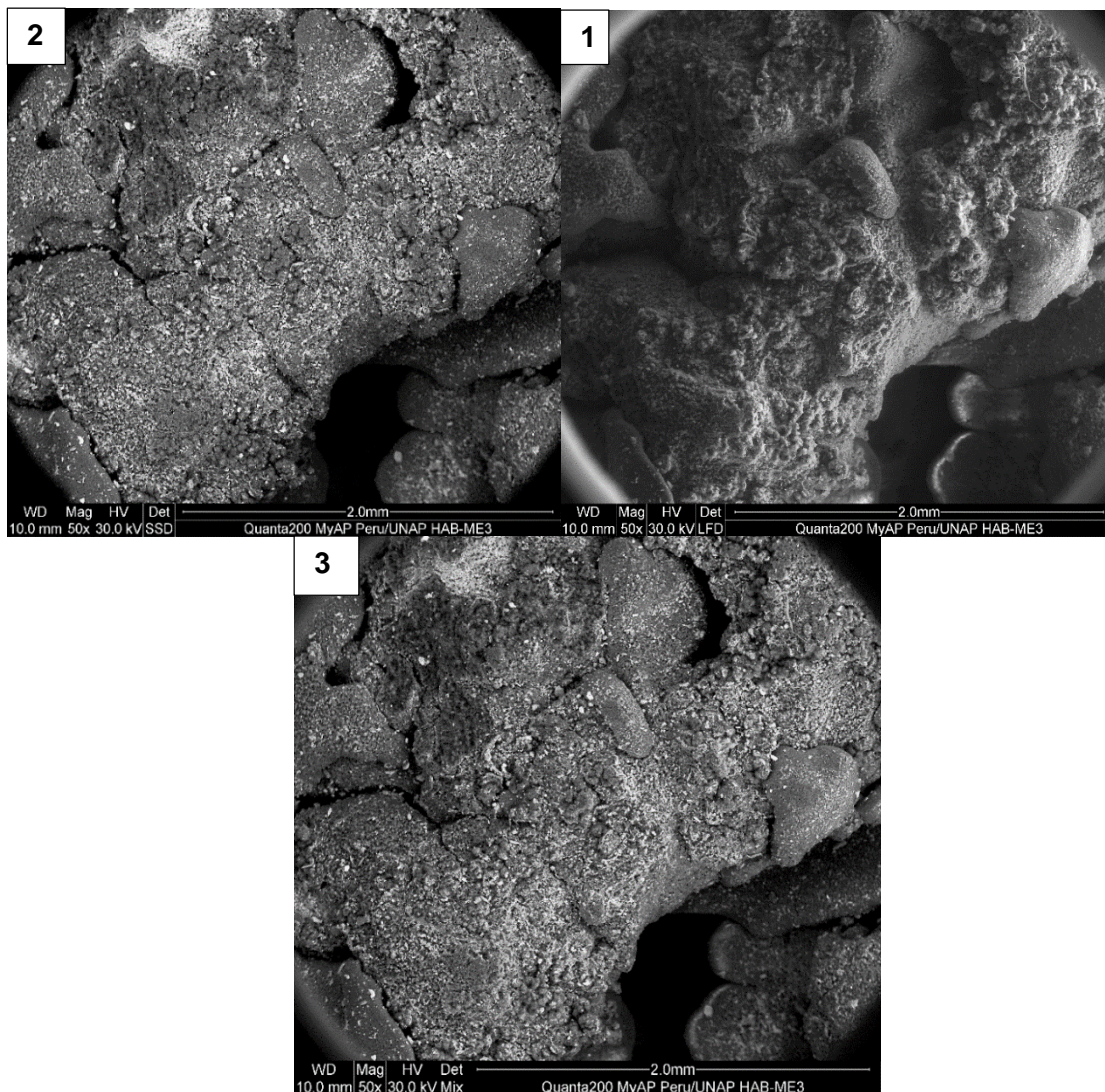


Figura 49.- Resultados representados en imágenes LFD, SSD y MIX de la muestra **HAB-ME3/mitad**. LFD (1) muestra la estructura de liquen, SSD (2) y Mix (3) en un acercamiento de 2.0 mm, la presencia de partículas adheridas al liquen, las cuales como ya se describió anteriormente se pueden reconocer por su

brillantez, pudiendo representar la presencia de metales representados en el **cuadro 36**.

Cuadro 37.- Concentraciones de elementos químicos y metales para parte del liquen denomina **periferia**

PERIFERIA		
	Wt%	Ppm
C	45,23	452300
O	43,29	432900
Na	0,33	3300
Mg	0,49	4900
Al	1,97	19700
Si	4,74	47400
P	0,05	500
S	0,22	2200
Cl	0,68	6800
K	0,83	8300
Ca	0,62	6200
Ti	0,19	1900
Fe	1,36	13600

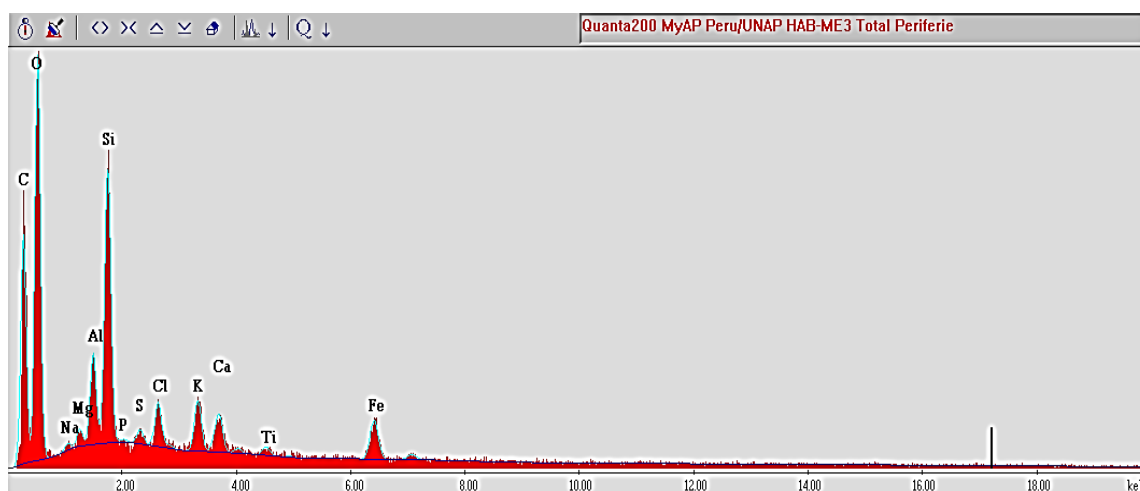


Figura 50.- Espectroscopia de Energía Dispersa-EDS, análisis de la muestra HAB-ME3/periferia.

Los datos obtenidos en la **HAB-ME3/periferia**, consignados en el **cuadro 37** y representados en la **figura 50** siguen indicando la presencia de S y de los metales ya mencionados anteriormente Fe, Ti, Al, y los elementos que pueden ser considerados propios del liquen, C, O, Cl, P. En las tres partes de estas muestras

a diferencia de las anteriores como ya se mencionó, se hace notar un incremento de las concentraciones, recayendo en la posibilidad de que los impactos ambientales estarían ocasionando esta reacción.

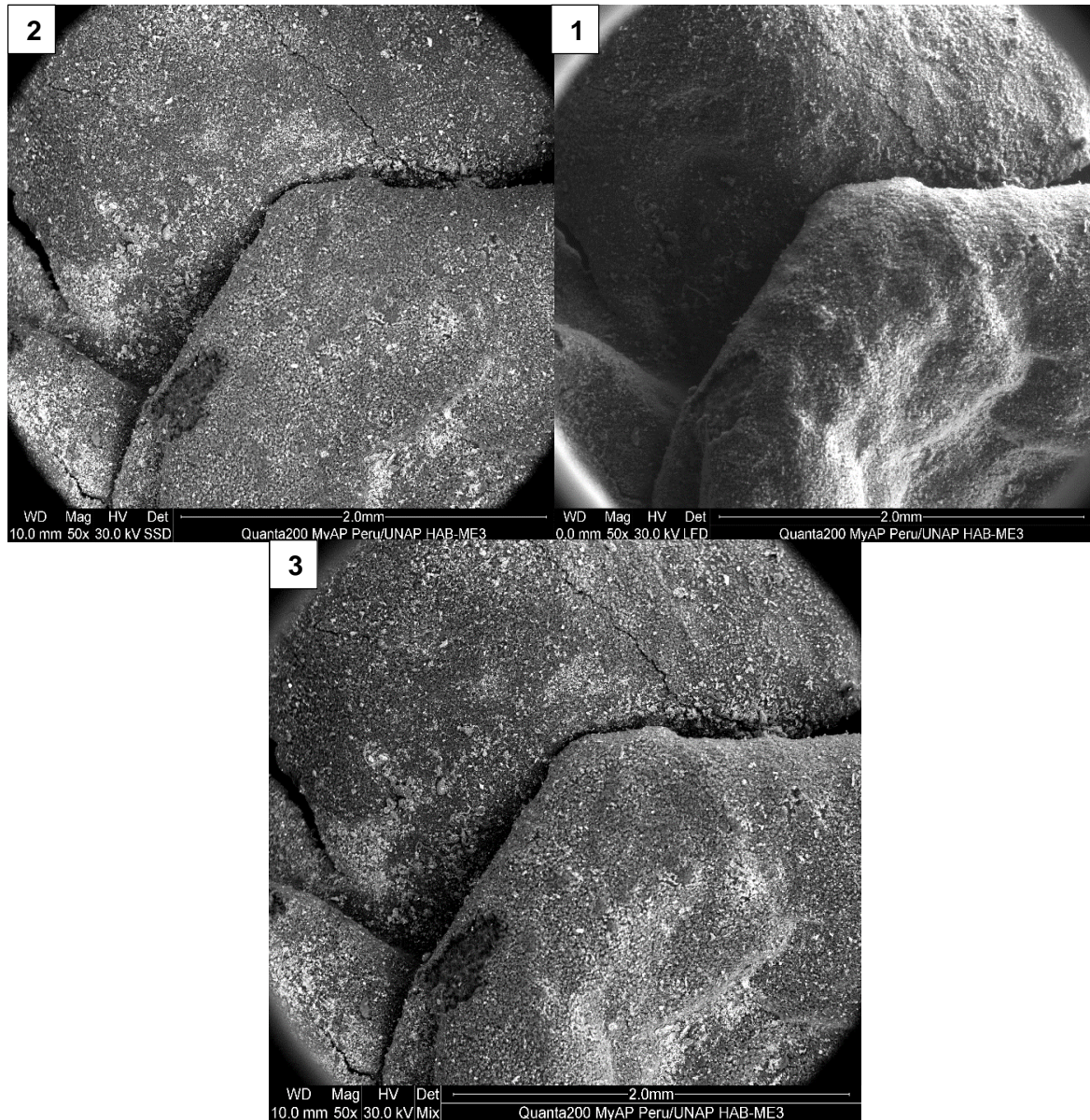


Figura 51.- Resultados representados en imágenes LFD, SSD y MIX de la muestra **HAB-ME3/periferia**. LFD (1) muestra la estructura los lóbulos bien definidos del liquen, SSD (2) y Mix (3) en un acercamiento de 2.0 mm, la presencia de material brillante denota los metales pesados o elementos que pueden ser tóxicos en la superficie del liquen, están representados en el **cuadro 37**.

DATOS ÓXIDOS: se realizaron análisis de óxidos para las muestras de la zona teatino 1 y de Habich, para esclarecer las diferencias ya que las muestras de Habich (trasplantadas) fueron colectadas de la zona teatino 1 puesto que esta fue denominada como zona control o zona protegida. Además mostraremos el impacto que causa la ladrillera Rex que se encuentra aproximadamente a 2 km del lugar donde se trasplanta la muestra

Cuadro 38.- Comparación de las concentraciones de óxidos en la zona teatino 1 y Habich.

PARTES ELEMNETO	CENTRO		mitad		periferia	
	T1-M01	HAB-ME3	T1-M01	HAB-ME3	T1-M01	HAB-ME3
Na₂O	0,09	0,38	0	0,41	0,2	0,43
MgO	0,08	0,46	0,18	0,54	0,26	0,4
Al₂O₃	0,57	2,23	0,46	1,84	1,51	2,32
SiO₂	1,66	6,11	1,23	4,68	3,91	5,96
K₂O	0,25	0,43	0,19	0,44	0,31	0,53
CaO	0,15	0,66	0,05	0,95	0,20	0,51
Fe₂O₃	0,60	1,18	0,31	1,06	0,86	1,00

El **cuadro 38** muestra en resumen los componentes utilizados para la elaboración de ladrillos, componentes óxidos del resultado que expuso el análisis en microscopía Electrónica de Barrido ambiental, se puede percibir un incremento de la concentración para la zona Habich, demostrando una vez más la capacidad de absorción del líquen, para este estudio *Parmotrema andinum*.

X. DISCUSIÓN

De acuerdo al objetivo de esta investigación y a la metodología planteada se esperó mucho más, sin embargo solo se obtuvieron resultados positivo en una zona (Zona Teatino 1) y en una sola variable (Tamaño-Altitud), posee un valor 0,02 (redondeado de 0,0218), lo cual indica que existe suficiente evidencia estadística para demostrar que existe correlación entre las variables, para este caso lo que hace débil a la investigación, ya que en los demás resultados no existe suficiente evidencia estadística que sea significativa para demostrar que existe correlación entra las variables en las dos zonas, por lo que no se pudo correlacionar estas variables con los resultados del análisis de metales pesados (MEBA).

Los resultados obtenidos en el análisis de metales pesados realizados en el Microscopio Electrónico de Barrido Ambiental se realizó en muestras de líquenes del Género Parmotrema andinum, como se planteó en la investigación de (Marie 2007) el cual alcanzó buenos resultados.

Las concentraciones encontradas en las muestras analizadas no fueron las esperadas, esto puede ser explicado porque los metales pueden estar presentes en un líquen de forma extracelular, sin ocasionar daño (solo acumulándose),o de forma intracelular, produciendo daño al aparato celular y causando su desaparición (Rivas Plata, 2006). A pesar de lo mencionado los resultados arrojaron diferencias en la acumulación de elementos para las zonas de estudio con la de Habich (trasplantada), algunos biomonitores pueden responder a la contaminación alterando su fisiología o su capacidad para acumular elementos o sustancias (Lijteroff, et all. 2009).

En la Zona Teatino 2 existe ausencia del género en estudio de acuerdo a Rivera (2008), encontro que la zona con más industrias y tráfico vehicular resultó ser en la que menos diversidad de líquenes se encontró. Por lo que muestra una relación directa entre la presencia de industrias y el tránsito vehicular con la diversidad y la cantidad de líquenes, puesto que esta zona se encuentra a pocos kilometros de la carretera panamericana norte, aun en ausencia de estas especies los resultados del MEBA no arrojaron metales propios de estos contaminantes.

Chiarenzelli *et al* (1997), evaluaron la liquenobiota saxícolas, en el distrito de Keewatin en Canadá, analizaron 12 especies de líquenes, donde encontraron presencia de Arsénico (As), Cadmio (Cd), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Niquel (Ni), Plomo (Pb), Antimonio (Sb), Vanadio (V) y Zinc (Zn). Llegaron a la conclusión que esto no es una fuente significativa de metales pesados pero demostraron de esta manera la capacidad que tienen los líquenes como bioacumuladores más eficientes, lo que ocurre en este trabajo de invetsigación no se desestima la capacidad de absorción del liquen analizado.

Kularatne & De Freitas (2013), evaluaron en la zona metropolitana de Aucqland, Nueva Zelanda el desempeño del liquen *parmotrema reticulatum* como biomonitores de la contaminacion del aire estos fueron evaluados durante un periodo de dos años y utilizaron metodología de biomonitoreo activo y pasivo; analizaron en el talo las concentraciones de matales pesados. Posteriormente lograron demostrar que los líquenes son acumuladores de manera continua, lo que puede reflejar la debilidad en los resultados para las muestras transplantadas para este caso que debio estar mas tiempo expuesta.

De acuerdo a Chaparro et al. (2010), las emisiones asociadas a los gases de escapes desde vehiculos de combustión interna (nafta y/o diésel) son portadoras de metales como Plomo (Pb), Hierro (Fe), Cobre (Cu), Zinc (Zn), Niquel (Ni) y Cadmio (Cd). El desgaste del sistema de frenos aporta partículas enriquecidas con Hierro (Fe), Bario (Ba), Carbono (C), Oxigeno (O), Aluminio (Al), Silicio (Si), Azufre (S), Magnesio (Mg), Cobre (Cu), Zinc (Zn) y Cromo (Cr), en mencion a algunos de estos metales encontrados en este estudio de investigación tales como; Hierro (Fe), Bario (Ba), Carbono (C), Aluminio (Al), Azufre (S), Oxigeno (O), Silicio (Si), no se descarta la posibilidad de que sean parte de estos factores.

XI. CONCLUSIÓN

1. La especie a estudiar fue identificada como *Parmotrema andinum*. Esta especie evita las tierras bajas tropicales, pero Lima es excepcional debido a las corrientes marinas que la mantienen muy fresca, aparentemente adecuada para *P. andinum*.
2. Se registraron 32 puntos de evaluación, 16 para cada zona de estudio, debido a la falta de sustrato rocoso, sin descartar la posibilidad de que las condiciones ambientales no son favorables, en la Zona Teatino 2 (desprotegida), no se registraron las especies en estudio en los puntos 22, 26-29.
3. El análisis estadístico de regresión y correlación arrojaron valores positivos para las variables Tamaño y Altitud para la Zona Teatino 1, con un valor de 0.02 el cual indica que existe suficiente evidencia estadística para demostrar que existe correlación entre estas variables. Sin embargo no se observan diferencias importantes por lo que no puede ser correlacionado con el análisis de metales en las muestras de líquenes.
4. La Microscopía Electrónica de Barrido ambiental, es una herramienta efectiva y adecuada para el estudio de partículas depositadas en líquenes, permitiendo analizar su morfología y composición elemental

5. El resultado del análisis en Microscopía Electrónica de Barrido ambiental, no arroja la presencia de metales pesados esperados u accionantes de la contaminación por vehículos.
6. Sin desestimar la capacidad de absorción del liquen se encontraron metales como: Aluminio (Al). Titanio (Ti), Bario (Ba), Hierro (Fe), en concentraciones máximas para la zona Teatino 2 y Habich.
7. Las concentraciones de óxidos incrementaron en las muestras trasplantadas en Habich en comparación a las muestras que se encuentran en la zona teatino 1, no se descarta la posibilidad que sea producto de las instalaciones de la fábrica Rex (ladrillera).(ver anexo-figura 25).
8. No existe una normativa nacional (ECA) que indique los Límites Máximos Permisibles para los metales encontrados en esta investigación por lo que no se pudo corroborar el estado de la calidad del aire en las zonas de estudio.

XII. RECOMENDACIÓN

- 1.** El monitoreo de la contaminación ambiental por métodos normatizados, es costoso desde el punto de vista del equipamiento y del tiempo, por lo que es necesario prestar más atención a especies biológicas bioindicadores como los líquenes.
- 2.** Investigar más sobre la utilización de líquenes como bioindicador de la contaminación atmosférica y acumuladores biológicos de elementos tóxicos, ya que el Perú posee una gran diversidad de especies.
- 3.** Utilizar el microscopio electrónico de Barrido ambiental para diversas investigaciones ya que provee información directa de componentes (contaminantes), presentes en el ambiente especialmente en agua y suelo.
- 4.** Investigar el género *Parmotrema* y sus especies en diferentes condiciones para determinar su grado de absorción de elementos tóxicos como metales pesados.
- 5.** Es necesario profundizar la investigación respecto a la influencia de factores abióticos en el crecimiento del líquen (tamaño).
- 6.** Dejar más tiempo de exposición a las muestras trasplantadas, para mejor resultado.

XIII. BIBLIOGRAFIA

- Anze, R., Franken, M., Zaballa, M., Pinto, M., Zeballos, G., Cuadros, M. Á., Canseco, Á., De la Rocha, A., Estrellano, V.H. & Del Granado, S. 2007. Bioindicadores en la detección de la contaminación atmosférica en Bolivia. Revista Virtual REDESMA, 1, 54-74pág.
- Aponte, H. 2003. La contaminación ambiental y su impacto en el calentamiento global, junta de calidad ambiental. Instituto de Educación Ambiental. <http://webdelprofesor.ula.ve/nucleotrujillo/materano/Ambiental/1.pdf>
<consulta: 22 de enero del2017>.
- Enzemberg, H. M. 2000. Los líquenes “el más lento telegrama”. (Recuperado de <http://ri.ues.edu.sv/8748/1/19200598.pdf>). <consulta: 10 de enero del 2017>.
- Barreno, E. 1997. Hongos simbiotes: líquenes, micoficobiosis y micorrizas. Botánica. Madrid, McGraw-Hill/Interamericana de España. pp. 309-340 pág.
- Barreno E. & Pérez S., 2003. Líquenes de la reserva natural integral de Muniellos, Austria. Consejería del medio ambiente, ordenamiento del territorio e infraestructura del principado de Austria. KRK ediciones Álvares Lorenzana. 89 – 90, 594pág.
- Bernasconi, E., De Venito, I.E., Martínez, L. D. y Raba, J. 2000. Líquen *Usnea* como bioindicador de metales pesados. Determinación por ICP-AES

- acoplado con nebulizador ultrasónico. *Ars Pharmaceutica*, 41, 249-257 pág.
- Bedregal, P., Torres, B.; Mendoza, P., Ubillús, M., Hurtado, J., Maza, I. y Espinoza, R. 2005. Uso de *Usnea* sp. y *Tillandsia capillaris*, como bioindicadores de la contaminación ambiental en la ciudad de Lima, Perú. Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN). Informa científico y tecnológico. 151-156 pág.
- Benson, J. D. 1969. Reductions of Nitrogen Oxides in Automobile Exhaust, S.A.E. International Automobile Engineering Congress, Detroit, Mich, 13-17 pag.
- Beteta, V. 2015. Calidad del aire en el campus de Universidad Nacional Agraria de la Selva mediante líquenes como bioindicadores. Tesis (Ingeniero Ambiental). Tingo María, Perú. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Facultad de Ingeniería Química. 37 pág.
- Broad, K. 1989. Lichens in Southern Woodlands. London, HMSO Books. 48 pag.
- Brodo, I., Duran, S.. & Sharnoff S. 2001. Lichens of North America. Yale University Press, New Haven, Connecticut, 795 pág.
- Boamponsem, L. K., Adam, J. L., Damper, S. B., Nyarki. B. J. B, & Essumang. D. K. (2010). Assessment of atmospheric heavy metal deposition in the Tarkwa goldmining area of Ghana using epiphytic lichens. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, 268, 1492-1501pág.
- Burgart F., Yáñez. A; Nugra F & F. Ziemmeck,. 2013. Guía rápida de líquenes de las Islas Galapagos. Fundación Charles Darwin. Versión 3.
- Bustos, S. 2004. Aplicación de modelos de dispersión atmosférica en la evaluación de impacto ambiental. Tesis magister de la Universidad de Chile, Santiago de Chile. 45 pág.

- Canseco, A., Anze, R. & M. Franken. 2006. Comunidades de líquenes: Indicadores de la calidad del aire en la ciudad de La Paz, Bolivia. ACTA NOVA 3, 286-307 pág.
- Castillo, F (2011). Uso de líquenes como bioindicadores en presencia de metales pesados en zonas de pasivos ambientales mineros en abandon. Tesis para optar el título de Ingeniero Ambiental.
- Cepeda, J. & García, J. 1998. The effect of air pollution from nitrogen dioxide (NO₂) on epiphytic lichens in Seville, Spain. *Aerobiología*, 14, 241-247pág.
- Chaparro, M.A.E., Marié, D.C., Gogorza, C.S.G., Navas, A., Sinito, A.M., 2010. Magnetic studies and scanning electron microscopy - X-ray energy dispersive spectroscopy analyses of road sediments, soils and vehicle-derived emissions. *Stud. Geophys. Geod.* 54, 633–650. doi:10.1007/s11200-010-0038-2
- Chiarenzelli, J. R., Aspler, L. B., Ozarko, D. L., Hall, G.E.M., Powis, K.B., & Donaldson, J.A. (1997). Heavy metals in lichens, souther district of keewatin, Northwest Territories, Csnada. *Chemosphere*, 35(6), 1329-1341 pág.
- Cuba, A. & Villacorta, R. (2008). Liquenobiota epifita como indicadora de contaminación atmosférica de la baja troposfera del Centro Histórico del Cusco. Tesis para optal el grado de Biologo. Perú. Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.
- Diaz, E (2006). Utilización de los líquenes como bioindicadores de contaminación por presencia de metales pesados en áreas andinas ubicadas en los alrededores de las unidades mineras. Universidad Nacional de Ingeniería. Facultad de Ingenieria Ambiental, Perú.

- Domeño, C., Blasco, M., Sánchez, C & C. Nerín, 2006. A fast extraction technique for extracting polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) from lichens samples used as biomonitors of air pollution: Dynamic sonication versus other methods Aragón. *Analytica Chimica Acta* 569, 103-112pág.
- Elix, J. A. 2011. *Heterodermia*. Australian National Botanic Gardens. (Recuperado JAElix, *heterodermia*, Australian Physciaceae (Lichenised Ascomycota) [Http://www.anbg.gov.au/abrs/lichenlist/Heterodermia.pdf](http://www.anbg.gov.au/abrs/lichenlist/Heterodermia.pdf) (2011).
- Fernández, J. 2007. Estudio de líquenes para conocer el efecto del cambio climático. Recuperado de <http://www.ucm.es/info/ucmp/cont/descargas/prensa/tribuna1086.pdf>.
- Fuga, A., Saiki, M., Marcelli, M. Saldiva, P. 2008. Atmospheric pollutants monitoring by analysis of epiphytic lichens. *Environmental Pollution*, 151, 334-340 pág.
- Flanders, P.J., 1994. Collection, measurement, and analysis of airborne magnetic particulates from pollution in the environment. *J. Appl. Phys.* 75(10), 5931–5936pág.
- Froehlich, A. 2006. A look at Willamette valley air quality using lichen communities as bioindicators. *Research Based Learning* 49, 377-389 pág.
- Giornadi, P. 2007. Is the diversity of epiphytic lichens a reliable indicator of air pollution. A case study from Italy. *Environmental Pollution*, 146, 317-323 pág.
- Golubev, A. V., Golubeva, V.N., Krylov, N. G., Kuznetsova, V. F., Mavrin, S. V., Aleinikov A. Y., Hoppes, W. G. Surano, K.A. 2005. On monitoring anthropogenic airborne uranium concentrations and ²⁵³U/²³⁸U isotopic ratio by Lichen e bio-indicator technique. England, *Journal of Environmental Radioactivity*, 84, 333.342 pág.

- Hawksworth D. L., Iturriaga, T. & Crespo A., 2005. Liqueenes como bioindicadores inmediatos de contaminación y cambios medio-ambientales en los trópicos. *Revista Iberoamericana de Micología*. 22: 71, 72 - 82pág.
- Hammer. O, Harper. D & Ryan. P (2001). Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontological Association*, 03 pág.
- Henry, J G y Heinke, G W., (1999). *Ingeniería Ambiental*. Prentice Hall, ISBN: 970-17-0266-2. Cap 13. 518 pág.
- Henssen, A. & Jahns, H.M. 1974. *Lichenes*. Georg Thieme, Stuttgart. 467 pp.
- Hipertextos del área de la biología. 1998-2007. Universidad nacional del nordeste. Facultad de agroindustrias, Saenz Peña, chaco república Argentina. Redacción Lidia Itatí Ferraro y Ana Maria Gonzales.<http://www.biologia.edu.ar/fungi/liquenes.htm> <consulta: 21 enero 2017>
- Holgado, R M; Cuba V A; Vargas F J; Villacorta C R & Mamani C J. (2007). Inventario preliminar de los líquenes del Santuario Histórico de Machupicchu provincia de Urubamba Departamento de Cusco. Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco. Facultad de ciencias biológicas. Sociedad Botánica Cusco. 01 pág.
- Huaman, M (2016). Diversidad de líquenes cortícolas y calidad de aire en el distrito de Huancayo. Tesis para optar el título profesional de Ingeniera Forestal y Ambiental
- Jeran, Z., Jacimovic, R., Batic, F. Mavsar, R. 2002. Lichens as integrating air pollutin monitors. *Great Britain, Environmental Pollution*, 120, 107-113 pág.

- Kett, A., Dong, S., Andrachuk, H. Craig, B. (s.f.). Aprendiendo con líquenes. Uso de líquenes epifitos como indicadores biológicos de contaminación del aire. 12-14 pág.
- Kularatne, K. I. A., & de Freitas, C. R. (2013). Epiphytic lichens as biomonitors of airborne heavy metal pollution. *Environmental and Experimental Botany*, 88, 24-32 pág.
- Lamas N. R. 2015. Contaminación del aire en Lima Metropolitana Perú. Recuperado de <http://www.gestiopolis.com/contaminacion-del-aire-lima-metropolitana-peru/> <Consulta: 09 enero 2017>
- La Torre M. I & Ocrospoma M. 1998. Estudio preliminar de los líquenes de las Lomas de Lachay. 7 Congreso Nacional de Botánica. Cajamarca: 25-30 mayo. 136 pág.
- Levornia, J. D. (2009). Las comunidades de Líquenes de Tandil-Buenos Aires como bioindicadores de la calidad del aire. 15-18 pág.
- Lijteroff R., Lima L., & Prieri B 2009. Uso de líquenes como bioindicadores de contaminación atmosférica en la ciudad de San Luis, Argentina. *Rev. Int. Contam. Ambient.* 25: 111-120 pág.
- Lim, M., C., H., Ayoko, G. A., Morawska, L., Ritovsky, Z., D., Jayaratne, E., R., 2007. "The effects of fuel characteristics and engine operating conditions on the elemental composition of emissions from heavy duty diesel buses". *Fuel*, 86, 1831- 1839pág.
- Loppi S. & Pirintsos S.A., 2003. Epiphytic Lichens as sentinels for heavy metal pollution at forest ecosystems (central italy). *Environmental Pollution*. 121: 327-332pág.

- Lücking, R.; del Prado R.; Lumbsch, H.T.; Will-Wolf, S.; Aptroot, A.; Sipman, H.J.M.; Umaña, L. & Chaves, J.L. 2008. Phylogenetic patterns of morphological and chemical characters and reproductive mode in the *Heterodermia obscurata* group in Costa Rica. *Systematics and Biodiversity* 6(1): 31-41 pág.
- Marcelli M., y Seaward M. (1998). *Lichenologists in Latin America: history, current knowledge and applications*. CETESB, Sao Paulo, 177 pág.
- Martínez, C. 2009. *La importancia de la calidad del aire*. Editorial Prensa Asturiana. España
<http://mas.lne.es/cartasdeloslectores/carta/2655/importancia-calidad-aire.html> <consulta: 31 de enero del 2017>.
- Manzur, M. E., Benzal, G & Gonzáles, S. N. 2012. Modelo de dispersión de contaminantes atmosféricos. VII congreso de medio ambiente. La Plata Argentina. 02 pág.
- Méndez & Fournier, L.A. 1980. Los líquenes como indicadores de la contaminación atmosférica en el área metropolitana de San Jose, Costa Rica. En *Revista Biología Tropical*. Vol. 28: 31-39 pág.
- Moberg, R. 2004. The lichen genus *Heterodermia* in Europe and the Macaronesian Islands. Pp. 453-463 pág.
- Molero, R (s.f.). Empleo de bioindicadores en estudios de evaluación de la calidad ambiental. Depto. de Zoología. Universidad de Córdoba. Disponible en <http://www.uco.es/congresos/apoidea/pdf/conferenciaempleobioindicadores.pdf>.

- Morales, E; Lücking, R & Anze, G. 2009. Una introducción al estudio de los líquenes de Bolivia. Universidad Católica Boliviana "San Pablo". Cochabamba-Bolivia. 18-20 pág.
- Morales, E.A. 2006. Algas de Bolivia. Bolivia Ecológica 41: 1-32 pág.
- Nash, T.H. 1996. Lichen Biology. Cambridge University Press, Cambridge. 303 pig.
- National Earth Science Teachers Association (NESTA). 2000. Fuentes de la contaminación del aire. Ventanas al universo. http://www.windows2universe.org/earth/Atmosphere/pollution_sources.html&lang=sp <consulta: 31 de enero del 2017>.
- Nimis, P.L (s.f.) I licheni come bioindicatori dell "inquinamento atmosferico. Italia, Dipartimento di Biologia, Università di Trieste. Recuperado de www.campus.unina.it/cms/download.jsp?id_contenuto=3528.
- Núñez, J A & Vela, Z M. (2008). Líquenes de Inkaterra Hotel-cusco, y alrededores. Universidad Peruana Cayetano Heredia. Cusco- Perú. 05 pág.
- Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE). 1993: Environmental indicators for environmental performance reviews, Paris, 37pág.
- Pérez, J & Gardey A; Publicado: 2010. Actualizado: 2012. Definición de varianza (<http://definicion.de/varianza/>) <consulta: 05 de febrero del 2017>
- Policnik, h., Simoncic, P. Batic, F. 2008. Monitoring air quality with lichens: A comparison between mapping in forest sites and in open áreas. Environmental Pollution, 151, 395-400 pág.

- Puerto A. & .García A. 2008. La Contaminación Atmosférica. Pais, Editorial, (<http://www.cricyt.edu.ar/enciclopedia/terminos/ContamAut.htm>), <consulta: 09 de enero del 2017>
- Purvis. W. 2000. Lichens. The Natural History Museum, London, UK. 112 pag.
- Quispe, K. (2002). Liqueenes como bioindicadores de la calidad del aire en la ciudad de Tingo María. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú. 01 pág.
- Ramos, D; Ramírez, A; Quipuscoa, V; Durand, K & Huallpa, J. 2013. Diversidad de líquenes en el anexo de Tuctumpaya, distrito de Pocsi, Arequipa, Perú. ISSN: 1815-8242. Perú. 130 pág.
- Ramirez A, Cano A 2005. Liqueenes de Pueblo Libre, una localidad andina en la Cordillera Negra (Huaylas, Ancash, Perú). Revista Peruana de Biología. Vol 12 Num 3. 383-396 pág.
- Ramírez A., Arana C., La Torre, M., Roque J. 2003. Comparación de flora líquénica de las lomas de Amancaes y Lachay Lima-Perú. Reunión Científica Antonio Raimondi. 49 pág.
- Redon, J. 1987. Liqueenes Antárticos. Santiago, Intituto Antartico Chileno. 123 p.
- Resolución Ministerial 112-2015-MINAM. Lima, Perú. 14 de mayo del 2015.
- Rivera M. 2002. Los líquenes. Centro eco-educativo de puerto Rico, 2 de febrero de 2002.
- Rivera, E. I. 2008. Tesis “Estudio de líquenes como indicador de los niveles de contaminación en el pueblo de Guayama, Puerto Rico. 35 pág.
- Rivas Plata, D 2006. Uso de líquenes como bioindicadores de presencia de metales pesados en áreas cercanas a empresas mineras de altura en Perú. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima. 17 pág.

- Rojas, S.C 2015. Fuentes de contaminación del aire. <https://mauksnphho8j/fuentes-de-contaminacion-del-aire/> <consulta; 31 de enero del 2017>
- Rod, P. 2011"Varianza y desviación estándar" Disfruta Las Matemáticas. Ed. Rod Pierce. <http://www.disfrutalasmaticas.com/datos/desviacion-estandar.html>. <consulta 05 de febrero del 2017>
- Rubiano L.J. & Chaparro M., 2006. Delimitación de áreas de isocontaminación atmosférica en el campus de la Universidad nacional de Colombia mediante el análisis de bioindicadores (liques epifitos). Acta Biologica Colombiana (online). 11 (2): 82-102 pág.
- Rubio, C., Fernández, E., Hidalgo, M., Quilhot, W. 2002. Effect of solar UV-B radiation in the accumulation of rhizocarpic acid in a lichen species from alpine zones of Chile (en linea) Bol. Soc. Chil. Quím. Vol. 47, N°1 http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S036616442002000100012 <consulta: 21 enero 2017>
- Servicio de Sanidad Forestal y Equilibrio Biológicos (SSF). (s.f). Manuel Red Ce De Nivel II. Parte VII Inventario de Liques Epifitos. 01 pág.
- Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado (SERNANP), 2013. Plan Maestro Reserva Nacional de Lachay 2013-2018. Perú. 10,11 pág.
- Swinscow, T.D.V. & Krog, H. 1976. The genera Anaptychia and Heterodermia in east Africa. The Lichenologist 8: 103-138 pág.

- Tovar, D & Aguinaga, R. 1994. Los líquenes como bioindicadores de contaminación atmosférica, en Lima Metropolitana. Revista de Química. Vol. VIII. N° 2. 149-150 pág.
- Valencia M.C & Ceballos. 2002. Hongos liquenizados. Editorial. El Malpensante S.A. Colombia, 219 pág.
- Valdivia, A (2017). Líquenes como bioindicadores de contaminación atmosférica en pasivos ambientales mineros. Universidad Nacional Federico Villarreal. Facultad de Ingeniería Geográfica Ambiental y Ecoturismo.
- Vargas, A (2013). Calidad atmosférica del Parque Nacional Ceros de Amatope, zona sur, mediante el uso de líquenes epífitos. Universidad Nacional de Piura. Facultad de Ciencias Forestales. Escuela profesional ciencias biológicas.
- Villanueva (2014). Líquenes como bioindicadores de la calidad del aire en la ciudad de Tingo María. Universidad Nacional Agraria de la Selva, Perú.
- Wannaz, E. D., Carreras, H. A., Pérez, C. A., Pignata, M. L., 2006. Assessment of heavy metal accumulation in two species of *Tillandsia* in relation to atmospheric emission sources in Argentina. *Sci. Total Environ.* 361, 267-278 pág.
- Weissman, L., Fraiberg, M., Shine, L., Garty, J. Hochman, A. (2006). Responses of antioxidants in the lichen *Ramalina lacera* may serve as an early-warning bioindicator system for the detection of air pollution stress. Tel Aviv University, Ramat Aviv, Tel Aviv, Israel. *FEMS Microbiology Ecology*, 58, 41-53 pág.

PAGINAS WEB:

Medio Ambiente (sf). Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), Perú. Febrero (sf). <<http://www.senamhi.gob.pe/?p=0>

ANEXO

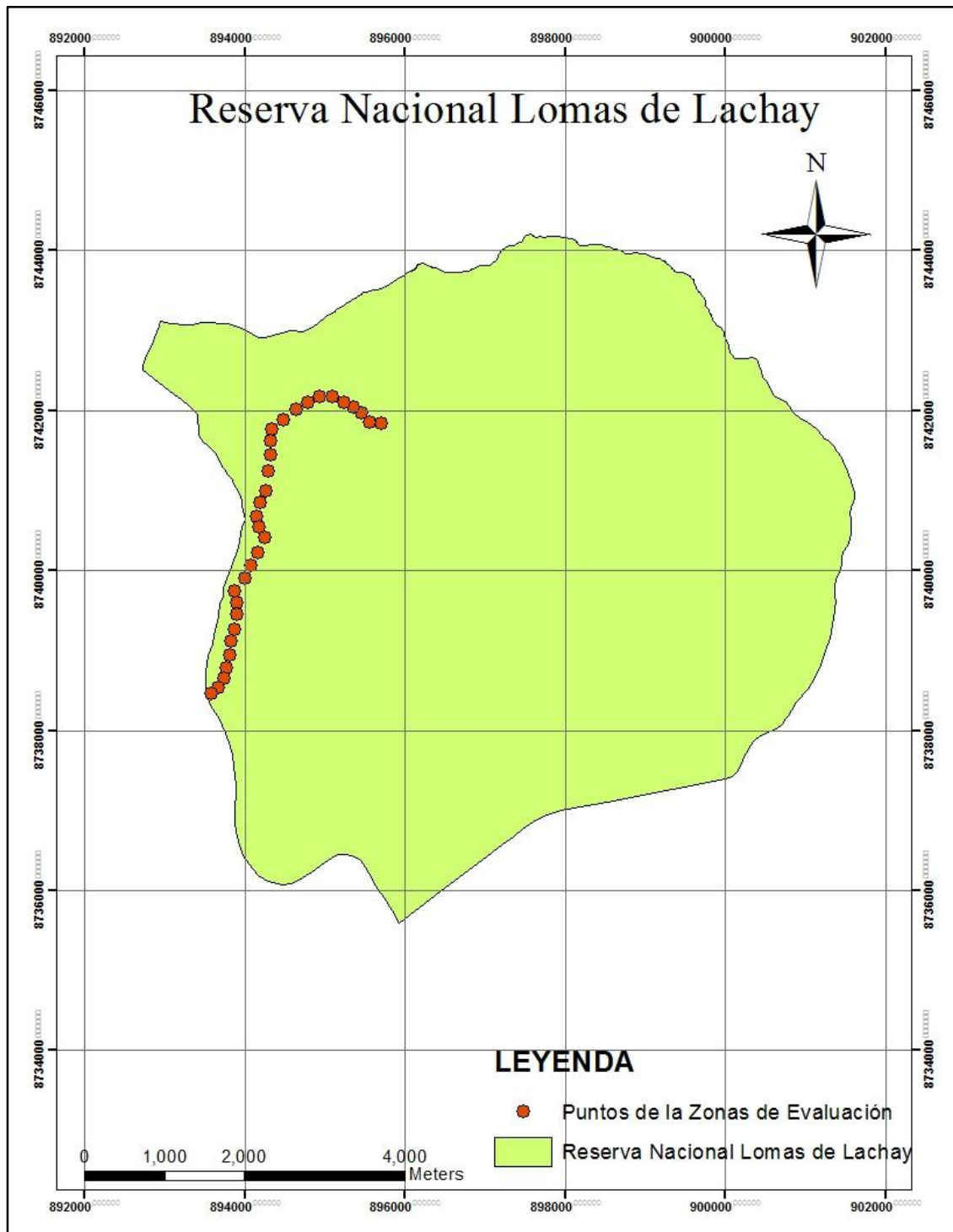


Figura 52.- Mapa del lugar de estudio en la zona Arqueológica de Teatino-Reserva Nacional Lomas de Lachay,



Figura 53.- Ubicación del sitio de trasplante y la ladrillera Rex.



Figura 54.- Ubicación de la Reserva Nacional Lomas de Lachay (sombreado en color verde) y los puntos de evaluación (puntos de color marrón) y la distancia con la planta procesadora de azufre de nombre RIO SECO.

