

# El uso de *Usnea sp.* y *Tillandsia capillaris*, como bioindicadores de la contaminación ambiental en la ciudad de Lima, Perú

Patricia Bedregal<sup>1</sup> [pbedregal@ipen.gob.pe](mailto:pbedregal@ipen.gob.pe), Blanca Torres<sup>1</sup> [btorres@ipen.gob.pe](mailto:btorres@ipen.gob.pe), Pablo Mendoza<sup>1</sup> [pmendoza@ipen.gob.pe](mailto:pmendoza@ipen.gob.pe), Marco Ubillus<sup>1</sup> [mubillus@ipen.gob.pe](mailto:mubillus@ipen.gob.pe), Jazmín Hurtado<sup>2</sup> [jehurt@upch.edu.pe](mailto:jehurt@upch.edu.pe), Ily Maza<sup>3</sup> [a20034932@pucp.edu.pe](mailto:a20034932@pucp.edu.pe), Rosa Espinoza<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Química Instituto Peruana de Energía Nuclear Canadá 1470 Ap. 1445 Lima 41 Perú

<sup>2</sup>Universidad Peruana Cayetano Heredia, Av. Honorio Delgado 210 Lima Perú

<sup>3</sup> Universidad Nacional de Ingeniería Av. Tupac Amaru 210 Lima 25 Perú

## Resumen

Con la finalidad de evaluar la contaminación en la ciudad de Lima Metropolitana se realizó un monitoreo ambiental utilizando los bioindicadores: líquen *Usnea sp* y *Tillandsia capillaris*. Las muestras fueron recogidas de una zona no contaminada y expuestas por tres meses en diferentes distritos de la ciudad, luego fueron recogidas, preparadas y analizadas utilizando la técnica de activación neutrónica. Los resultados obtenidos mostraron contaminación significativa en algunas Zonas de la ciudad procedente de la actividad industrial y de las emisiones vehiculares.

## Abstract

In order to evaluate pollution in the city of Lima, Perú, an environmental monitoring was carried out using two species of bioindicators: lichen *Usnea sp* and *Tillandsia capillaris*. Both samples were taken from an uncontaminated area to be exposed during three months in different sampling sites of the city. Then samples were collected, prepared and analyzed by instrumental neutron activation analysis. Results showed important contamination in East and North Zone of the city coming from industrial activities and vehicular emissions.

## 1. Introducción

Es sabido que el uso de bioindicadores en estudios de contaminación ambiental tiene varias ventajas comparando con el uso de filtros de aire o muestreadores de deposición. Los beneficios están relacionados con la simplicidad del muestreo, el grado de acumulación de los metales pesados [1] y el uso de equipo más económico [2].

Líquenes [3-6], musgos [7-9] y tillandsias [10-11] se han aplicado satisfactoriamente como bioacumuladores de metales. La eficiencia de bioacumulación de musgos y líquenes proviene de su capacidad de intercambio catiónico, el cual se debe a la carga negativa de los constituyentes en las paredes de la célula (en su mayoría grupos ácido carboxílicos) que pueden establecer enlaces iónicos con elementos catiónicos en forma soluble [12]. Los elementos pueden

también ser retenidos en los espacios intracelulares o en superficies irregulares. Los líquenes son los más utilizados como bioacumuladores porque no toman sus nutrientes de la raíz, hojas o flores sino de la atmósfera. Las tillandsias también son consideradas como una buena alternativa para biomonitorizar el ambiente, ya que sus requerimientos de agua y nutrientes son mínimos y todas sus necesidades las toman del aire, a través de las hojas.

En casos donde las especies no están presentes en el lugar de evaluación, éstas pueden ser transplantadas de lugares no contaminados.

En el presente estudio, se seleccionaron como bioindicadores el líquen *Usnea sp.* y la planta *Bromeliaceae*, *Tillandsia capillaris*. Ambas especies fueron recogidas de un lugar no contaminado en la sierra del Perú y

transplantadas a la ciudad de Lima. Después de tres meses de exposición en 16 puntos de la ciudad de Lima (Perú) y dejando un biomonitor de control, éstas fueron colectadas y analizadas utilizando el análisis por activación neutrónica, método ksubcero.

## 2. Experimental

### 2.1 Muestreo y preparación de la muestra

Debido a la ausencia de especies de biomonitores en la ciudad de Lima, éstos fueron recogidos, en época de otoño de la sierra norte, situada a 400 Km. de Lima y a 3000 metros sobre el nivel del mar. Las muestras fueron transportadas al laboratorio en bolsas de polietileno con el debido cuidado para evitar contaminación.

Cada muestra se colocó en pequeñas bolsas de tul de malla 12, las que se colgaron de un pequeño perchero para ser ubicadas en cada punto de muestreo a una distancia de 1.65 m del suelo. En cada sitio de muestreo se expusieron 2 muestras de *Tillandsia capillaris* y 2 del líquen, *Usnea sp.* reservándose el mismo número de muestras sin exponer para ser utilizarlas como blancos. Las muestras se distribuyeron en 16 puntos de muestreo, cubriendo las zonas Norte, Centro, Sur y Este de la ciudad. La Fig. 1 [13] muestra los sitios de muestreo.

Después de tres meses de exposición, durante la estación de invierno, las muestras fueron recogidas y llevadas al laboratorio para ser preparadas para el análisis. Estas se lavaron con agua desionizada para retirar el polvo y finalmente se enjuagaron con agua bidestilada. Luego se molieron utilizando nitrógeno líquido y se secaron a 50°C durante 24 horas. Se tamizaron, envasaron, homogenizaron por 6 horas y se irradiaron con una fuente de  $^{60}\text{Co}$ , para su preservación hasta el análisis.



**Figura 1.** Puntos de muestreo en la ciudad de Lima.

### 2.2 Procedimiento analítico

Un total de 30 muestras (17 del líquen *Usnea sp.* y 13 de *Tillandsia capillaris*) fueron analizadas por duplicado, utilizando el análisis por activación neutrónica instrumental (INAA), método k subcero. Se pesaron aproximadamente 300 mg de muestra, se prepararon pastillas y se colocaron en bolsas de polietileno, previamente lavado con solución de ácido nítrico.

Para la aplicación del método k subcero, se utilizó estándar de sodio, el que fue preparado depositando una alícuota de solución estándar de sodio grado espectroscópico en pequeños discos de papel Whatman No. 42, de 13 mm de diámetro. Luego éstos fueron evaporados bajo lámpara infrarroja y preparados en forma de pastillas y se colocaron en bolsas de polietileno.

Aproximadamente 250 mg de material de referencia líquen (IAEA-336) se pesaron y prepararon de igual manera que las muestras.

### 2.3. Análisis por activación neutrónica, método ksubcero

Para la determinación de Al, Ca, Cl, V, Mg, Mn, Na y Ti las muestras y estándares fueron irradiados por 15 minutos a un flujo térmico de  $10^{12}$  n-cm<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup> en el reactor RP 10 del Centro Nuclear RACSO. Para la cuantificación de los otros elementos (As, Br, Cd, Ce, Co, Cr, Cs, Fe, Hf, Hg, K, La, Rb, Sb, Sc, Sm, Th, y Zn.), las muestras y estándares se irradiaron por 6.5 horas a un flujo de  $3 \times 10^{13}$  n-cm<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup>. Las mediciones de la actividad inducida se llevaron a cabo en un detector de Ge de 15% de eficiencia, con una resolución de 1.9 keV para el pico de 1408 keV del <sup>152</sup>Eu. Para la primera irradiación, las mediciones se realizaron por 900 segundos, después de un tiempo de decaimiento de 300 segundos. De la segunda irradiación se realizaron dos mediciones: por 1500 segundos, después de un tiempo de decaimiento de 5 a 7 días y por 20000 – 30000 segundos después de un tiempo de decaimiento de 15-20 días.

### 3. Resultados y Discusión

Los resultados están expresados en base seca. Las figuras 2, 3, 4, 5 y 10 muestran los resultados de 24 elementos, obtenidos en las muestras de líquen *Usnea sp.* Las figuras 6, 7, 8, 9 y 10 muestran los resultados de 23 elementos, obtenidos en las muestras de *Tillandsia capillaris*. La figura 11 muestra los resultados obtenidos en el material de referencia utilizado para asegurar la calidad de la información reportada.

El punto de muestreo 0 es punto de control y corresponde a las muestras que no han sido expuestas al ambiente y que han sido guardadas a temperatura y humedad controladas.

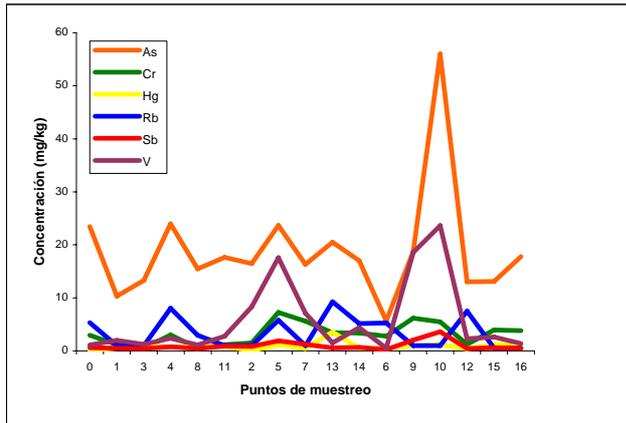
Los puntos de muestreo 1, 3, 4, 8 y 11 están ubicados en la Zona Centro de la ciudad de Lima. Los puntos 1, 3, 8 corresponden a una zona residencial y cercana al mar (distritos de Miraflores y San Isidro), siendo el punto 1 una avenida, con afluencia de tráfico vehicular y transporte público, así como los puntos 4 y 11 (Lince y La Victoria) donde existe denso tráfico vehicular, además de áreas comerciales y servicios múltiples, como estaciones de expendio de gasolina y talleres de mecánica.

Los puntos de muestreo 2, 5, 7, 13 y 14 están ubicados en la Zona Norte de la ciudad. Los puntos 2, 5, 7 y 14 (distritos de San Martín de Porres, Carabayllo y Rímac) están ubicados en avenidas donde existe tráfico vehicular, significativamente, el punto 5 (Av. Túpac Amaru). Los puntos de muestreo 6, 9 y 10 están ubicados en la Zona Este. El punto 6 corresponde a una zona residencial (distrito La Molina) y los otros dos puntos a una zona de actividad industrial y tráfico vehicular (distrito de Lurigancho). Los puntos de muestreo 12, 15 y 16 están ubicados en la Zona Sur (distritos de Villa María del Triunfo y Surco).

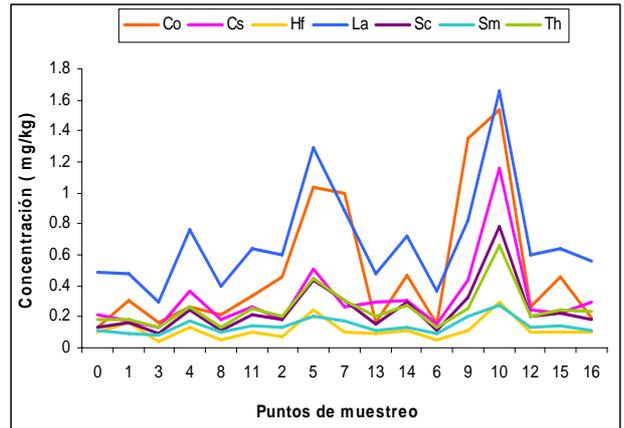
Se obtuvo un valor alto de As en la muestra blanco del líquen, lo que indicaría la presencia de una fuente importante de contaminación cerca al área de donde se transplantó dicho biomonitor. Sin embargo, nos permite comparar con otros puntos de muestreo como el punto 10, donde la concentración es significativamente mayor.

Las figuras 2 y 3 muestran que la mayor concentración de As y V están en el punto de muestreo 10. El As proviene de la actividad minera e industrial de la Zona y el V por la emisión de gases de combustión del petróleo usado en vehículos pesados.

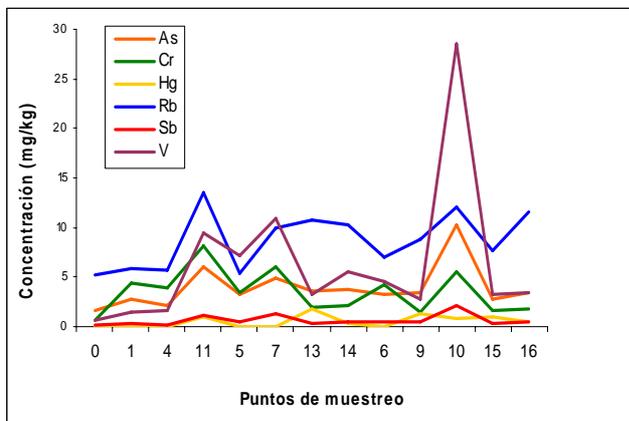
Se ha reportado[14] correlación significativa entre Pb y Br. La fig 10 muestra alta concentración de Br en los puntos de muestreo 1, 5, 14, 9 y 10 del biomonitor líquen y de tillandsia, lo que confirmaría la fuente de emisión en dichos puntos, por vehículos que utilizan Pb como combustible.



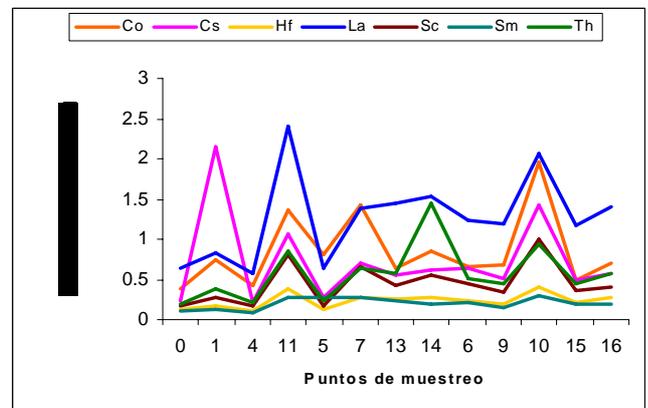
**Figura 2.** Resultados de As, Cr, Hg, Rb y Sb en líquen *Usnea sp*



**Figura 4.** Resultados de Co, Cs, Hf, La, Sc, Sm, Th y V en líquen *Usnea sp*



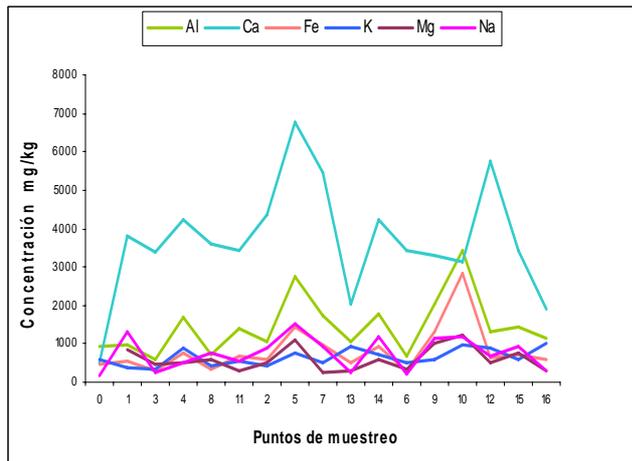
**Figura 3.** Resultados de As, Cr, Hg, Rb, y Sb en *Tillandsia capillaris*



**Figura 5.** Resultados de Co, Cs, Hf, La, Sc, Sm, Th y V en *Tillandsia capillaris*

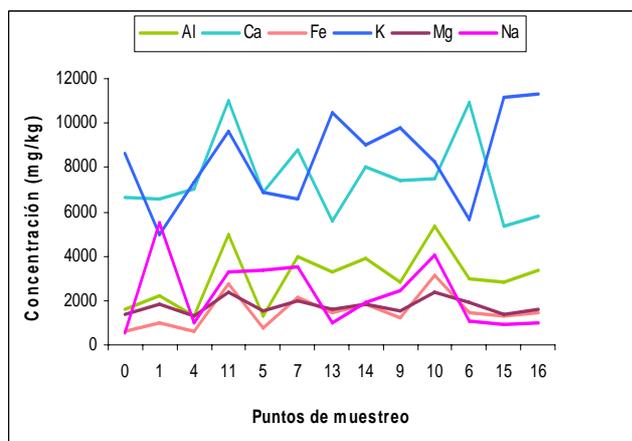
Las figuras 4 y 5 muestran concentraciones altas en las zona Este de la ciudad, significativamente el punto 10 con concentraciones altas de Co y La. Si comparamos con los resultados obtenidos en los biomonitores de control, observamos que la mayoría de elementos incrementan su concentración en casi todos los puntos de muestreo.

Las figuras 6 y 7 muestran otro grupo de elementos cuyas concentraciones son altas para elementos como el Ca, Na, K, Mg, elementos de origen natural. La concentración de Al es alta en el punto de muestro 10 de la Zona Este, el punto 5 de la Zona Norte y el punto 11 de la Zona Centro de la ciudad.



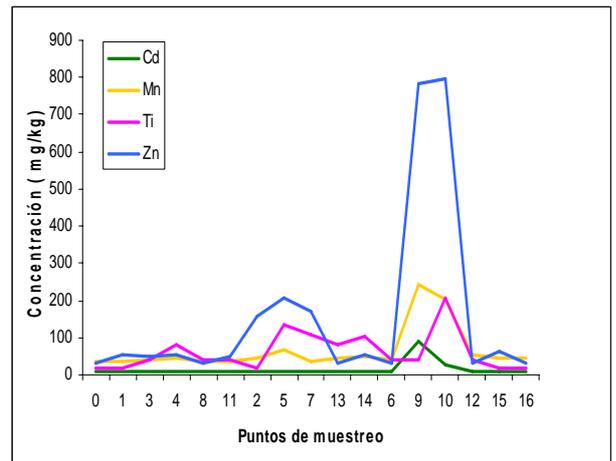
**Figura 6.** Resultados de Al, Ca, Fe, K, Mg y Na en líquen *Usnea sp*

Siendo el Al un metal, muy usado en utensilios, envases, materiales de construcción, pinturas etc, la actividad industrial en la zona Este y Norte y los pequeños talleres en el punto 11 (distrito La Victoria), serían las fuentes de emisión de este metal a la atmósfera.

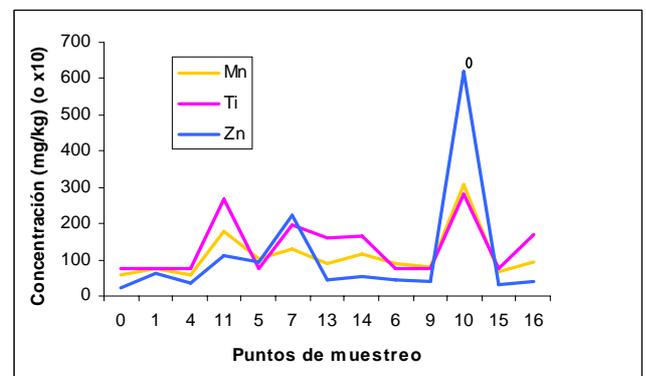


**Figura 7.** Resultados de Al, Ca, Fe, K, Mg, y Na en *Tillandsia capillaris*

Las figuras 8 y 9 muestran claramente la presencia significativa de Zn en el punto de muestreo 10, en la Zona Este, cuya fuente principal es la Refinería de Zn de Cajamarquilla. También se observa la presencia de Cd en el líquen en el mismo punto de muestreo.

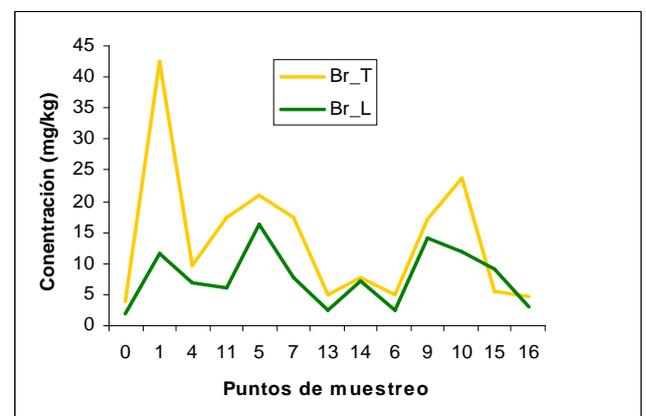


**Figura 8.** Resultados de Cd, Mn, Ti y Zn en líquen *Usnea sp*



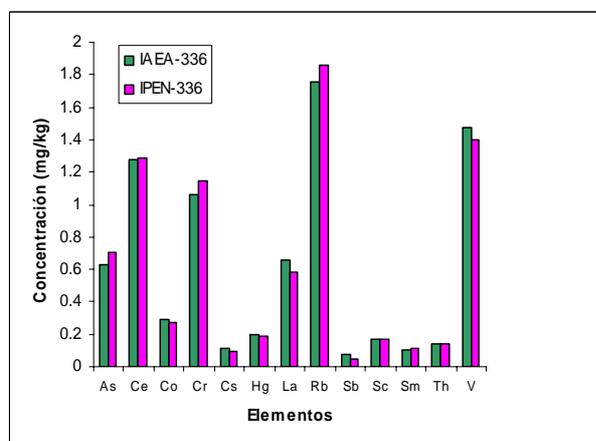
**Figura 9.** Resultados de Mn, Ti y Zn en *Tillandsia capillaris*

La Zona Sur evaluada, no ha mostrado presencia significativa de elementos contaminantes.



**Figura 10.** Resultados de Br en Líquen *Usnea sp.* y *Tillandsia capillaris*

La figura 11 muestra los resultados obtenidos por el laboratorio (IPEN-336) en el material de referencia y los reportados en el certificado (IAEA-336). Se observa una buena concordancia entre ambos resultados, lo que garantiza la veracidad de la información producida en el presente estudio.



**Figura 11.** Resultados en el material de referencia IAEA-LICHEN - 336.

#### 4. Conclusiones

Las altas concentraciones obtenidas en los elementos analizados indican que el grado de contaminación en algunos distritos de la ciudad de Lima es elevado siendo las fuentes principales la actividad industrial y las emisiones vehiculares.

El biomonitor liquen *Usnea sp.* posee mayor poder de absorción de elementos cuya fuente de emisión es de origen antropogénico.

#### 5. Bibliografía

[1] H.A. Carreras, M.L. Pignata. *Comparison among air pollutants, meteorological conditions and some chemical parameters in the transplanted lichen Usnea amblyoclada.* Environmental Pollution 111-1: 45-52, 2001

[2] M. Saiki, G-G. Chaparro, M.B.A. Vasconcellos. *Determination of trace elements in lichens by INAA.* JRANC. 217-1: 111-115, 1997.

[3] M. Freitas. M.A. Reis, L.C. Alves, H.Th. Wolterbeek. *Biomonitoring of trace elements air pollution in Portugal: Qualitative Survey.* JRANC 217-1. 21-30, 1997.

[4] M. Freitas. M.A. Reis, L.C. Alves, H.Th. Wolterbeek. *Distribution in Portugal of some pollutants in the lichen Parmelia sulcata.* Environmental Pollution 106-2: 229-235, 1999.

[5] S. Yenisoy Karakas, S.G. Tuncel. *Comparison of accumulation capacities of two lichen species analyzed by INAA.* JRANC. 259-1, 113-118, 2004.

[6] J. Sloof, B. Wolterbeek. *Interspecies comparison of lichens as biomonitors of trace element air pollution.* Environmental Monitoring and Assessment 35: 263-286, 1995.

[7] H, Th. Wolterbeek, P. Kuik and T.G. Verburg. *Moss interspecies comparison in trace element concentrations.* Environmental Monitoring and Assessment 35: 263-286, 1995.

[8] B. Market, U. Herpin, et. al. *A comparison of heavy metal deposition in selected Easter European countries using the moss monitoring method, with special emphasis on the Black Triangle.* Science of the Total Environment, 193-2: 85-100, 1996.

[9] P. Kuik, B. Wolterbeek. *Factor analysis of atmospheric trace element deposition data in the Netherlands obtained by moss monitoring.* Water, Air and Soil Pollution, 84: 323-346, 1995.

[10] M.L. Pignata, G.L. Gudiño, et. al. *Atmospheric quality and distribution of heavy metals in Argentina employing tillandsia capillaries as a biomonitor.* Environmental Pollution, 120-1: 59-68, 2002.

[11] M.T. Alonso, M.V. Wilkinson, et. al. *Utilización del género tillandsia como biomonitores de la contaminación atmosférica utilizando técnicas radioquímicas.* Report of Buenos Aires University, presented in NURT 2001.

[12] H. Th. Wolterbeek, J. Garty, M.A. Reis, M.C. Freitas. *Biomonitoring in use Bioindicators and Biomonitors.* Chapter 11", Elsevier Sciences Ltd, 2003, ISBN: 0-08-044177-7.

[13] Informe DIGESA-Ministerio de salud. *Calidad del aire para el área Metropolitana.* Lima-Callao. 1996-2000.

[14] E. Cortés. "Investigation of air pollution in Chile using biomonitors". *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* 262 (1) (2004) 269-276.