

LIQUEN *Parmotrema sancti angelii* COMO BIOMONITOR DE LOS METALES PROVENIENTES DE LA MINA LOMA DE NIQUEL, ESTADO ARAGUA

Wilbert HURTADO¹, Henry GÓMEZ¹, Raiza FERNÁNDEZ², Federico GALARRAGA², Jesús HERNÁNDEZ³ & Roschman GONZÁLEZ⁴

¹UCV, Facultad de Ciencias, Escuela de Química, Departamento de Geoquímica, Caracas. ²UCV, Facultad de Ciencias, Instituto de Ciencias de la Tierra, Caracas. ³UCV, Fundación Instituto Botánico de Venezuela Dr. Tobías Lasser, Caracas. ⁴UCV, Facultad de Ciencias, Instituto de Zoología Tropical, Caracas.
Correo-e.: wilberhurtado@gmail.com

RESUMEN

En la presente investigación fue evaluado el empleo del líquen *Parmotrema sancti angelii* (Lyngé) Hale, como potencial biomonitor activo de la contaminación por metales provenientes de las emisiones asociadas a la mina Loma de Níquel, Estado Aragua. Con este fin fueron trasplantados a la zona en estudio un conjunto de muestras de líquenes y ubicados a lo largo de una transecta a los alrededores de la mina. Adicionalmente, se colectaron muestras de suelo superficial con la finalidad de determinar el factor de enriquecimiento de los metales (FE).

El Análisis de *Clúster* fue empleado para el tratamiento estadístico de los resultados. Este permitió agrupar los metales de acuerdo a sus afinidades: un primer grupo controlado por el factor litológico (Al, Co, Hg, Fe, Mg, Mn, Ni y Ti) asociados a las rocas máficas-ultramáficas serpentizadas de la zona y un segundo grupo (Pb, Zn, Cr, Cu) que guarda relación con las emisiones vehiculares producto de la quema de combustibles fósiles y del desgaste de sus partes (factor antropogénico).

Adicionalmente, el cálculo de los FE permitió establecer diferencias entre la zona más cercana a la mina (zona 3) respecto a la más distante (zona 5). Los resultados obtenidos indican que los elementos de origen natural: aluminio, hierro y magnesio, permanecen prácticamente invariables; por el contrario los elementos de origen antrópico, en especial plomo, zinc, se encuentran altamente enriquecidos.

La integración de los resultados anteriores permite proponer al líquen *Parmotrema sancti angelii* (Lyngé) Hale como un eficiente bioacumulador y biomonitor de metales, debido a su resistencia al rigor de las condiciones medioambientales existentes en la zona (evidenciada por la ausencia de líquenes autóctonos), así como también por mantener su vitalidad durante los tres meses de exposición en el área de estudio.

Palabras clave: líquenes, metales, contaminación atmosférica, biomonitor, factor de enriquecimiento.

ABSTRACT

This research allowed to evaluate the use of the lichen *Parmotrema sancti angelii* (Lyngé) Hale, as a potential biomonitor of metal pollution from emissions associated

with the nickel mine "Loma de Níquel" through an active biomonitoring. Additionally, samples were collected from surface soil in the area, in order to determine the enrichment factor of metals (EF).

Statistical analysis of the results using Cluster analysis allowed to group metals according to their affinities: the first group defined by the lithological factor (Al, Co, Hg, Fe, Mg, Mn, Ni and Ti) associated with the mafic-ultramafic serpentized zone, and a second group (Pb and Zn) related to vehicle emissions from burning fossil fuels (anthropogenic factor).

Additionally, the estimation of EF allowed to differentiate the closest area to the mine (zone 3) with respect to the most distant (zona 5). The results obtained indicate that the naturally occurring elements, aluminum, iron and magnesium remain virtually unchanged and the anthropic elements, especially lead, zinc, are highly enriched.

The above results suggest the lichen *Parmotrema sancti angelii* (Lyngé) Hale as an efficient bioacumulador and metal biomonitor due to its resistance to the rigor of existing environmental conditions in the area (as evidenced by the absence of native lichens) and the capacity of maintain its vitality during the three months of exposure in the study area.

Keywords: lichens, metals, atmospheric pollution, biomonitor, enrichment factor.

INTRODUCCIÓN

Como respuesta a la problemática de la contaminación ambiental han surgido un gran número de investigaciones enfocadas a evaluar la calidad del aire en zonas urbanas e industriales. Dichas investigaciones, tradicionalmente, están basadas en la captación de partículas atmosféricas en sus distintos diámetros aerodinámicos (PTS, PM₁₀ y PM_{2.5}) mediante el uso de equipos muestreadores de aire de alto volumen, el dicótomo y el mini Partisol, entre otros. Estos equipos generan información válida sobre la calidad del aire. Sin embargo, presentan limitaciones importantes, ya que son de muy alto costo y generan dificultad en llevar a cabo muestreos extensivos, en términos de espacio y tiempo (SZCZEPANIAK & BIZIUK, 2003).

En las últimas décadas han empezado a implementarse métodos indirectos para monitorear la calidad del aire mediante el uso de organismos indicadores de contaminación, tales como los musgos, líquenes, bromeliáceas, cortezas de árboles, helechos y pastos (FIGUEIREDO *et al.* 2007). De ellos, los líquenes están clasificados entre los mejores bioindicadores de la contaminación atmosférica, ya que poseen un bajo costo, son organismos epífitos, captan sus nutrientes del aire, son bioacumuladores y tienen una amplia distribución geográfica (GARTY, 2001). Ellos son el producto de la simbiosis entre dos organismos radicalmente diferentes: un hongo (micobionte) y un microorganismo fotosintético, una cianobacteria o un alga verde o clorofita (fotobionte), de donde es originado un talo estable con estructura, ecología y fisiologías específicas diferentes a las que tienen los hongos o algas por separado (MORENO *et al.* 2007). La confiabilidad de los resultados producto de su empleo ha sido comprobada al compararlos con métodos directos tales como el muestreador de aire "GENT" (COSTA *et al.* 2002).

Los estudios de monitoreo de metales tóxicos (As, Al, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb, V, Zn) presentes en el aire son de gran importancia debido a que estos metales son capaces de producir efectos tóxicos sobre los seres humanos a través de un gran número de enfermedades o alteraciones patológicas; y perturbar la salud ambiental de los ecosistemas naturales (WHO, 2006; BERMÚDEZ *et al.* 2009). Estos metales pueden provenir de diversas fuentes tales como procesos de fundición, extracción de minerales, industria metalúrgica, gestión de residuos, corrosión metálica, agricultura y ganadería, industria forestal y maderera, quema de combustibles fósiles (DOMÈNECH & PERAL, 2006). Entre estas fuentes, la industria es considerada como una fuente fija o estacionaria de emisión de contaminantes, ya que independientemente del proceso industrial que involucre, existen compuestos emitidos hacia la atmósfera (gases, partículas, cenizas) desde un lugar determinado e inamovible. Estos contaminantes son posteriormente dispersados en el aire dependiendo de las características atmosféricas y topográficas de la zona (EZPELETA, 2003). La minería, específicamente, es una industria asociada con la extracción de recursos de la corteza terrestre donde, a menudo, el terreno es perturbado severamente acarreado una posible contaminación atmosférica mediante la incorporación de partículas al aire. Su ejecución puede traer consigo grandes repercusiones sobre el medio ambiente y los seres vivos (MANAHAN, 2007).

En Venezuela, diversos estudios han sido realizados en relación al empleo de bioindicadores de contaminación del aire, sin embargo todos ellos en relación a fuentes móviles de contaminación: QUIJADA (2006), quien usó dos géneros distintos: *Ramalina* sp.

para evaluar la bioacumulación de metales pesados; y *Pyxine* sp. para determinar la variabilidad de los contaminantes a lo largo de una transecta en la ciudad de Caracas; DÍAZ (2008), quien también utilizó dos géneros de líquenes para biomonitorar metales pesados en algunas localidades de la ciudad de Caracas: *Parmotrema* sp. y *Physcia* sp., demostrando que el primero de ellos tuvo mayor capacidad acumuladora de metales; y ARGÜELLO (2009), quien realizó un estudio de la distribución de metales pesados empleando dos organismos distintos al norte de Caracas: líquenes (*Pyxine* sp.) y bromeliáceas (*Tillandsia recurvata*), revelando diferencias entre ambos organismos en cuanto a la eficiencia en la bioacumulación de estos metales.

La población de Tiara (Municipio Santos Michelena, Edo. Aragua) se encuentra muy cercana a la empresa Minera Loma de Níquel C.A., la cual al explotar a cielo abierto el mineral garnierita (mena de níquel), provoca una alteración en la calidad del aire local, lo que implica reducción de visibilidad en la zona, corrosión de materiales, daños a cultivos y efectos adversos en los ecosistemas y en la salud de los seres vivos. Así, como consecuencia del desarrollo de esta actividad extractiva, se han dejado sentir algunos efectos tanto en el ambiente como en la salud de las comunidades aledañas a dicha empresa, lo que ha generado un movimiento de la población de denuncia y lucha contra los efectos nocivos que se producen tanto en la salud de sus habitantes como en el ambiente (MORENO, 2004). Algunos de estos efectos nocivos pudiesen relacionarse con los metales expelidos por los distintos procesos que manejan en la industria y sus niveles de concentración, por lo que mediante la presente investigación se determinó la concentración de metales tóxicos en el aire empleando líquenes como biomonitores. De esta manera fue generada información importante sobre el nivel de dichos metales en la zona y fue evaluada una especie de liquen foliáceo como biomonitor de la calidad del aire en relación a fuentes fijas.

Con respecto al estudio del factor de enriquecimiento (FE), su empleo permite estimar si la concentración de metales en la composición del liquen es debido a contaminación atmosférica (actividades antropogénicas); o a removilización de partículas del material parental o suelo por acción del viento (NYARKO *et al.* 2006). Es definido mediante la siguiente fórmula:

$$FE = \frac{(Cx/Cs)(liquen)}{(Cx/Cs)(suelo)}$$

Donde Cx es la concentración del elemento al cual se le determinará el enriquecimiento; y Cs es la concentración del elemento empleado para normalizar, el cual se asume que es únicamente característico del material parental o suelo. Entre los elementos utilizados para normalizar se encuentran el Al, Sc, Ti, La, Fe y Si (BETTINELLI *et al.* 2002). Usualmente, suelen utilizarse

Ti y Sc debido a que son importantes indicadores del material parental y porque además no poseen funciones biológicas conocidas en el líquen (NASH, 1996).

METODOLOGÍA

Diseño del muestreo

Cinco puntos de muestreo fueron ubicados en los alrededores de la Minera Loma de Níquel C.A., cuatro de ellos a lo largo de una transecta centrada en la mina: dos al NE y dos al S; y un quinto punto ubicado a aproximadamente 10 Km al SO de la mina (Fig. 1). Este último fue establecido con el fin de determinar la influencia de los vientos y la topografía en la dispersión de las partículas que contienen los metales a evaluar.

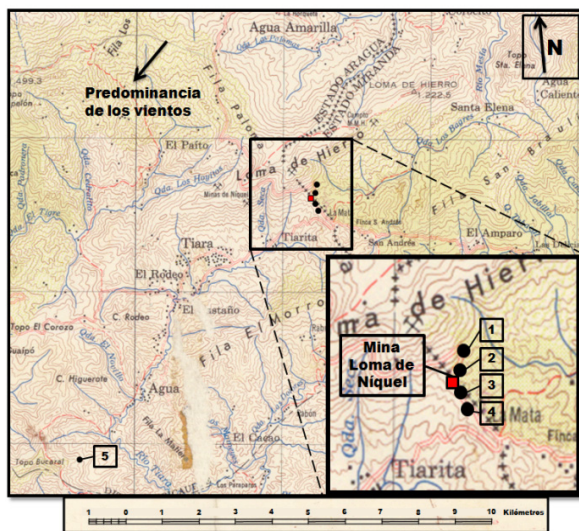


Fig. 1. Puntos de muestreo

Muestreo de líquenes

El muestreo realizado fue de tipo activo: las muestras fueron recolectadas el 18 de diciembre de 2009 en los jardines de la Universidad Simón Bolívar (USB), municipio Baruta, estado Miranda; por considerarse esta como una zona de baja contaminación por metales. Fueron así recolectados líquenes de la especie *Parmotrema sancti angelii* (Lynge) Hale adheridos a árboles del género *Clusia* sp., por ser éste el forófito o huésped en donde más abundaba la especie y debido a la facilidad que proporcionaba para la recolección de líquenes en pequeñas ramas. Una vez recolectadas, fueron refrigeradas hasta ser trasplantadas a la zona de estudio. Las muestras fueron agrupadas con hilo de

nylon y cinta adhesiva de papel para posteriormente ser fijadas en cada punto de muestreo.

Trasplante de líquenes

El trasplante de las muestras a la zona de estudio fue realizado dos días después de su colección. Las muestras fueron colocadas en árboles usando hilo de nylon para asegurarlas. La altura con respecto al suelo a la cual fueron expuestas variaba entre 1,5 m y 2 m.

Las muestras fueron colectadas tres meses después de su colocación en la zona de estudio. Las mismas se mantuvieron refrigeradas hasta iniciar la etapa de laboratorio (tratamiento físico y digestión ácida).

Muestreo de suelo

Además de las muestras de líquenes fueron tomadas muestras de suelo superficial en el punto más cercano y en el más distante de la zona de estudio: tres y cinco respectivamente (Fig. 1). Esto con la finalidad de que pudieran efectuarse estudios sobre el factor de enriquecimiento, en conjunto con las muestras de líquenes de los mismos puntos. Las muestras de suelo superficial fueron tomadas debajo de los árboles donde yacían las muestras de líquen; en un área aproximada de 25 cm² y a una profundidad de 3-6 cm. El procedimiento de muestreo fue llevado a cabo mediante el uso de herramientas de plástico (cuchillos) para evitar la posible contaminación por metales. Las muestras fueron almacenadas en bolsas de plástico previamente identificadas y se mantuvieron refrigeradas hasta iniciar su tratamiento en el laboratorio.

Digestión ácida

Las alícuotas de 350 mg de las fracciones previamente pulverizadas, homogeneizadas y secas de líquen, se disolvieron con 10 ml de HNO₃ concentrado grado p. a. (65 % m/v) bidestilado, mediante el uso de un bloque digestor a una temperatura de 120°C por un período de 8 horas (GARTY *et al.* 2003).

La solución resultante fue posteriormente filtrada con papel de filtro Whatman N° 40 y subsiguientemente enrasada con agua deionizada a 25 ml en balones aforados. Las soluciones fueron almacenadas en envases plásticos previamente lavados con HNO₃ al 10 % (v/v) hasta ser analizadas mediante el uso de Espectrometría de Emisión Óptica por Plasma Inductivamente Acoplado (ICP-OES). Para cada punto de muestreo se realizaron tres mediciones. El residuo de la digestión fue pesado y almacenado en envases plásticos.

Para las muestras de suelo se efectuó la misma metodología de digestión ácida previamente descrita pero utilizando alícuotas de 500 mg.

Tabla 1. Concentración (mg.kg^{-1}) de metales en muestras de liquen por punto de muestreo

Punto de Muestreo	Al	Ba	Co	Cr	Cu	Fe**	Hg*
USB	888 ± 43	8,63 ± 1,17	0,66 ± 0,19	2,51 ± 1,11	8,04 ± 0,64	686 ± 50	0,04
1	1112 ± 69	10,34 ± 0,18	1,50 ± 0,52	5,65 ± 1,51	9,91 ± 3,21	1271 ± 108	0,07
2	1602 ± 90	13,80 ± 0,42	2,24 ± 0,30	12,44 ± 2,14	11,33 ± 0,77	2334 ± 158	0,09
3	1434 ± 140	12,53 ± 1,26	1,02 ± 0,21	31,51 ± 2,80	12,66 ± 2,83	1507 ± 127	0,08
4	1918 ± 116	13,52 ± 0,62	3,77 ± 0,40	30,66 ± 0,42	10,57 ± 0,19	3093 ± 119	0,14
5	1175 ± 211	19,06 ± 2,37	0,45 ± 0,04	1,06 ± 0,73	10,20 ± 0,97	1035 ± 102	0,07

Punto de Muestreo	Mg**	Mn	Ni	Pb	V	Zn	Ti
USB	584 ± 123	21,5 ± 7,5	2,17 ± 0,77	16,6 ± 2,9	2,13 ± 0,54	29,9 ± 1,8	10,54 ± 1,88
1	1078 ± 75	31,7 ± 2,9	29,93 ± 2,40	24,0 ± 5,4	2,53 ± 0,33	116,7 ± 3,36	12,39 ± 0,61
2	1360 ± 18	53,6 ± 2,0	58,81 ± 3,48	38,1 ± 2,6	2,40 ± 0,26	219,4 ± 9,0	18,45 ± 0,96
3	1080 ± 62	36,8 ± 3,2	38,16 ± 2,97	26,8 ± 2,5	2,51 ± 0,27	104,6 ± 18,2	18,99 ± 1,12
4	1792 ± 59	49,7 ± 3,7	119,78 ± 4,87	25,9 ± 2,7	4,30 ± 1,03	115,7 ± 6,3	25,30 ± 0,97
5	740 ± 30	34,7 ± 4,3	9,82 ± 3,51	30,0 ± 3,2	2,09 ± 0,04	115,1 ± 12,1	17,90 ± 0,58

*Mediante analizador de Hg (1 réplica)

**Mediante AAS

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Concentración de los metales en liquen

La tabla 1 indica que los metales Fe, Al y Mg presentaron las mayores concentraciones. Estos elementos son constituyentes de los minerales formadores de las rocas máficas-ultramáficas explotadas por la empresa minera, por lo que podría decirse que la dispersión de estos metales en la atmósfera es debido a las actividades que en ella son realizadas (extracción, remoción, trituración, entre otros), junto con la acción de los agentes de transporte como el viento. Algunos metales como Ni, Co, Cr, Mn, y Ti también están relacionados con estas rocas, sin embargo están presentes en concentraciones traza, explicando de esta manera su baja proporción en las muestras de liquen en relación a los metales anteriormente descritos.

Por otra parte, los metales Ba, Cu, Hg, Pb, V y Zn también presentaron concentraciones bajas (Tabla 1). Estos no están asociados a la litología directamente, sin embargo pueden estar contenidos en cantidades traza como es el caso del Hg (CARLSON, 2005) y el V (CANIL, 2002). Una fuente de emisión común de estos metales es debido a procesos de fundición y a la quema de combustibles fósiles como el carbón mineral y el diesel que también son empleados en esta industria.

Al comparar los valores de concentración de las muestras trasplantadas con las muestras de liquen nativo de la USB (Tabla 1) puede observarse que los metales Cu y V no presentan una bioacumulación tan

significativa como en el caso del resto de los metales, por lo que puede inferirse que estos últimos no son emitidos tan intensamente hacia la atmósfera local como el resto de los elementos.

El análisis estadístico de los resultados empleando el Análisis de Clúster (Fig. 2) permitió agrupar los metales de acuerdo a sus afinidades: un primer grupo definido por el factor litológico (Al, Co, Hg, Fe, Mg, Ni y Ti) asociados a las rocas máficas-ultramáficas serpetinizadas de la zona; y un segundo grupo (Pb y Zn) donde el factor antropogénico guarda relación con las emisiones vehiculares producto de la quema de combustibles fósiles y/o al uso de fertilizantes y pesticidas en las labores de agricultura en la zona.

Comparación con algunos trabajos realizados en minas a nivel internacional

Realizando una comparación entre los valores obtenidos en esta investigación con otros estudios llevados a cabo empleando líquenes alrededor de minas asociadas a rocas ultramáficas (ASMUND *et al.*, 2009; SONDERGAARD *et al.*, 2009) puede observarse que existe una misma tendencia entre las relaciones inter-elementales de los metales más característicos de estas rocas (Fig. 3) y que los órdenes de concentración de los metales asociados a estas rocas son similares.

ASMUND *et al.*, (2009) hicieron un estudio de monitoreo en una mina de olivino en Seqi, Groenlandia, mediante el empleo de líquenes (*Cetraria nivalis*). Sus resultados muestran un

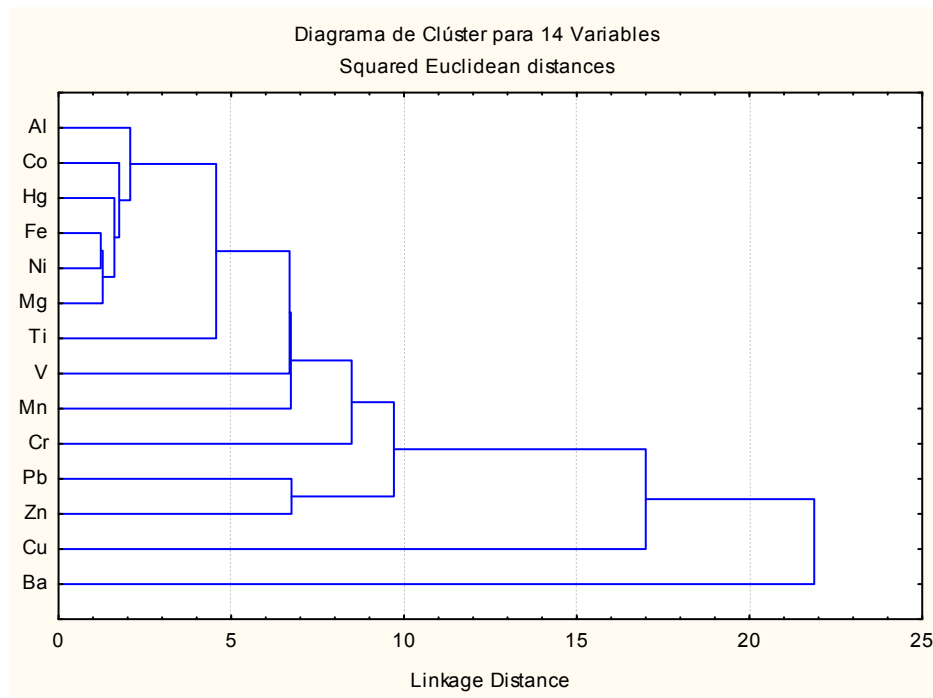


Fig. 2. Análisis de Conglomerados (Clúster)

aumento significativo en metales relacionados al olivino: Ni, Co, Cr y Fe pero sólo a distancias menores de 2 Km. Las concentraciones ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) de los mismos fueron: Ni (2,38-20,83); Co (0,229-1,183); Cr (1,225-9,912) y Fe (138-578).

SØNDERGAARD *et al.* (2009) también realizaron un monitoreo ambiental de la mina de olivino en Seqi, Groenlandia, logrando determinar elevadas concentraciones de algunos elementos, principalmente níquel (Ni) y cromo (Cr), en líquenes (*Cetraria nivalis*) hasta una distancia de 8 km de la mina. En los puntos más cercanos a la mina, las concentraciones para Ni y Cr alcanzaron $96 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ y $45 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ respectivamente.

Existen varias investigaciones internacionales donde emplean líquenes como bioindicadores de contaminación de metales alrededor de minas relacionadas a rocas no similares a las presentes en Loma de Níquel donde, sin embargo, puede notarse que los niveles de concentración de los metales no difieren en gran magnitud con respecto a los determinados en el presente trabajo. Entre ellos destaca un informe técnico por NAETH & WILKINSON (2008), en el cual evaluaron a los líquenes como biomonitores de la calidad del aire alrededor de una mina de diamante en Canadá mediante el uso de 3 especies distintas de líquenes: *Flavocetraria nivalis*, *Flavocetraria cucullata* y *Cladina arbuscula*, situados inmediatamente adyacentes a la mina. Las concentraciones de algunos de los metales, expresadas en $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, oscilaban entre especies como son descritas

a continuación: Al (1126-4356); Cr (4,23-12); Cu (1,59-2,55); Pb (1,45-5,24); Co (0,86-2,45) y Zn (30-168). También es importante destacar el trabajo realizado durante el año 2009 por JOHANSEN *et al.* (2010), quienes llevaron a cabo un monitoreo ambiental en la mina de Zn y Pb en Maarmorilik, Groenlandia con líquenes (*Cetraria nevalis*), mostrando un incremento en las concentraciones de Pb y Zn hasta distancias de 12 km. Los niveles de Pb y Zn más altos estaban situados dentro de la mina y alcanzaron concentraciones de $1102,90 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ y $971,5 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ respectivamente.

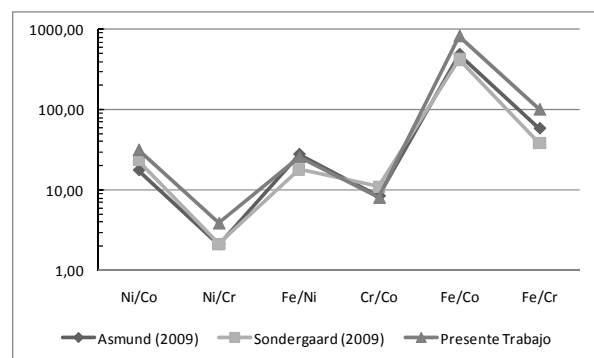


Fig.3. Relaciones inter-elementales de metales entre diferentes investigaciones

Tabla 2. FE en muestras de liquen de los puntos de muestreo tres y cinco.

Punto de Muestreo	Al	Ba	Co	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Ni	Pb	V	Zn	Ti
3	1,39	28,46	1,97	7,89	12,94	1,44	5,93	2,33	9,70	494,09	0,73	51,16	1,00
	1,43	26,77	1,85	8,08	13,50	1,43	5,69	2,37	10,52	515,16	0,85	59,16	1,00
	1,32	25,17	1,43	7,60	9,63	1,36	5,74	2,24	10,52	480,70	0,91	47,28	1,00
5	2,07	1,13	0,94	0,19	2,15	1,05	5,72	2,13	3,88	147,47	0,76	26,78	1,00
	1,55	1,28	1,07	0,30	1,75	0,99	5,55	1,95	1,72	124,97	0,71	24,30	1,00
	1,40	1,04	1,00	0,06	1,74	0,85	5,25	1,62	2,75	159,01	0,76	21,05	1,00

Ti como referencia

Factor de Enriquecimiento

En general, el FE de todos elementos es mayor en la zona más cercana a la minera (punto tres), destacándose los valores para los metales Pb y Zn que son superiores a 50 (Tabla 2). Estos niveles indican que estos metales no provienen del suelo local sino de fuentes antropogénicas o naturales lejanas. En este caso sería por la quema de combustibles fósiles (Carbón y Diesel), así como también por procesos de fundición y uso de pesticidas y fertilizantes para el caso de Zn, ya que no existen fuentes naturales de estos metales (menas de sulfuros) en zonas cercanas. Estas actividades antropicas están presentes en esta zona, ya sea por labores de la industria minera, así como por la actividad agrícola y vehicular.

En la zona más distanciada a la empresa minera (punto cinco), estos mismos metales siguen teniendo un FE alto (> 20), indicando así el alcance de la dispersión de estos

metales en el aire debido a las fuentes antrópicas antes mencionadas. Cabe destacar que estos metales están principalmente asociados a partículas finas (< 2,5 µm) por lo que su dispersión por los vientos alcanza distancias mayores que las alcanzadas por partículas asociadas más bien a la litología (FERNÁNDEZ, 2001).

Algunos metales relacionados a la litología explotada por la industria minera (Al, Mg, Mn y Ni) también poseen valores mayores a la unidad en ambas zonas muestreadas, evidenciando así que también existe dispersión de estos metales en el aire a las distancias que comprenden a estas estaciones. En este caso dicha emisión sería debido a los procesos de extracción, remoción, trituración, apilado, entre otros, llevados a cabo por la industria. Únicamente los metales Co, Cr, Fe, V, poseen valores que permiten establecer que su dispersión en el aire no alcanza la zona lejana, ya que en esta poseen valores del FE ≤1.

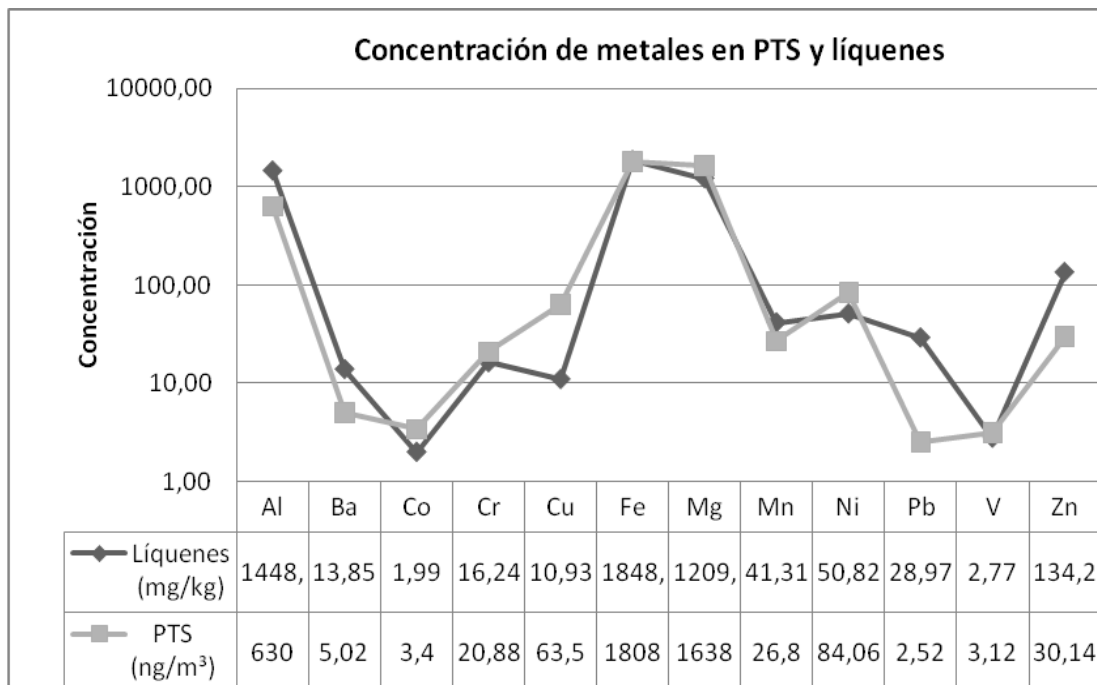


Fig.4. Concentración de metales en PTS (Girón, 2009) y líquenes (presente trabajo)

Comparación de líquenes vs. PTS en la misma zona

Para la zona de estudio, no existe referencia sobre otro estudio mediante el empleo de líquenes sino a través de muestreadores de alto volumen (Hi-Vol) realizado por GIRÓN, 2009. En tal trabajo los resultados son presentados en unidades distintas (m/v) a las expresadas mediante muestras de líquen (m/m). Sin embargo al realizar la comparación con las PTS determinadas en el mismo, se puede notar una correlación positiva entre el comportamiento y los niveles de los distintos metales estudiados (Fig. 4). Sólo el metal Cu muestra una correlación negativa ya que mientras en las PTS aumenta en relación a Cr, en los líquenes disminuye. Esto podría asociarse a diferencias en cuanto a su emisión en los periodos de estudios de cada investigación, ya que GIRÓN (2009) realizó su estudio entre los años 2006-2008 y la presente investigación sólo en el año 2010. Cabe destacar que las fuentes de este metal están asociadas a quema de combustibles fósiles, procesos de fundición y también por incineración (FERNÁNDEZ, 2001).

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos evidencian que existe bioacumulación de metales en las muestras de líquen *Parmotrema sancti angelii* (Lynge) Hale trasplantadas. Además, su resistencia al rigor de las condiciones medioambientales existentes en la zona (evidenciada por la ausencia de líquenes autóctonos) y al mantener su vitalidad durante los tres meses de exposición en la zona de estudio, así como también la correlación que refleja en relación a métodos directos de análisis, permiten proponerlo como un eficiente bioacumulador y biomonitor de metales en zonas de actividad minera.

AGRADECIMIENTO

Al CDCH-UCV, por el financiamiento a través del proyecto PG.03-7741-2009/1.

BIBLIOGRAFÍA

ARGÜELLO E. 2009: *Distribución de metales pesados entre Quebrada Quintero y Altamira-Caracas empleando líquenes y bromeliáceas como biomonitores de contaminación atmosférica*. Trabajo Especial de Grado en Geoquímica, Universidad Central de Venezuela. Caracas. 109 p.

ASMUND G., D. BOERTMANN & P. JOHANSEN. 2009: *Baseline and monitoring studies at the Seqi olivine mine 2004 to 2007*. National Environmental Research Institute, Aarhus University, 90 pp. – NERI Technical Report No. 715.

BERMUDEZ G., J. RODRIGUEZ & M. PIGNATA, M. 2009. Comparison of the air pollution biomonitoring ability of three *Tillandsia* species and the lichen *Ramalina celastri* in Argentina. *Environmental Research* 109: 6-14.

BETTINELLI M., M. PEROTTI, S. SPEZIA, C. BAFFI, G. BEONE, F. ALBERICI, S. BERGONZI, C. BETTINELLI, P. CANTARINI & L. MASCETTI. 2002. The role of analytical methods for the determination of trace elements in environmental biomonitors. *Microchemical Journal* 73: 131-152.

CANIL D. 2002. Vanadium in peridotites, mantle redox and tectonic environments: Archean to present. *Earth and Planetary Science Letters* 195: 75-90.

CARLSON R. 2005. *The Mantle and Core*. Treatise on Geochemistry. Elsevier, 608 p.

COSTA C., A. MARQUES, M. FREITAS, M. REIS & O. OLIVEIRA. 2002. A comparative study for results obtained using biomonitors and PM10 collectors in Sado Estuary. *Environmental Pollution* 120: 97-106.

DÍAZ J. 2008: *Aplicación de los líquenes Parmotrema sp. y Physcia sp. como biomonitores de contaminación por metales pesados, en algunas localidades de la Ciudad de Caracas*. Trabajo Especial de Grado en Geoquímica, Universidad Central de Venezuela. Caracas. 152 p.

DOMÈNECH, X. & J. PERAL. 2006. *Química Ambiental de Sistemas Terrestres*. Editorial Reverté. Barcelona, España. 239 p.

EZPELETA A.M. 2003. *Clima y calidad ambiental: VI Reunión Nacional de Climatología*, Asociación de Geógrafos Españoles, Santiago de Compostela, 14-16 de septiembre de 2000. *Cursos e Congresos da Universidade de Santiago de Compostela*; 136. España. 244 p.

FERNÁNDEZ A. 2001. *Especiación química y física de metales en la materia particulada atmosférica*. Universidad de Sevilla, Fundación Focus-Abengoa, 562 p.

FIGUEIREDO A., C. NOGUEIRA, M. SAIKI, F. MILIAN & M. DOMINGOS. 2007. Assessment of atmospheric metallic pollution in the metropolitan region of São Paulo, Brazil, employing *Tillandsia usneoides* L. as biomonitor. *Environmental Pollution* 145: 279-292.

GARTY J. 2001. Biomonitoring Atmospheric Heavy Metals with Lichens: Theory and Application. *Critical Reviews in Plants Sciences* 20 (4): 309-371.

GARTY J., S. TOMER, T. LEVIN & H. LEHR. 2003. Lichens as biomonitors around a coal-fired power station in Israel. *Environmental research* 91: 186-198.

GIRÓN A. 2009. Concentración y composición química de las partículas atmosféricas en el pueblo de Tiara, Edo. Aragua. Trabajo de Grado en Ms en Ingeniería Sanitaria, Universidad Central de Venezuela. 91 p.

JOHANSEN P., G. ASMUND, F. RIGÉT, K. JOHANSEN & H. SCHLEDERMANN. 2010: *Environmental monitoring at the former lead-zinc mine in Maarmorilik, Northwest Greenland*, in 2009. National Environmental Research Institute, Aarhus University. 32 pp. – NERI Technical Report No. 775.

- MANAHAN S. 2007. *Introducción a la Química Ambiental*. Editorial Reverté. 725 p.
- MORENO C. *Deterioro ambiental y marginalidad económica y social de los pobladores de la subcuenca del río Caramacate, Estado Aragua, Venezuela*. Asociación Latinoamericana de Sociología Rural. <http://www.alasru.org/wp-content/uploads/2011/12/14-GT-Carmen-Leonor-Moreno-Urdaneta.doc>
- MORENO E., A. SÁNCHEZ & J. HERNÁNDEZ. 2007. *Guía ilustrada de hongos liquenizados en Venezuela*. Caracas: Fundación Instituto Botánico de Venezuela.
- NAETH M. & S. WILKINSON. 2008. Lichens as Biomonitor of Air Quality around a Diamond Mine, Northwest Territories, Canada – Technical Reports: Atmospheric Pollutants And Trace Gases J. *Environ. Qual.* 37, 1675–1684 p.
- NASH T. 1996. *Lichen Biology*. Third Edition, Cambridge University Press. United Kingdom. 330 p.
- NYARKO B., D. ADOMAKO, Y. SERFOR-ARMAH, S. DAMPARE, D. ADOTEY & E. AKAHO. 2006. Biomonitoring of atmospheric trace element deposition around an industrial town in Ghana. *Radiation Physics and Chemistry* 75: 954–958.
- QUIJADA M. 2006: Líquenes como biomonitores de contaminación por metales pesados (Pb, Cu, Zn, Cd, Ni, V y Cr) en la ciudad de Caracas-Venezuela. Trabajo Especial de Grado en Geoquímica. Universidad Central de Venezuela. Caracas 2006. 91 p.
- SØNDERGAARD J., D. SCHIEDEK & G. ASMUND. 2009: Environmental monitoring at the Seqi olivine mine 2008-2009. National Environmental Research Institute, Aarhus University. 48 pp. – NERI Technical Report No. 753.
- SZCZEPANIAK K. & M. BIZIUK. 2003. Aspects of the biomonitoring studies using mosses and lichens as indicators of metal pollution. *Environmental Research* 93: 221-230.
- WHO. 2006: Health risks of particulate matter from long-range transboundary air pollution. Copenhagen, World Health Organization Regional Office for Europe <http://www.euro.who.int/document/E88189.pdf>