

# Primeros datos de bioacumulación de metales pesados en briofitas

## First data of bioaccumulation of heavy metals in bryophytes

# Primeros datos de bioacumulación de metales pesados en briofitas

## First data of bioaccumulation of heavy metals in bryophytes

Valentina Toledo Bruzual<sup>1</sup>, Diana María Hernández de Szczurek<sup>2</sup>, Caribay Urbina de Navarro<sup>3</sup> y Francesca Creazzola de Oppeltz<sup>4</sup>

---

### Resumen

En Venezuela, existen estudios de la calidad del aire utilizando líquenes pero no briofitas. El objetivo de esta investigación, fue evaluar las briofitas autóctonas a través de la técnica de monitoreo pasivo, en el Topo Itagua ubicado detrás de la Universidad Católica Andrés Bello, (UCAB). Se identificaron las briofitas *Tortella humilis*, *Tortula* sp. y *Pottiaceae* sp. Se analizaron los contenidos en Fe, Cd, Zn, Cu y Pb por (ICP-OES) y Hg con analizador por fluorescencia. Los factores de enriquecimiento se presentaron superiores a 10, específicamente 15,7 con Zn y 126,3 con Cd. No se detectó presencia de Hg, Cu ni Pb. La *Tortella humilis* y la *Tortula* sp. fueron potenciales bioacumuladores de Zn, mientras que la *Pottiaceae* sp. bioacumularon Zn y Cd. Las bioconcentraciones cuantificadas, evidencian la exposición de la población a los contaminantes atmosféricos. Los resultados contribuyen a profundizar los estudios epidemiológicos y las evaluaciones de riesgo en la zona.

**Palabras claves:** metales pesados; briofitas, bioacumulador; ICP-OES; deposición atmosférica

### Abstract

In Venezuela, there are studies of the air quality using lichens but not bryophytes. The objective of this research was to evaluate, the Bryophyte native through the technique of passive monitoring in the mountain Itagua located behind the Andrés Bello Catholic University, (UCAB). Identified the bryophytes *Tortella humilis*, *Tortula* sp. and *Pottiaceae* sp. Analysed the content in Fe, Cd, Zn, Cu and Pb by (ICP-OES) and Hg with fluorescence analyzer. Enrichment factors were presented over 10, specifically 15,7 with Zn and 126,3 with single Cd. Presence of Hg, Cu ni Pb was not detected. The *Tortella humilis* and the *Tortula* sp. they were potential bioaccumulator of Zn, while the *Pottiaceae* sp. they bioaccumulator Zn and Cd. The quantified bioconcentration, evidence of the exposure of the population to air pollutants. The results contribute to deepen the epidemiological studies and assessments of risk in the area.

**Keywords:** metal heavy; bryophytes; bioaccumulator; ICP-OES; atmospheric deposition.

<sup>1</sup> Profesora en Geografía, Titular, Universidad Pedagógica Experimental Libertador, Instituto Pedagógico de Caracas, Departamento de Geografía, toledo.valentina@gmail.com.

<sup>2</sup> Profesora en Química, Titular, Universidad Pedagógica Experimental Libertador, Instituto Pedagógico de Caracas, Departamento de Biología y Química, dmhernandezs@gmail.com

<sup>3</sup> Lic en Química, Titular, Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ciencia, Centro de Microscopia Electrónica, "Mitsuo Ogura", caribayurbina@gmail.com

<sup>4</sup> Profesora en Química, Titular, Universidad Pedagógica Experimental Libertador, Instituto Pedagógico de Caracas, Departamento de Biología y Química, fcreazzola@hotmail.com

## 1. Introducción

En la organización espacial de las ciudades es frecuente visualizar un defecto de fondo en el modelo de crecimiento urbanístico, prueba de esto son los múltiples focos de contaminación ligados a procesos industriales incluidos en los núcleos urbanos.

Un ejemplo de lo anterior lo representa claramente la ubicación de la Universidad Católica Andrés Bello (UCAB), la cual colide por el norte con el sector popular de Carapita, al este, la zona industrial de La Yaguara, al oeste con la zona industrial-residencial de Antímano y al sur con el topo Itagua, situado detrás de las instalaciones de la propia casa de estudio. Al noreste, se encuentra la zona residencial de Juan Pablo II, ubicada entre dos vías principales, la autopista Francisco Fajardo y la avenida Teherán.

Las técnicas habituales para la medición de las concentraciones de contaminantes en la atmósfera emplean métodos físicos y químicos, requiriendo a menudo prácticas sofisticadas y aparatos automáticos y semiautomáticos. Las medidas en continuo en puntos fijos (normalmente como parte de redes de control), así como las realizadas con equipos móviles permiten la valoración de los niveles y los flujos de los macro-contaminantes atmosféricos (DIGESA 2005). Estas medidas se usan para detectar concentraciones de contaminantes y verificar la efectividad de las medidas adoptadas para reducir la contaminación atmosférica.

El monitoreo biológico ofrece una medida del impacto que pueden causar las acumulaciones de los contaminantes sobre los seres vivos, informando de las posibilidades de entrada en la cadena trófica y de sus efectos antagónicos y sinérgicos. Entre las ventajas del biomonitoreo está la posibilidad de realizar mediciones de múltiples elementos (micro y macro contaminantes) y el diseño de redes con la densidad adecuada a cada tipo de entorno o estudio; mientras que las técnicas convencionales se ven limitadas por la falta de tecnología o por los costes que implicarían instalar redes similares (Ahmad *et al.*, 2007; Nuñez, 2009).

Los líquenes tienen un importante papel como bioindicadores de lectura inmediata de la contaminación medioambiental, de los cambios climáticos y de la estabilización del suelo (Hawksworth *et al.*, 2005). Los mismos autores señalan que se han realizado muchos trabajos acerca de este tema en regiones templadas, pero tan solo en algunos pocos casos las técnicas empleadas en este tipo de estudios han sido utilizados en los trópicos. Tal es el caso, de la investigación realizada por Hurtado (2010), en la cual realizó un monitoreo de tipo activo con líquenes trasplantado de la especie *Parmotrema Sancti Angelli* en los alrededores de la población minera de Tiara, con el objetivo de evaluar la calidad del aire en relación a fuentes fijas (Empresa Minera Loma de Níquel, C.A). Los resultados obtenidos evidencian que existe acumulación para todos los metales, a excepción del Cd y As que no fueron detectados en las muestras trasplantadas.

El uso de briofitas terrestres ha sido una herramienta empleada en numerosos estudios desde que en 1968 comenzaron a utilizarse para el control de la calidad del aire (Rühling y Tyler, 2001). Su empleo como biomonitores se debe a una serie de características morfológicas, fisiológicas y ecológicas. Hay amplias evidencias que las briofitas son excelentes indicadores de la contaminación ambiental y algunos autores han sugerido usarlas como briómetros, instrumentos para medir la fototoxicidad de la contaminación ambiental (Taoda, 1973). Aún más, muchas especies de briofitas han perdido su fertilidad o se han extinguido en las áreas urbanas por su gran sensibilidad a la contaminación ambiental (Le Blanck y Rao 1973).

Las briofitas debido a su simplicidad estructural carecen de una cutícula, de un sistema vascular y de un sistema radicular bien desarrollados, absorben la mayor parte de los minerales necesarios para su desarrollo por vía de la deposición atmosférica (seca y/o húmeda) y no del sustrato, reduciendo la posible influencia de los metales pesados presentes en el sustrato en el que viven (Fernández *et al.*, 1999).

La sensibilidad de las briofitas a la contaminación crece desde las formas terrícolas (en el suelo de los bosques) a las saxícolas (en rocas y muros) y las epífitas (árboles y ramas). Según señala Matteri (2010), esta sensibilidad de

las briofitas ha sido especialmente investigada para los gases tóxicos del aire como el dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), ácido sulfúrico, (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) y ozono (O<sub>3</sub>). También son capaces de concentrar metales pesados como bioacumuladores en grandes cantidades, como zinc (Zn), plomo (Pb), hierro (Fe), cobre (Cu), níquel (Ni) y cadmio (Cd), entre otros (Fernández *et al.*, 1999; Aceto 2003; Pesch y Schroeder 2006; Anze *et al.*, 2007; Noriega 2008).

En ausencia de musgo nativo o autóctono (biomonitorio pasivo) puede emplearse el biomonitorio activo basado en trasplantes de musgos (técnica conocida como “moss bags” por su denominación en inglés, Tyler 1990). En los últimos años, ambas técnicas han sido empleadas con éxito en el control de la calidad del aire sobre todo en áreas urbanas e industriales (Ahmad *et al.*, 2007). Ecólogos en el mundo, han investigado el dramático empobrecimiento de las comunidades briofíticas en los alrededores de las grandes ciudades y áreas industriales a consecuencia de la contaminación atmosférica Barkman (citado en Matteri 2010).

Los trabajos citados en los párrafos anteriores muestran la eficiencia relativa de la acumulación de metales pesados en el musgo (briofitas), normalizando el contenido corporal de la especie de musgo utilizado, frente a una especie control. También se ha determinado la eficiencia de las briofitas, considerando la concentración corporal en el musgo frente a una muestra de suelo, tomando como referencia un elemento, por ejemplo el aluminio (Al). Para el primer caso, se habla de niveles de fondo (NF) para el segundo caso, factor de enriquecimiento (FC).

Una amplia revisión bibliográfica realizada por Merwin y Nadkarni (2002), destaca que es notorio el uso de las briofitas como indicadores biológicos de contaminación atmosférica en las regiones tropicales (entre el Trópico de Cáncer y el Trópico de Capricornio) pero no reporta su uso en Venezuela.

Considerando la superficie de Venezuela y la gran variedad de su topografía, el número de briofitas conocidos de este país es pequeño según (Pursell 1973). Solo aparecen descripciones de especies en censos y catálogos (Ramírez y Crusco De DALL'AGLIO 1979; Moreno 1992), así como informes de especies nuevas (León, 2005).

Recientemente, Morales *et al.*, (2008), realizaron un inventario brioflorístico en el área recreativa del Jardín Botánico de Caracas, registrando 29 especies de briofitas divididas en hepáticas foliosas y musgos, añadiendo 14 nuevos registros a la brioflora del Distrito Capital. En esta investigación concluyen que las briofitas reportadas tienen una amplia distribución geográfica e incluso altitudinal, así como una gran capacidad adaptativa a hábitats con modificaciones importantes. Además, recomiendan utilizar especies de la brioflora como las citadas: *Entodon beyrichii*, *Fabronia ciliaris*, *Fissidens angustifolius*, *F. reticulosus*, *Chryso-hypnum diminutivum*, *Vesicularia vesicularis*, *Leucomium strumosum*, *Entodontopsis leucostega*, *E. nitens*, *Trichostomum brachydontium* y *Weissia controversa*, para evaluar la calidad del aire en la ciudad de Caracas, es decir usar dichas especies como indicadores de contaminación atmosférica.

Así mismo, Morales (2009) realizó un muestreo durante un año en la vertiente sur del parque Nacional el Ávila, en un perfil altitudinal, en seis zonas. Los resultados florísticos de este trabajo aportan 22 adiciones a la flora muscícola de la cordillera de la costa y cinco nuevos registros para la brioflora venezolana.

Lo reportado en las diferentes investigaciones revisadas, sugiere que en Venezuela al parecer aún no se han realizado estudios utilizando las briofitas para el monitoreo de la calidad del aire. En este sentido, la realidad de las actividades observadas en las zonas aledañas a la Universidad Católica Andrés Bello, motiva a pensar que existe la posibilidad de identificar algunas especies de briofitas autóctonas, diferentes a las anteriormente citadas que crezcan en los suelo y rocas con gran capacidad adaptativa a hábitats con múltiples focos de contaminación (zona industrial, tránsito vehicular, etc.), que pudieran utilizarse como bioacumuladores de metales pesados y permitan cuantificar niveles de contaminación del aire. Se han realizado muchos trabajos usando líquenes para estudiar la calidad del aire en regiones templadas, pero tan solo algunos pocos casos las técnicas empleadas en este tipo de estudios han sido utilizados en los trópicos. Las líneas de trabajo en Venezuela han estado orientadas hacia la utilización de líquenes para tal fin, sin que aún exista un reporte con briofitas terrestres. Por lo tanto, ésta investigación se propone evaluar la capacidad de las briofitas autóctonas de actuar como bioacumuladores de

metales pesados, para así medir la calidad del aire local, en el Topo Itagua, ubicado detrás de la Universidad Católica Andrés Bello, (UCAB).

## 2 Materiales y Métodos

### 2.1 Criterio para la Selección de las Estaciones de Muestreo

El área de estudio, se encuentra ubicada en el Topo Itagua, relieve montañoso cercano a la UCAB, ocupa un área de aproximadamente 127.500 m<sup>2</sup>, localizada dentro de las coordenadas geográficas de los 10° 27' 49" y 10°27'52" N; y 66°58'30" y 66°58'47" O.

A nivel internacional, la colección de las briofitas se puntualiza hacia un área geográfica de interés, con un mínimo de elementos que afecten localmente la metodología (Cenci 2008). La recolección se hizo preferentemente en lugares donde se observaron abundantes briofitas o mantos de éstas y lejos de la presencia de árboles, es decir en pequeños claros de bosques, en el suelo o sobre rocas de pequeño tamaño, con el fin de evitar la posible intervención del lavado de la cubierta vegetal (dosel) producto de las lluvias y/o los aportes de hojarasca (tejido vivo o muerto).

Las estaciones de muestreo se localizaron, al menos, a 700 m de carreteras principales, núcleos urbanos e industrias, y a aproximadamente 900 m de carreteras secundarias y edificaciones aisladas (Ver figura y tabla 1, puntos amarillos).



Figura 1. Localización geográfica del área de estudio y estaciones de muestreo

**Tabla 1.** Características de los puntos de muestra

Muestra	Localidad	Coordenadas Geográficas	Altitud m.s.n.m.	Geología/ Litología	Vegetación
Parada 1 PI	Ladera, detrás del edificio Cincuentenario, lado izquierdo	Lat: 10° 27'46"N Long: 66°58'39"O	1055	Formación Antímano. Esquistos, cuarzo micáceos calcáreos y mármoles	Gramínea
Parada 2 CB	Ladera, campo de Baseball	Lat: 10° 27'41"N Long: 68°58'36"O	999	Formación Antímano. Esquistos, cuarzo micáceos calcáreos y mármoles	Arbustiva
Parada 3 PD	Estacionamiento superior, lado derecho	Lat: 10° 27'46"N Long: 66°58'47"O	1007	Formación Antímano. Esquistos, cuarzo micáceos calcáreos y mármoles	Arbustiva
Parada 4 EI	Entrada principal, detrás de Ingeniería	Lat: 10° 27'52"N Long: 66°58'30"O	939	Formación Antímano. Esquistos, cuarzo micáceos calcáreos y mármoles	Gramínea
Parada 5 EP	Estacionamiento de profesores	Lat: 10° 27'49"N Long: 66°58'31"O	954	Formación Antímano. Esquistos, cuarzo micáceos calcáreos y mármoles	Arbustiva

## 2.2 Recolección y Registro de las Muestras de Briofitas y Muestras de Suelo

En cada punto de recogida se tomó una muestra de briofitas, dentro de un área de (50 cm x 50 cm). De esta manera se contó con 5 muestras para el análisis. Las características de los sitios de muestreo se especifican en el (Tabla 1). Para la toma de la muestra se empleó una espátula pequeña, la muestra se limpió de hojas, espinas u otro material grueso, utilizando para ello, guantes de goma. Posteriormente, se empleó una bolsa transparente hermética para su traslado. Cada muestra fue georeferencia y cada bolsa rotulada con código de muestreo, lugar de la toma y fecha. Se tomó foto en cada sitio de recolección y panorámica cercana.

La recolección de las muestras de suelo se hizo en el mismo punto donde se tomaron las muestras de briofitas a una profundidad no mayor a 5 cm del suelo. Totalizando 5 muestras de suelo. Igualmente se removió con espátula residuos de hojas, lombrices, telarañas o cualquier material grueso, se colocaron en bolsa plástica. Posteriormente, se anotó en cada bolsa la misma información como se hizo para las briofitas.

### 2.2.1 Cálculo del Factor de Enriquecimiento (FE)

La recolección de muestras de suelo superficiales de suelo/substrato, se realizó, con la finalidad de evaluar los “efectos de suelo” a través del factor de enriquecimiento (FE). Es un factor usado frecuentemente en el monitoreo pasivo de la calidad del aire cuando se emplea musgo o líquenes. Este factor permite comparar la concentración individual del elemento de interés (briofitas) con el elemento conservado o de referencia del suelo, en este caso el Al. Por ejemplo, el FE del Pb se puede calcular de la siguiente forma:

$$\frac{[Pb] \text{ briofita}}{[Al] \text{ briofita}} \bigg/ \frac{[Pb] \text{ material parental en el suelo}}{[Al] \text{ material parental en el suelo}}$$

El Aluminio se toma como elemento de referencia, puesto que las concentraciones en el suelo se encuentran en el orden de 1% y difícilmente pueden ser influenciadas por fuentes antropogénicas y/o de origen natural (Ford y Hasselbach 2001; Cenci 2008).

Lawson y Winchester (1979), establecen una escala verbal para determinar cuál es el origen del elemento X en estudio; así el (Tabla 2), presenta las características de cada intervalo del FE. La categoría (N) indica abundancia no significativa o natural, es decir, proveniente de la roca madre. La categoría (M) denota un enriquecimiento moderado e indica otra fuente adicional a la roca madre y la categoría (A) muestra un alto enriquecimiento y que existe una grave contaminación de origen antropogénica.

**Tabla 2.** Clases de factores de enriquecimiento de un metal pesado

<b>Categoría</b>	<b>FE</b>	<b>Interpretación</b>
(N)	1 - 10	Abundancia no significativa, de la roca madre
(M)	>10-500	Moderadamente enriquecida e indica otra fuente de enriquecimiento adicional a la roca madre
(A)	>500	Indica un alto enriquecimiento y muestra que existe una grave contaminación de origen antropogénica.

### 2.3 Identificación y Clasificación de las Especies de Briofitas

Para la identificación y clasificación de las especies de briofitas, se tomó una porción de cada muestra recolectada.

### 2.4 Análisis Químico

El pretratamiento de las muestras de briofitas y las muestras de suelo se realizó de acuerdo al procedimiento señalado por Cenci (2008), con una sola modificación, la molienda de las briofitas y de las muestras de suelo, se realizó en un mortero de acero inoxidable.

Posteriormente, se procedió a cuantificar el contenido de Fe, Cu, Pb, Hg, Cd y Al (éste último se utilizó para los cálculos del, FE) por espectrometría de emisión con plasma acoplado inductivamente (ICP-OES), marca Thermo Jarrel ASH, modelo Iris HR. Se tomaron porciones de 1,0 g de polvo de briofitas y de 1,0 g polvo de suelos. Se añadió 15 mL de HNO<sub>3</sub> para una digestión ácida por 48 horas para todas las muestras. Para el análisis de mercurio, se utilizó un analizador de mercurio, marca Analytikjema, modelo Mercur con fluorescencia. Los análisis se realizaron por triplicado para cada muestra.

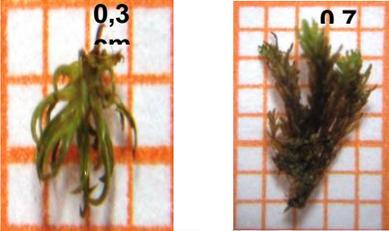
El criterio de selección para estudiar los seis metales pesados (Fe, Cu, Pb, Hg, Cd y Zn) se basó en la revisión bibliográfica, en la cual los resultados de las diferentes investigaciones sobre las concentraciones de diversos contaminantes a nivel local hacen hincapié en la presencia de estos metales en áreas geográficas de interés, con un mínimo de factores que afectan localmente la metodología.

El Topo Itagua, es un relieve montañoso no intervenido por el hombre, ubicado detrás de la UCAB, fue escogido como área control para el biomonitoreo de posibles focos de contaminación, provenientes principalmente de las actividades industriales de la zona de la Yaguara y de Antúmano y del tráfico automotor (autopista Francisco Fajardo y Avenida Teherán), que a diario afecta a la zona residencial de Juan Pablo II, Montalbán II, el sector de Antúmano y el área de la UCAB.

### 3 Discusión de resultados

En las laderas del Topo Itagua las briofitas son visibles sobre la superficie del suelo formando mantos de cobertura aislados. En la recolección, la Pottiaceae fue la familia dominante; Frahm, Zander y Gradstein (citado en Morales *et al.*, 2008) indican que este taxón es típico de hábitats abiertos, dado a que presenta una serie de características como el hábito acrocárpico y forma de vida cespitosa. La gran mayoría de estas briofitas acrocárpicas suelen encontrarse en ambientes terrícolas (en el suelo de los bosques) y/o saxícolas (en rocas). En ciertos casos, resultó imposible realizar la descripción hasta especie, porque algunas briofitas carecían en el momento del muestreo, de los elementos morfológicos completos que permitieran su clasificación. Por lo tanto, en algunas briofitas se logró identificar la familia, en otras el género y en otras hasta la especie (Tabla 3). La gran mayoría de estas briofitas acrocárpicas suelen encontrarse en ambientes terrícolas (en el suelo de los bosques) y/o saxícolas (en rocas).

**Tabla 3.** Descripción de las distintas briofitas por familia/género/especie

Parada/Especimen	Descripción
<p><b>1 y 3. POTTIACEAE</b>  <i>Tortella humilis</i> (Hedw.)Jenn.</p> 	<p>Musgo acrocárpico, de unos 0.5 cm de alto, hojas ligeramente retorcidas, en tres o más hileras. Costa simple percurrente; hoja acuminada y apiculada, borde entero con el margen en la parte superior recurvado. Células de la lámina foliar: la inferior rectangulares, hialinas y lisas y las superiores globodas, pequeñas y verdosas; papilosas. Apículo hialino. Esporofito con seta larga, marrón rojiza cuando adulta; cápsula cilíndrica, muy delgada, erecta. Caliptra cuculada; peristoma en una fase muy juvenil; sin embargo, se deduce que tiene dientes muy alargados. Aún no hay esporas.</p>
<p><b>2. POTTIACEAE</b></p> 	<p>Pottiaceae sin esporófito (indeterminada).</p>
<p><b>4. POTTIACEAE</b>  Género: <i>Tortula</i> sp</p> 	<p>Pottiaceae sin esporófito (indeterminada).</p>
<p><b>5. POTTIACEAE</b></p> 	<p>Pottiaceae sin determinar por carencia de elementos. Musgo acrocárpico, de menos de 0.5 cm de alto, formando una especie de alfombra sobre el suelo; hojas linsares, encorvadas, en tres o más hileras. Apice acuminado, células foliares superiores, sapilosas. Esporofito: seta larga, lisa, verdosa; cápsula erecta, forma elipsoidal; no se observa caliptra, ni opérculo, ni peristoma. Esporas presentes. Nota: algas filamentosas, verdes y cianobacterias (<i>Nostoc</i> sp) presentes.</p>

La Tabla 4, presenta las diferentes concentraciones de metales pesados en las diferentes briofitas terrestres recolectadas en el Topo Itagua. Los elementos que se encuentran en mayor abundancia en la litología Al y Fe, son

los que aparecen con niveles más altos en las muestras vegetales. Estos datos se corresponden bastante bien con los obtenidos para la riqueza metálica en distintos tipos de rocas y en forma específica con las calizas y esquistos, las cuales son dominantes en el área de estudio (Tabla 5). Comparando los niveles dados para la litología, el Cd presenta niveles más altos en la muestra vegetal respecto a las calizas y esquistos, mientras que el Zn, aparece con niveles más bajos en las briofitas, respecto a estos dos tipos de rocas.

**Tabla 4.** Análisis químicos de los contenidos corporales de las muestras de briofitas por icp/oes.

Parada	Familia/ Especie	Al	Fe	ppm Cd	Zn	Hg	Pb	Cu
1 PI	<i>Tortella humilis</i>	3129	5610	1,55	8,0x10 <sup>-3</sup>	ND	ND	ND
2 CB	Pottiaceae	3393	5540	3,63	ND	ND	ND	ND
3 PD	<i>Tortella humilis</i>	5664	4780	0,31	ND	ND	ND	ND
4 EI	<i>Tortula sp.</i>	2754	3340	1,45	9,3x10 <sup>-3</sup>	ND	ND	ND
5 EP	Pottiaceae	519	1660	1,36	8,2x10 <sup>-3</sup>	ND	ND	ND

Nota: ND= No detectado, menor del límite de cuantificación para cada elemento

**Tabla 5.** Riqueza metálica en distintos tipos de rocas (ppm)

Metales	Rocas					
	Calizas <sup>a</sup>	Areniscas <sup>a</sup>	Granitos <sup>b</sup>	Esquistos <sup>b</sup>	Gneises <sup>b</sup>	Básicas <sup>b</sup>
Al	7000	43000				
As	1	1				
Cd	<b>0.03</b>	0.05		0.2		
Co	0.1	0.3	4	<b>19</b>	13	150
Cr	11	35	12	90	76	
Cu	5.1	30	13	45	23	10
Fe	17000	29000	20000	48000	33000	
Hg	0.16	0.29				
Mn	620	460	325	850	600	
Ni	7	9	7	68	26	2000
Pb	5.7	10	32	22	16	0.1
Zn	<b>20</b>	39	50	<b>95</b>	65	50

<sup>a</sup>Salomos y Forstner (1984)<sup>b</sup>Wedepohl(1991) Citado en Fernández *et al.* (1997),49,p.10

Este hecho, implica que los rangos de concentración natural de los metales en los suelos pueden ser amplios y están condicionados, básicamente, por el tipo de roca madre y el grado de meteorización de la misma. Estos factores dependen, en gran medida, de la zona de estudio y, por lo tanto, existe una importante variabilidad espacial de la concentración de éstos en el suelo.

Además, la concentración natural de metales pesados puede verse modificada, por diversas actividades humanas, entre las que destacan, la actividad industrial, la producción energética, el tráfico automotor, fundiciones, etc.

La composición química de la roca madre y los procesos de meteorización condicionan, de forma natural, la concentración de diferentes metales pesados en los suelos (Tiller 1989).

La Tabla 6, muestra posible orígenes de diferentes contaminantes que pudieran asociarse con el aumento en las concentraciones naturales en el suelo.

Por consiguiente, una vez analizadas las muestras de briofitas, los datos brutos no aportan información sobre el grado de enriquecimiento que éstas presentan frente a los valores naturales (normales o de referencia). Por tanto, el problema que se plantea es saber si los resultados obtenidos son mayores que los valores naturales. A partir del análisis de un conjunto de muestras de suelo recogidas en el mismo lugar donde crecen las briofitas, fue posible establecer asociaciones de la concentración de metales pesados en las briofitas con fuentes naturales o antrópicas, a través del cálculo del Factor de Enriquecimiento (FE). Los resultados se muestran en la (Tabla 7).

**Tabla 6.** Posibles orígenes y elementos marcadores de contaminación

Posible origen	Elementos marcadores
Polvo de suelo	Al, Fe
Combustión carbón	Al, Fe, S
Motor de Vehículos	Al, S, Fe, Pb, S, Zn
Construcción/cemento	Fe, S, Cd, Zn, Pb
Hierro/Fundidora Acero	Fe
Desechos de Incineradores	Zn
Industrias	Cu, Pb
Base Metal de Acero	Cd, Zn
Incineradores de Hospitales	Cd, Zn

Nota. Cuadro elaborado con la información de Ahmad *et al.* (2007).  
*Proc. Pakistan Acad. Sci.* 44(3),205.

**Tabla 7.** Factor de enriquecimiento de tres elementos en briofitas utilizando el suelo como referencia (n=5)

Parada	Familia/ Especie o Género	Factor de Enriquecimiento (FE)		
		Zn	Cd	Fe
1 PI	<i>Tortella humilis</i>	2,08	0,67	0,66
2 CB	Pottiaceae	-	0,87	0,46
3 PD	<i>Tortella humilis</i>	-	0,04	0,15
4 EI	Tortula	0,85	0,27	0,15
5 EP	Pottiaceae	15,70	126,30	0,47

Nota: Promontorio Izquierdo (PI), Campo de Baseball (CB), Promontorio Derecho (PD), Edificio Ingeniería (EI), Estacionamiento de profesores (EP). FE (Relación del Al en el musgo vs. material parental del suelo local).

El factor de enriquecimiento por metales pesados en las briofitas varía en los distintos lugares donde fueron tomadas las muestras y por espécimen. La importancia de una hipotética contaminación depende del mayor o menor FE.

El promontorio Izquierdo del Topo Itagua (Parada 1, PI), sobre el cual crece la *Tortella humilis*, a una altitud  $\geq$  1000 m.s.n.m aproximadamente, se encuentra fuera del alcance de los edificios de la Universidad, es decir, en dirección sureste desde donde se visualiza la zona de la Yaguara, la autopista Francisco Fajardo y la Av Teherán a una distancia de 1950 m, 975 m y 800 m respectivamente. Este sector presentó un FE de 2,0 con Zn es decir, un

valor por debajo de 10, por lo que se deduce que su presencia en el suelo/briofita es natural, proveniente de la roca madre (categoría N).

En cuanto al promontorio derecho del Topo Itagua (Parada 3, PD), situado al suroeste, frente al sector Antímáno, se encuentra la otra *Tortella humilis* a la misma altura mencionada, pero en este lugar, no se detectó enriquecimiento con Zn, a pesar de la cercanía con la autopista Francisco Fajardo, la cual se encuentra a 250 m con respecto al promontorio. Posiblemente, este tipo de especie es capaz de bioacumular Zn, en bajas concentraciones cuando el foco de contaminación se encuentra a una menor distancia, el estacionamiento de profesores se localiza a 97 m de separación de la *Tortella humilis* en la Parada 1.

En la (Parada 4) detrás del edificio de ingeniería, donde crece la *Tortula* sp., presentó un FE 0,85 con Zn, es decir, un valor por debajo de 10, por lo que se deduce que su presencia en el suelo/briofita es natural, es decir, por la meteorización de la roca madre, (categoría N).

La Pottiaceae que se desarrolla en el estacionamiento de los profesores (Parada 5, EP), presenta un FE de 15,7 con Zn, valor que es siete veces mayor al FE que presentó el promontorio izquierdo (Parada 1, PI) del Topo Itagua. Este valor superior a 10 indica que se trata de un metal moderadamente enriquecido en el suelo/briofita por fuentes antropogénicas, (categoría M) de acuerdo con Lawson y Winchester (1979). Pérez (1984), explica que las altas concentraciones de Zn obtenidas en las muestras cercanas al tránsito automovilístico posiblemente sean consecuencia del mismo tránsito y, en concreto, de las pastillas de frenado de los automóviles. Quizás sea lo que está ocurriendo en este sector de la UCAB.

En cuanto al Cd, Gerdol *et al.*, (2000) señalan que es un elemento típico de diferentes fuentes de origen industrial y combustión de gasolina. Esta descripción, coincide con lo observado en la zona industrial de la Yaguara, la presencia de la empresa fabricante de briqueta, planta de concreto La Yaguara y el tránsito automotor en las principales arterias viales aledañas al sector de estudio, así como también con lo observado en el estacionamiento de los profesores, donde hay un gran número de vehículos que se desplaza diariamente, siendo el sitio que presenta el mayor valor de enriquecimiento de 126,3 (categoría M) por lo que indica que se trata de un metal moderadamente enriquecido en el suelo/briofita por fuentes antropogénicas. Al respecto, Aboal *et al.* (2010), señalan que las briofitas recogen Cd, en niveles sorprendentemente correlacionados con los emitidos. En el resto de las paradas, todas presentaron un FE por debajo de 10, por lo que se deduce que su presencia del Cd en el suelo/briofita se debe a la roca madre, (categoría N).

En todos los lugares muestreados, el FE para el Fe fue inferior a 10 (categoría N), lo que indica su presencia de origen geológico, es decir, natural, por meteorización de la roca. Sin embargo, el elemento Fe es suministrado principalmente a la atmósfera por el polvo y partículas del suelo transportado por viento, aunque parte de las emisiones de Fe derivan de fuentes antropogénicas, especialmente por las industrias del hierro y el acero.

Posiblemente, las diferencias en la incorporación de metales pesados por las briofitas entre los distintos sitios dependan de la disponibilidad de metales presentes a diferencias en afinidades de adsorción y/o que la deposición excede la disponibilidad de sitios de intercambio. También es viable que las características morfológicas entre ellas y la forma de crecimiento, facilita atrapar las partículas de material suspendido, como por ejemplo, la *Tortella humilis* presenta una forma de crecimiento cespitosa, esto hace que presente una cubierta densa y continua lo que naturalmente facilita atrapar mayor cantidad de partículas de polvo atmosférico, mientras que la *Tortula* sp. su forma de crecimiento es espigada o rastrera quedando menos expuesta al viento y por ende a la captación de partículas.

Por otra parte, la llegada de los vientos SE, los cuales son los predominantes en el área de estudio, probablemente sean en parte responsables del transporte de elementos desde los distintos focos de contaminación (Yaguara, autopista Francisco Fajardo, Av. Teherán y la zona de Antímáno) hacia la UCAB.

#### 4. Conclusiones

Las briofitas identificadas en esta investigación fueron: *Tortella humilis* (Hedw.)Jenn., la *Tortula* sp. y otras Pottiaceae. En la zona de estudio sólo se encontraron Cd y Zn producto de las actividades industriales y el tráfico automotor.

*La Tortella humilis* y la *Tortula* sp. fueron potenciales bioacumuladores de Zn, mientras que la Pottiaceae sp. bioacumulan Zn y Cd.

Los factores de enriquecimiento se presentaron superiores a 10, específicamente 15,7 con Zn y 126,3 con Cd solo en el caso del estacionamiento de profesores de la UCAB donde crece una Pottiaceae cuyo género no se determinó; de esto se infiere alta concentración de estos metales en el aire de este sector.

Las bioconcentraciones observadas en los musgos pudieran ser utilizadas como una medida de exposición de la población humana a los contaminantes atmosféricos, lo que facilitaría la realización de estudios epidemiológicos y las evaluaciones de riesgo.

Hasta el cierre de la presente investigación, no se ha evidenciado estudios previos relacionados con briofitas como bioacumuladores de metales pesados en Venezuela.

#### 5. Agradecimientos

Al Botánico Efrain Moreno por la identificación taxonómica de las especies de briofitas. (Laboratorio de Biología Vegetal, Departamento de Biología y Química, Instituto Pedagógico de Caracas, Universidad Pedagógica Experimental Libertador). Igualmente, a la Subdirección de Investigación y Postgrado de la Universidad Pedagógica Experimental Libertador, Instituto Pedagógico de Caracas, por el apoyo financiero para este proyecto, registrado con el N° 11-183, en el Centro de Investigación en Ciencias Naturales “Manuel Ángel González Sponga” (CICNAT).

#### 6. Referencias bibliografías

- Aboal, J.R., Fernández, J.A., Boquete, T. y Carballeira, A. 2010. Is it possible to estimate atmospheric deposition of heavy metals by analysis of terrestrial mosses? *Science of The Total Environment*. 408:6291-6297.
- Aceto, M., Abollino, A., Conca, R., Malandrino, M., Mentasti, E y Sarzanini, C. 2003. The use mosses as environmental mental pollution indicators. *Chemosphere*. 50:333-342.
- Ahmad, S., Daud, M. y Qureshi, I. 2007. Use on biomonitors to assess the atmospheric chances. *Proc. Pakistan Acad. Sci*. 44:201-219.
- Anze, R., Franken, M., Zaballa, M., Pinto, M., Zeballos, G., Cuadros, M.A., Canseco, A., De la Rocha, A., Estellano, V y Del Granado, S. 2007. Bioindicadores en la detección de la contaminación atmosférica en Bolivia. Disponible en: <http://revistavirtual.redesma.org/vol1/articulo3.htm> [12 de abril de 2010].
- Cenci, R. 2008. Guidelines for the use of native mosses, transplanted mosses and soils in assessing organic and inorganic contaminant fallout. Disponible en: [http://eusoiils.jrc.ec.europa.eu/esdb\\_archive/eurosoils\\_docs/Other/EUR2329EN](http://eusoiils.jrc.ec.europa.eu/esdb_archive/eurosoils_docs/Other/EUR2329EN). [6 de marzo de 2011].
- DIGESA. 2005. Protocolo de monitoreo de la calidad del aire y gestión de los datos. Disponible en: [http://www.digesa.minsa.gob.pe/DEPA/informes\\_aire.pdf](http://www.digesa.minsa.gob.pe/DEPA/informes_aire.pdf). [01 de mayo de 2011].
- Fernández, J., Puche, F., Gimeno, C. y Carballeira, A. 1999. Primeros datos sobre el biocontrol de la deposición atmosférica de metales pesados en las provincias de Valencia, Castellón y Teruel mediante musgos terrestres. *Ecología*.13: 83-91.
- Ford, J., y Hasselbach, L. 2001. Heavy metals in mosses and soils on six transects along the Red Dog Mine Haul Road Alaska. NPS/AR/NRTR. Disponible en: <http://www.dec.state.ak.us/spar/csp/docs/reddog/re>. [19 de abril de 2011].

- Gerdol, R., Bragazza, L., Marchesini, R., Alber, R., Bonetti, L., Lorenzoni, G., Achilli, M., Buffoni, A., De Marco, N., Franchi, M., Pison, S., Giaquinta, S., Palmieri, F. y Spezzano, P. 2000. Monitoring of heavy metal deposition in northern Italy by moss analysis. *Environmental Pollution*. 108:201-208.
- Hasselbach, L., Ver Hoef, J., Ford, J., Neitlich, P., Crecelius, E., Berryman, S., Wolk, B y Bohle, T. 2005. Spatial patterns of cadmium and lead deposition on and adjacent to National Park Service lands in the vicinity of Red Dog Mine, Alaska. *Science of the Total Environment*. 348:211-230.
- Hurtado, W. 2010. Evaluación de la calidad del aire en los alrededores de la población minera de Tiara empleando líquenes como biomonitores de metales. Tesis de Licenciatura. Departamento de Geoquímica. Universidad Central de Venezuela. Caracas, 147p.
- Lawson, D. y Winchester, J. 1979. A Standar crustal aerosols as a Reference for Elemental Enrichment Factors. *Atmospheric Environment*. 10:925-930.
- Le Blanc, F. y Rao, D. 1973. Evaluation of the pollution and drough hypotheses in relation to lichens and bryophytes in urban environments. *Bryologist*. 76: 1-19.
- León, Y. 2005. Nuevos registros de musgos (Bryophyta) para el estado Mérida y Venezuela. *Plántula*.3:149-152.
- Matteri, C. 2010. Briofitas. Disponible en: <http://www.cricyt.edu.ar/enciclopedia/términos/Briofitas.htm> [02 de mayo de 2011]. 02/05/2011
- Merwin, M., y Nadkarni, N. 2002. 100 years of tropical bryophyte and lichen ecology: a bibliographic guide to the literatura from 1901-2000. *Tropical Bryology*. 21:47-67.
- Morales, T. 2009. Musgos (Bryophyta) del Parque Nacional Ávila, sectores Cerro El Ávila-Lagunazo, Venezuela. *Caldasia*. 31:251-267.
- Morales, T., Moreno, E y García, M. 2008. Briofitas del área recreativa del Jardín Botánico de Caracas. *Ernstia*. 18:37-58.
- Moreno, E. 1992. Aproximación al conocimiento de las briofitas de Venezuela. *Tropical Bryology*. 6:147-156.
- Noriega, P., Medici, A., Murillo, A., Bedón, J., Haro, F y Galecio, G. 2008. *La Granja*. 8:17-24.
- Núñez, E. 2009. Red Autónoma de Biomonitorización de la Contaminación por metales pesados. Informe Final. Disponible: [http://www.larioja.org/upload/documents/545918\\_2009InformeFinal.pdf](http://www.larioja.org/upload/documents/545918_2009InformeFinal.pdf) [10 de mayo de 2010].
- Pérez, O. 1984. Estudio del contenido de metales pesados en briófitos del área metropolitana de Barcelona. *Anaqueles de Biología*. 2:347-352
- Pesch, R., y Schroeder, W. 2006. Mosses as bioindicators for metal accumulation: Statisticak aggregation of measurement data to exposure indices. *Ecological Indicators*. 6(1):137-152.
- Pursell, R. 1973. Un Censo de los Musgos de Venezuela. *Bryologist*, 76(4):473-500.
- Ramírez C., y Crusco De DALL'AGLIO, R. 1979. Musgos del Parque Nacional Henri Pittier, estado Aragua, Venezuela. *Agronomía Tropical*. 10(1-4):403-417.
- Rühling, A y Tyler, G. 2001. Changes Atmospheric Deposition Rates of heavy metal in Sweden a Summary of Nationwide Swedish Surveys en 1968/70-1995. *Water, Air y Soil Pollution Focus*. 1(3-4):311-323.
- Taoda, H. 1973. Bry-meter, an instrument for measuring the phytotoxic air pollution. *Hikobia*. 6:224-228.
- Tiller, K.G., 1989. Heavy metals in soils and their environmental significance. *Advances in soil Science*. 9:113-141.
- Tyler, G. 1990. Bryophytes and heavy metals. A literature review. *Botanical Journal of the Linnean Society*. 104, (1-3): 231-253.