

Estudio de la concentración de cadmio y plomo en el aire de la ciudad de Quito, empleando briofitas como biomonitores

Paco Noriega^{1,*}, Alessandro Medici², Antón Murillo¹, Juan Bedón¹, Fernando Haro¹ y Galo Galecio¹

¹ Centro de Investigación y Valoración de la Biodiversidad (CIVABI), Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador.

² Centro di Ateneo per la Cooperazione allo Sviluppo Internazionale, Università degli Studi di Ferrara, Ferrara, Italia.

* Autor para correspondencia: pnoriega@ups.edu.ec

Resumen

El presente estudio analizó las concentraciones de cadmio y plomo en diecisiete sitios distribuidos a lo largo y ancho de la ciudad de Quito, además de un sector en la ciudad de Sangolquí, y dos más en las parroquias de Carapungo y Calderón. La metodología utilizada es el Biomonitorio, la cual emplea organismos vivos, en este caso briofitas (musgo), debido a que al no contar con una pared celular se facilita la absorción de los contaminantes del aire. Este musgo fue recolectado en el refugio de vida silvestre el Molinuco para asegurar niveles mínimos de contaminación y luego fue sembrado en los sitios establecidos dentro de las ciudades, permaneciendo en éstos por cincuenta días. Posteriormente, las concentraciones de contaminantes se determinaron en el laboratorio mediante un equipo de absorción atómica marca Varian, modelo spectrAA 50. Finalmente, se empleó una ecuación matemática que transforma la concentración en ppm del musgo a microgramos por metro cúbico de aire. Los resultados encontrados indican la presencia de Plomo en todos los puntos analizados, el Cadmio se halla sólo en las cercanías del intercambiador de Zámboza.

Palabras clave: Biomonitorio, Briofitas, Contaminación del aire, metales pesados.

Introducción

El aire que respiramos influye directamente en la calidad de vida. Un aire contaminado afecta de distintas maneras: produce y acelera enfermedades respiratorias, produce intoxicaciones debido al arrastre de elementos y compuestos peligrosos; y por ende disminuye la esperanza de una vida saludable. La Corporación Municipal Para el Mejoramiento del Aire en Quito (CORPAIRE) desde hace algunos años trabaja en el monitoreo, controlando los siguientes parámetros: material particulado, dióxido de azufre, monóxido de carbono, dióxido de carbono, ozono y dióxido de nitrógeno (CORPAIRE, 2005).

De lo anteriormente expuesto se aprecia la no inclusión, en el monitoreo municipal, de agentes contaminantes de tipo metálico que pueden volatilizarse,

como el cadmio, el mercurio y el Plomo, los cuales son altamente peligrosos.

En los años veinte del siglo pasado se descubrió que la adición a la gasolina de compuestos organometálicos de plomo, especialmente tetraetil o tetrametilplomo, disminuye la detonación. Debido a esto, en años posteriores, el plomo se incorporó prácticamente a todas las gasolinas con el objeto de mejorar sus características. Los aditivos de plomo suprimen las reacciones radicalares encadenadas que se producen en la fase de preignición. A medida que la mezcla aire-combustible se comprime y calienta, se produce la ruptura de los débiles enlaces alquil-plomo y la eliminación de los átomos de plomo, los cuales se combinan posteriormente con el oxígeno para formar partículas de PbO y PbO₂. Estas partículas proporcionan sitios de unión a los radicales hidrocarbo-

atos, poniendo término a la cadena de reacciones. Para eliminar la acumulación de depósitos de plomo en el interior de la superficie del motor, las gasolinas con plomo también contienen dicloroetileno o dibromoetileno; estos compuestos organohalogenados actúan como limpiadores de plomo, originando PbX_2 (donde $X = Cl$ o Br). Debido a que estos compuestos son volátiles a las elevadas temperaturas de escape, eliminan el plomo del interior del motor liberándolo a la atmósfera.

A mediados de los años setenta se empieza a comercializar en los Estados Unidos la gasolina sin plomo, desplazando gradualmente a la gasolina con plomo; en Ecuador, el cambio es reciente, remontándose a 1998. Esta sustitución ha tenido un efecto favorable sobre la contaminación del plomo y en general sobre la contaminación atmosférica. La exposición humana disminuyó significativamente cuando el plomo fue eliminado, sin embargo se debe tener en cuenta el efecto residual de este metal, el que puede ser hasta de veinte años. El plomo tiene efectos neurotóxicos, daña los riñones y el aparato reproductor. Aun la exposición de baja intensidad afecta el desarrollo mental infantil (Shilu Tong, 2000).

El cadmio, se encuentra en el mismo subgrupo de la tabla periódica que el zinc y el mercurio, pero es más similar al primero. Su única especie es la de valencia 2+. Como en el caso de otros metales pesados, la quema de carbón introduce cadmio al medio ambiente. El tratamiento por incineración de residuos que contienen cadmio es, también, una fuente importante del metal en el medio ambiente.

Una aplicación importante del cadmio es como electrodo en baterías recargables de níquel-cadmio, utilizadas en calculadoras y en aparatos similares. Con el fin de no emitir partículas de cadmio al medio ambiente después de la combustión, algunos municipios obligan a separar las baterías de níquel-cadmio



del resto de la basura. En forma iónica el principal uso del cadmio, es como pigmento, siendo ampliamente utilizado para pigmentar plásticos, han sido empleadas sales de azufre y selenio CdS y $CdSe$. El $CdSe$ se usa también en dispositivos fotovoltaicos (como las células fotoeléctricas) y en pantallas de televisión. El Cd es una sustancia cancerígena, una exposición prolongada daña los riñones y los huesos.

Tanto el Cd como el Pb son componentes de la denominada basura electrónica, es decir la proveniente de televisores, computadoras, celulares y demás dispositivos electrónicos (Carroll, 2008).

El biomonitoreo es una técnica que se basa en el principio de que una sustancia tóxica es perjudicial a los organismos vivos, así por medio de éstos logramos determinar la concentración de contaminantes tanto en el organismo como en el medio en el que se desenvuelven. Entre los organismos más usados, como bioindicadores y bioacumuladores, se encuentra los musgos. En las técnicas de biomonitoreo se usa un producto biológico analizando la variación la morfológica, fisiológica y genética, Este estudio representa un campo independiente de la búsqueda de contaminantes en el campo biológico y puede convertirse en una ayuda válida para alcanzar un propósito común, representado por la mejora de la calidad del aire que respiramos. El biomonitoreo no es costoso y permite confiabilidad en la medición de la contaminación atmosférica.

Materiales y métodos

2.1 Recolección del musgo

Para la recolección de los biomonitores se usó musgo del refugio de vida silvestre Molinuco, ubicado al Sur Oriente de la ciudad de Quito, a 30 minutos en auto desde la población de Sangolquí. Se recolectaron 50 muestras de musgo del género *Rhaphidorrhynchium*. Las muestras fueron recogidas íntegras llevando consigo la corteza o tronco que las acogían.

2.2 Ubicación de los Bio monitores

Para ubicar a los musgos se escogieron 20 puntos a lo largo y ancho de la ciudad de Quito y comunidades aledañas. Fueron depositados en parques y avenidas, sembradas en árboles, manteniendo la corteza original que los mantenía, asegurando las muestras con la ayuda de cinta adhesiva. Los puntos seleccionados se presentan en la Tabla 1.

Los monitores biológicos pasivos permanecieron en sus puntos durante 50 días, equivalentes al 14% de un año.

Tabla I. Ubicación exacta de los veinte biomuestreadores por sector.

Punto No.	UBICACIÓN	SECTOR
1	Av. General Enriquez	Sangolquí
Sur de Quito.		
2	Yumanay Ñan y Av. Maldonado	Guamaní
3	Ajaví y Cardenal de la Torre	Parque Lineal
4	Av. Rumichaca y Av. Morán Valverde	UPS-Sur
5	Quitús y Jacinto Collaguazo	La Magdalena
Norte y Centro de Quito		
6	Av. 10 de Agosto y Gran Colombia	Parque la Alameda
7	Santa Lucía e Isabel la Católica	UPS-Girón
8	Av. Enriquez Rither y Av. la Gasca	La Gasca
9	Av. Mariana de Jesús	Parque de la Mujer
10	Av. Japón y Av Naciones Unidas	Parque la Carolina
11	Av. Francisco Urrutia y Eloy Alfaro	Parque Chile
12	Av. Eloy Alfaro	Partidero a Zámbriza
13	Av. Charles Darwin	Quito Tenis
14	Av. 10 de Agosto y Cap. Ramón Borja	La Luz
15	Av. Machala	Parque Inglés
16	Av. Luis Guerrero	Cotocollao
17	Arupos y Tulipanes	Ponciano Bajo
18	Av. Alonso Vaca y Diego Parra	Carcelén
19	Carapungo	Carapungo
20	Calderón	Calderón

2.3 Tratamiento de las Muestras

Transcurrido el tiempo previsto (50 días), se procedió a la recolección de las muestras de los sitios respectivos y fueron trasladados de inmediato a los laboratorios del CIVABI. Las muestras fueron secadas al ambiente, por varios días y posteriormente molidas finamente para el análisis.

2.4 Análisis de metales pesados, Plomo y cadmio

Se pesaron exactamente con la ayuda de una balanza analítica de 0,5 g de muestra, la cual fue digerida con 5 mL de una mezcla de 8 partes de HNO₃ y 2 partes de HCl, a reflujo por 2 horas.

Se filtró el residuo y se aforó a 25 ml con agua destilada. Independientemente se trabajó con un

blanco que contenía musgo virgen que no había sido sometido a la contaminación del ambiente para encerrar el equipo de absorción atómica. Para el análisis se comparó la concentración de los musgos con una serie de estándares de concentraciones de Cd y Pb.

Para el ensayo se empleó un equipo de Absorción marca Varian, modelo SpectrAA50.

2.5 Tratamiento para los resultados

Para obtener resultados en función de la deposición en la atmósfera utilizamos la siguiente expresión.

$$\log_{10}(\text{concentración en el musgo}) = 0,59 + 1,0 \log_{10}(\text{deposición atmosférica})$$

Donde la concentración en el musgo se presenta en ppm y la deposición atmosférica en mg/m³.

Resultados

3.1 Análisis de Metales Pesados

Del análisis realizado se obtuvieron los siguientes re-

sultados en los veinte sitios elegidos para depositar los bio-indicadores, los cuales se detallan a continuación. (Tabla 2) y (Figuras 1 y 2).

Tabla 2. Concentraciones de Plomo mg/m^3 y Cadmio mg/m^3 en los veinte sectores muestreados.

No.	Sector de la ciudad	Concentración de plomo en mg/m^3 producto de 50 días.	Concentración de cadmio en mg/m^3 producto de 50 días.
1	Sangolquí	1,61	0
2	Guamani	1,89	0
3	Parque Lineal	3,06	0
4	Chillogallo (UPS Sur)	1,32	0
5	Magdalena	1,61	0
6	Alameda	0,73	0
7	El Girón (UPS Girón)	1,61	0
8	La Gasca	2,48	0
9	Mariana de Jesús	1,61	0
10	La Carolina	1,61	0
11	Parque Chile	1,31	0
12	Zambiza	3,86	0,033
13	Quito Tenis	0,44	0
14	La luz	1,32	0
15	Parque Inglés	0,73	0
16	Cotocollao	2,18	0
17	Ponciano	1,32	0
18	Carcelén	0,73	0
19	Carapungo	1,31	0
20	Calderón	1,02	0

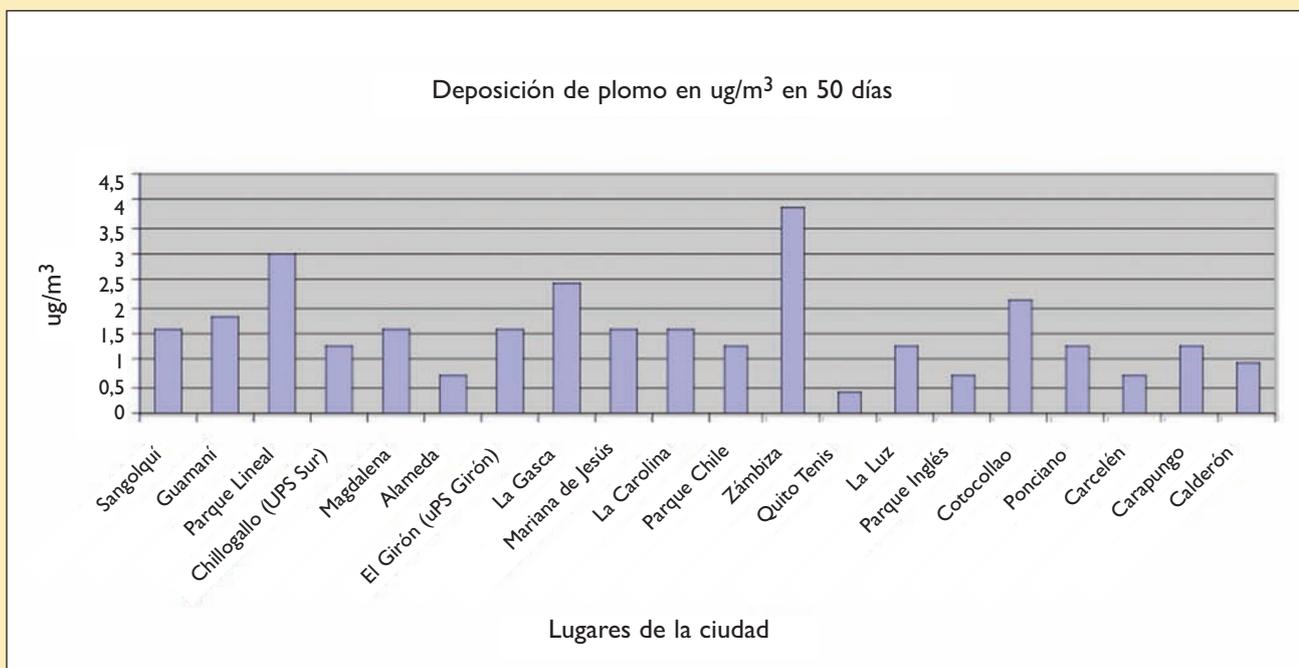


Figura 1. Gráfico comparativo de las diferentes concentraciones obtenidas de plomo en los veinte sectores muestreados.

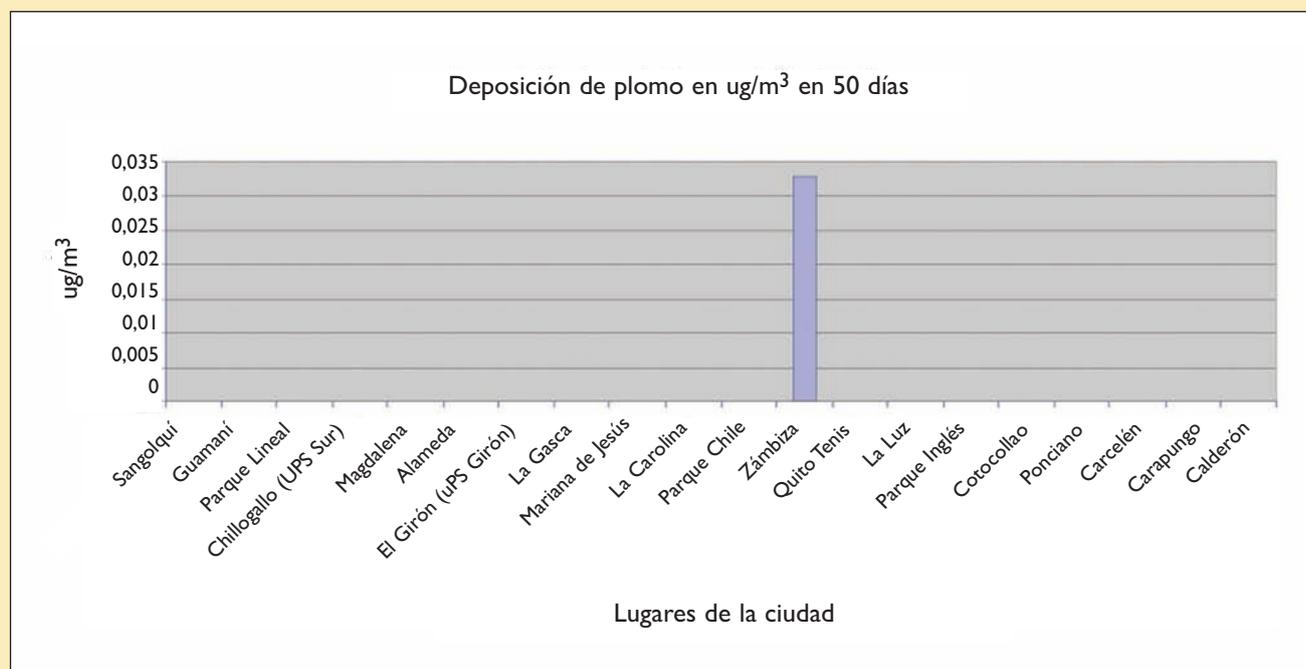


Figura 2. Concentración de cadmio en la ciudad

Se pueden apreciar también la concentración de absorción (bioacumulación) en el musgo en ese espacio de tiempo (Tabla 3).

Tabla 3. Bioacumulación de plomo y cadmio en el musgo, tras la exposición de 50 días en la ciudad.

Sector de la ciudad	Miligramos de Pb absorbidos por 0,5 gramos de Pb de musgo en 50 días	Concentración en ppm en el musgo	Miligramos de Cd absorbidos por 0,5 gramos de musgo en 50 días	Concentración en ppm de Cd En el musgo
Sangolquí	0,0031	6,267	0	0
Guamaní	0,0037	7,376	0	0
Parque Lineal	0,0059	11,930	0	0
Chillogallo (UPS Sur)	0,0025	5,124	0	0
Magdalena	0,0031	6,262	0	0
Alameda	0,0014	2,843	0	0
El Girón (UPS Girón)	0,0031	6,256	0	0
La Gasca	0,0048	9,675	0	0
Mariana de Jesús	0,0031	6,255	0	0
La Carolina	0,0031	6,246	0	0
Parque Chile	0,0025	5,111	0	0
Zumbiza	0,0071	15,017	6,236E-05	0,1315
Quito Tennis	0,0009	1,694	0	0
La Luz	0,0025	5,123	0	0
Parque Inglés	0,0014	2,846	0	0
Cotocollao	0,0042	8,499	0	0
Ponciano	0,0025	5,119	0	0
Carcelén	0,0014	2,825	0	0
Carapungo	0,0025	5,107	0	0
Calderón	0,0019	3,956	0	0

Discusión

Para la cuantificación de la deposición metálica (Pb y Cd) del musgo se empleó la técnica analítica conocida como espectroscopia de absorción atómica, la cual opera preparando una curva de calibración

con estándares de soluciones conocidas y concentración en función de la absorbancia para posteriormente calcular la concentración en el musgo por simple interpolación de valores. La relación entre concentración y absorbancia para el rango de interés siempre debe ser lineal (Figura 3).

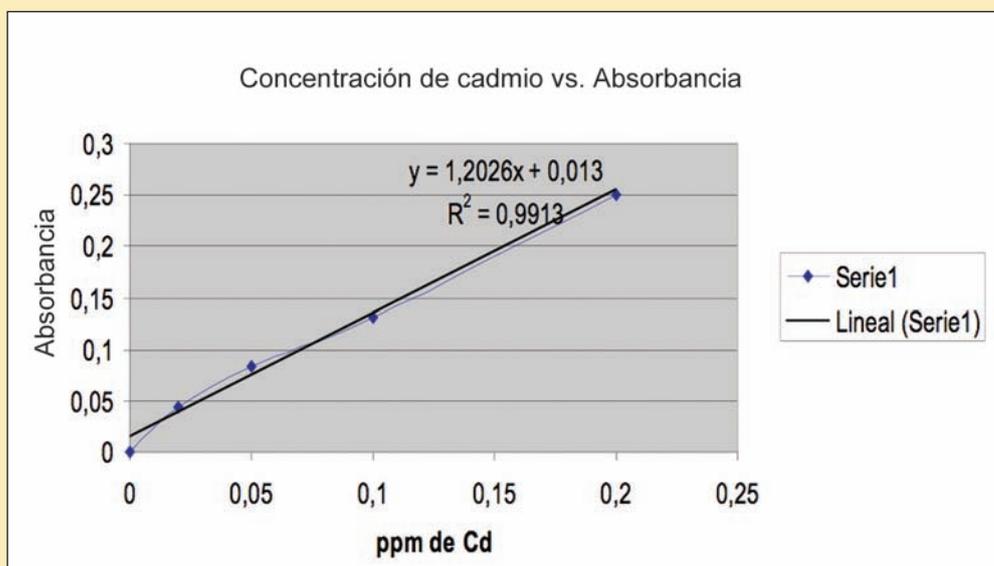


Figura 3. Curva de calibración para el cadmio.

Se puede apreciar que en mayor o menor cantidad, se encuentra plomo en el ambiente de la ciudad, a pesar de que hace varios años este metal fue eliminado como parte de los aditivos de la gasolina. La explicación se daría por dos razones: primera, el Pb puede provenir de fuentes industriales o por mal manejo de desechos (ver concentración de Zámbriza); segundo, el tiempo de permanencia de este metal en el ambiente es de quince a veinte años, por lo tanto aún deben existir remanentes de su uso como aditivo de los combustibles.

El cadmio, un metal muy peligroso, ha sido encontrado en el punto de muestreo cercano al basurero de Zámbriza, su explicación radica a que es un componente común de desechos de tipo electrónico, y que se constituye en un metal presente en pigmentos para plásticos que al ser incinerados se disipan en el ambiente.

Se puede apreciar que a pesar del poco tiempo de muestreo los resultados son bastante exactos. Es importante continuar la labor del monitoreo con una siguiente de remediación de la calidad del aire en Quito, sobre todo con los compuestos más peligrosos como el plomo, cadmio y los PHAs que aparecen en importantes concentraciones en sitios muy habitados de la ciudad y que por, sus propiedades cancerígenas y neurotóxicas deterioran la calidad de vida de nuestra comunidad.

Referencias

- A cross-agency U.S. Government Web site **List of AIRNow partner agencies**. En línea: <<http://www.epa.gov/airnow>>. Consulta 15 de octubre de 2007.



Amado-Filho, Salgado ,LT; Rebelo, MF; Rezende, CE; Karez, Cs and Pfeifer, WC. 2008. Heavy metals in benthic organisms from Todos os Santos Bay, Brazil. **Braz, J Biol 68(1): 95-100.**

Carrol Chris, Peter Essick. Basura Tecnológica. **National Geographic Enero 2008 22 (01): pp 2-25.**

Colin Baird. **Química Ambiental.** Editorial Reverte S.A; España 2004. 622 pp.

Dickson T.R. **Química, Enfoque Ecológico.** Editorial Limusa. México D.F 1999. 406 pp.

Environmental Protection Agency United States. **Technology Transfer Network Air Toxics.** En línea <<http://www.epa.gov/ttn/atw/hlthef/hapintro.html>>. Consulta 24 de marzo del 2007.

Mackenzie L. Davis. 2007. **Ingeniería y Ciencias Ambientales.** Editorial McGrawHill. México, México DF. 476pp.

Plan de manejo de la Calidad del Aire del Dis-

trito Metropolitano de Quito Periodo 2005-2010; Dirección Metropolitana de Medio Ambiente. Corporación para el Mejoramiento del Aire de Quito. Quito, marzo del 2005.

Stanley E. Manahan. **Introducción a la Química Ambiental.** Editorial Reverte España 2007. 725 pp.

Shilu Tong, Yasmin E.Von Schirnding, Tippawan Prapamonto. Exposition au plomb dans l' environnement : un probleme de sante publique d'importance mondiale. **Bolletín of the World Health Organization** 2000 78 (9) : 1086-1079.

Thomas G. Spiro, William M. Stigliani. **Química Medioambiental.** Editorial Prentice Hall. Madrid, España. 504 pp.

ACCUSTANDAR, **Catálogo de estándares científicos,** DIN38407-9-BENZ, 2005

ACCUSTANDAR, **Catálogo de estándares científicos para PHAs,** DIN38407-9-BENZ, 2005.



Los resultados encontrados indican la presencia de plomo (Pb) en todos los puntos analizados, el cadmio (Cd) se halla sólo en las cercanías del intercambiador de Zámbriza.

