

EL USO DE *Usnea sp.* Y *Tillandsia capillaris*, COMO BIOMONITORES DE LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL EN LA CIUDAD DE LIMA, PERÚ

Patricia Bedregal^{a*}, Pablo Mendoza^a, Marco Ubillús^a, Blanca Torres^a
Jazmín Hurtado^b, Ily Maza^c, Rosa Espinoza^c

RESUMEN

Con la finalidad de evaluar la contaminación en la ciudad de Lima, Perú, se realizó un monitoreo ambiental utilizando los biomonitores: Liqueen *Usnea sp.* y *Tillandsia capillaris*. Éstos fueron recogidos de una zona no contaminada y expuestos por tres meses en diferentes puntos de muestreo de la ciudad, luego fueron colectados, preparados y analizados utilizando la técnica de análisis por activación neutrónica, basada en el método del *ksubcero*. Los resultados obtenidos mostraron contaminación significativa en algunas zonas de la ciudad, procedente de la actividad industrial y de las emisiones vehiculares.

Palabras clave: biomonitor, activación neutrónica, liquen, *Tillandsia capillaris*

THE USE OF *Usnea sp.* AND *Tillandsia capillaris* AS BIOMONITORS OF ENVIRONMENTAL POLLUTION IN LIMA CITY, PERU

ABSTRACT

In order to evaluate pollution in the city of Lima, Peru, an environmental monitoring was carried out using two species of biomonitor: *Liquen 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, based *k₀* method. Results showed important contamination in East and North sites of the city coming from industrial activities and automotive vehicles emissions.

Key words: biomonitoring, neutron activation analysis, lichen, *Tillandsia capillaris*

INTRODUCCIÓN

La contaminación del aire es uno de los principales riesgos ambientales para la salud estimándose que a nivel mundial es la causa de aproximadamente dos millones de muertes prematuras por año¹. Lima no es ajena a este problema, encontrándose en algunas zonas del centro de la ciudad un incremento de hasta tres veces los límites máximos recomendados por la Organización Mundial de la Salud. El parque automotor tiene un crecimiento anual del 11%² y, lamentablemente, no en calidad. El monitoreo ambiental juega un rol importante pues permite obtener información que será utilizada para asegurar el cumplimiento con las regulaciones ambientales, así como, para la toma de medidas correctivas.

^a Departamento de Química. Instituto Peruano de Energía Nuclear. Centro Nuclear RACSO. Av. San Juan de Dios s/n Carabayllo, Lima, Perú. pbedregal@ipen.gob.pe

^b Facultad de Biología. Universidad Peruana Cayetano Heredia.

^c Facultad de Ciencias. Universidad Nacional de Ingeniería.

El uso de biomonitores en estudios de contaminación ambiental tiene varias ventajas comparado 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 pesados³ y el uso de equipo más económico⁴.

Líquenes⁵⁻⁸, musgos⁹⁻¹¹ y *Tillandsias*^{12,13} se han aplicado satisfactoriamente como bioacumuladores de metales pesados. 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 soluble¹⁴. 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 trasplantadas de lugares no contaminados para obtener valores relativos de la deposición atmosférica.

En el presente estudio, se seleccionaron dos biomonitores: el líquen *Usnea sp.* y la *Tillandsia capillaris*, planta perteneciente a la familia de las *Bromeliaceae*. Ambas especies fueron recogidas de un lugar no contaminado y trasplantadas a la ciudad de Lima. Después de tres meses de exposición en 16 puntos de muestreo, éstas fueron recogidas y analizadas utilizando el análisis por activación neutrónica, basado en el método del *ksubcero*.

PARTE EXPERIMENTAL

Muestreo y preparación de la muestra

Debido a la ausencia de especies de biomonitores en la ciudad de Lima, éstas fueron trasplantadas de otros lugares. En el caso del líquen; de la sierra norte, situada a 400 km de Lima y a 3000 metros sobre el nivel del mar y en el caso de la *Tillandsia capillaris*, del sur de la ciudad. Las muestras fueron transportadas al laboratorio, protegidas en bolsas de polietileno y con el debido cuidado para evitar contaminación.

Cada muestra se colocó en pequeñas bolsas de tul de malla 12, las que se acondicionaron en un pequeño perchero para ser ubicadas en cada punto de muestreo a una distancia promedio de 1,65 m del suelo. En cada sitio de muestreo se expusieron dos muestras de cada especie, reservándose el mismo número de muestras sin exponer, para ser utilizadas como blancos.

Las muestras se distribuyeron en 16 puntos de muestreo, cubriendo las zonas norte, centro, sur y este de la ciudad, considerando el mapa ambiental, (figura 1), proporcionado por la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA)¹⁵.

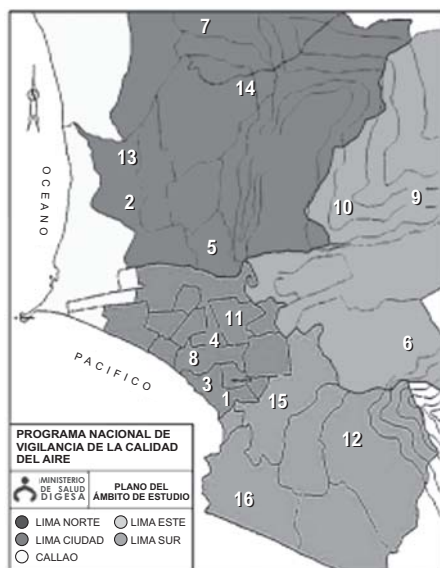


Figura 1. Puntos de muestreo en la ciudad de Lima

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 secaron a 50°C durante 24 horas. Se tamizaron, envasaron, homogenizaron por 6 horas y se irradiaron utilizando una fuente de ^{60}Co , para su preservación hasta el análisis.

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 *ksubcero*.

Se pesaron aproximadamente 300 mg de muestra, con la que se prepararon pastillas de 13 mm de diámetro, utilizando una prensa hidráulica. Las muestras se colocaron en pequeñas bolsitas de polietileno, previamente lavadas con solución de ácido nítrico al 10%. Éstas se envolvieron en papel aluminio y rotularon para su identificación.

El estándar de sodio utilizado como comparador, se preparó depositando, en pequeños discos de papel Whatman No. 42 de 70 mm de diámetro, una alícuota de solución estándar de sodio grado espectroscópico. Luego estos fueron secados bajo lámpara infrarroja y preparados en forma de pastillas.

Aproximadamente, 250 mg del material de referencia IAEA-LICHEN-336, se pesaron y prepararon de igual manera que las muestras.

Análisis por activación neutrónica

Para la determinación de Al, Ca, Cl, V, Mg, Mn, y Ti, muestras y estándares se irradiaron por 15 minutos a un flujo térmico de 10^{12} n-cm $^{-2}$.s $^{-1}$ en el reactor RP 10 utilizando el sistema neumático de transferencia de muestras. Después de 300 segundos de decaimiento, se midieron por 900 segundos.

El comparador de sodio se midió después de 3 días de decaimiento por 600 segundos.

Para la cuantificación de los elementos As, Br, Ce, Co, Cr, Cs, Fe, Hf, K, La, Na, Rb, Sb, Sc, Sm, Th, y Zn, las muestras y estándares se irradiaron por 6 horas a un flujo de $3 \times 10^{13} \text{ n-cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. Después de un tiempo de decaimiento de 5 a 7 días, se realizó una primera medición por 1500 segundos para cuantificar As, K, La, Na, Sb y Sm. Después de 15 a 20 días de decaimiento se realizó una segunda medición por 20 000 - 30 000 segundos y se cuantificaron los demás elementos.

Las mediciones de la actividad inducida se llevaron a cabo utilizando un detector de Ge de 15% de eficiencia, con una resolución de 1.9 keV para el pico de 1408 keV del ^{152}Eu . Las evaluaciones de los espectros obtenidos se realizaron utilizando el programa GENIE 2000 (v 2.1) de CANBERRA, el cual ubica la posición de los picos y calcula el área neta. Los cálculos de las concentraciones se ejecutaron mediante software desarrollado en el laboratorio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados están expresados en base seca y se presentan en forma gráfica. Las figuras 2, 4, 6, 8 y 10 muestran los resultados de concentración, de 24 elementos, obtenidos en las muestras de líquen *Usnea sp.* Las figuras 3, 5, 7, 9 y 10 muestran los resultados de 23 elementos, obtenidos en las muestras de *Tillandsia capillaris*. La figura 11 muestra los resultados del material de referencia utilizado como control de calidad del método aplicado.

El punto de muestreo cero (0), es el punto de control y corresponde a las muestras que no han sido expuestas al ambiente y se almacenaron 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 de servicios múltiples como estaciones 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 y 13 (distrito de San Martín de Porres), 5 (Rímac) y 7 y 14 (Carabayllo), están ubicados en avenidas donde existe denso tráfico vehicular, sobretodo, el punto 5 que corresponde a la 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 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).

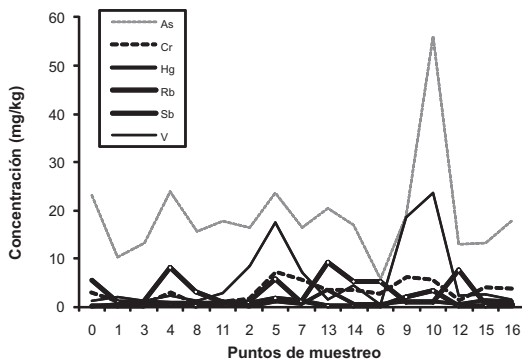


Figura 2. Resultados de As, Cr, Hg, Rb, Sb y V en líquen *Usnea sp.*

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 trasplantó dicho biomonitor. Sin embargo, nos permite comparar con otros puntos de muestreo como el punto 10, donde la concentración es significativamente mayor.

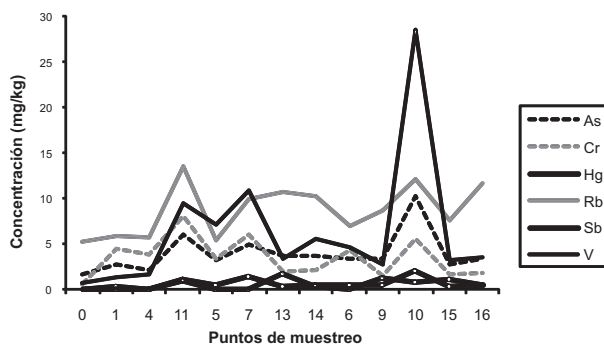


Figura 3. Resultados de As, Cr, Hg, Rb, Sb y V en *Tillandsia capillaris*

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.

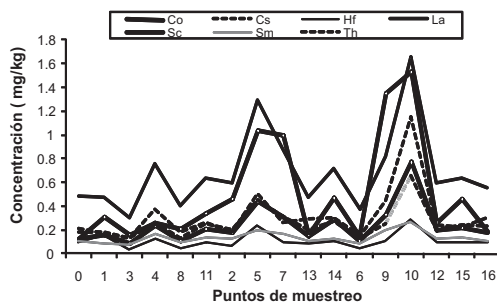


Figura 4. Resultados de Co, Cs, Hf, La, Sc, Sm y Th en líquen *Usnea sp.*

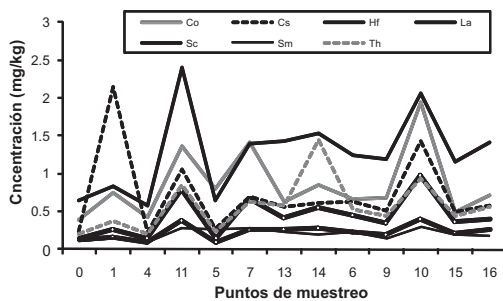


Figura 5. Resultados de Co, Cs, Hf, La, Sc, Sm y Th en *Tillandsia capillaris*.

Las figuras 4 y 5 muestran concentraciones altas de Co y La, en ambos biomonitores, en el punto 10 de la zona Este. Si comparamos con los resultados obtenidos en las muestras de control, observamos que la mayoría de elementos incrementan su concentración en casi todos los puntos de muestreo. Los elementos están en mayor concentración en el biomonitor *Tillandsia capillaris*.

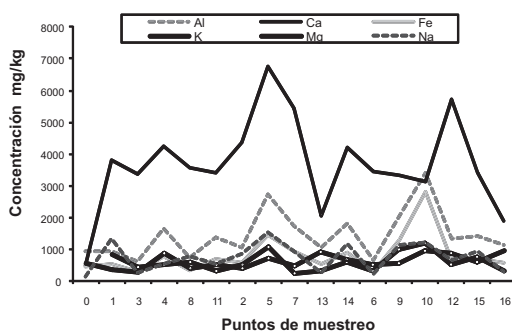


Figura 6. Resultados de Al, Ca, Fe, K, Mg y Na en líquen *Usnea sp.*

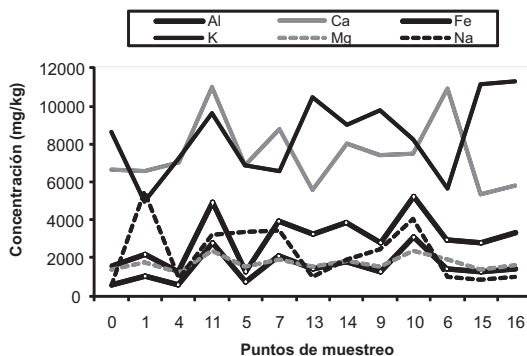


Figura 6. Resultados de Al, Ca, Fe, K, Mg y Na en líquen *Usnea sp.*

Las figuras 6 y 7 corresponden a un grupo de elementos cuyas concentraciones para Ca, Na, K y Mg son altas comparándolas con la muestra blanco de control. Son elementos de origen natural. Los puntos de muestreo 10 y 11, ubicados en la zona este, distrito de Lurigancho y zona centro en La Victoria, respectivamente, muestran concentración alta de Al, en ambos biomonitores. El Al es un metal muy usado en utensilios, envases, materiales de construcción, etc. La actividad industrial de la zona este (punto 10) y los talleres ubicados en el distrito de La Victoria (punto 11), podrían ser las fuentes de emisión de este metal a la atmósfera.

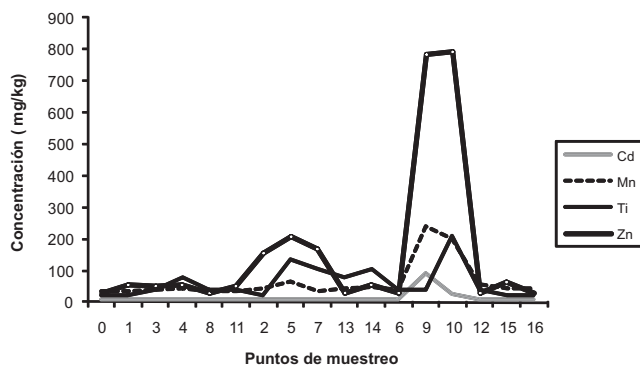


Figura 8. Resultados de Cd, Mn, Ti y Zn en líquen *Usnea sp.*

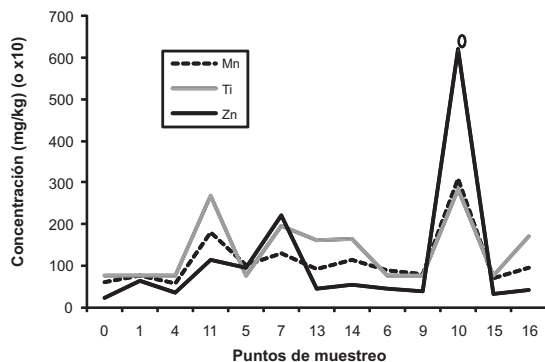


Figura 9. Resultados de Mn, Ti y Zn en *Tillandsia capillaris*.

Las figuras 8 y 9 muestran presencia significativa de Zn en el punto de muestreo 10 de la zona este y cuya fuente de contaminación, podría atribuirse a la refinería de Zn ubicada en dicha zona. Los otros elementos evaluados, Ti y Mn, de igual manera muestran alta concentración. Se ha reportado, correlación significativa entre Pb y Br^{16,17} debido al contenido de Br en el combustible para automóviles. La figura 10 muestra alta concentración de Br en los puntos de muestreo 1, 5, 14, 9 y 10 que corresponden a avenidas con tráfico vehicular. Ambos biomonitores muestran concentraciones altas en dichos puntos, lo que confirmaría el uso de gasolina con Pb, como combustible.

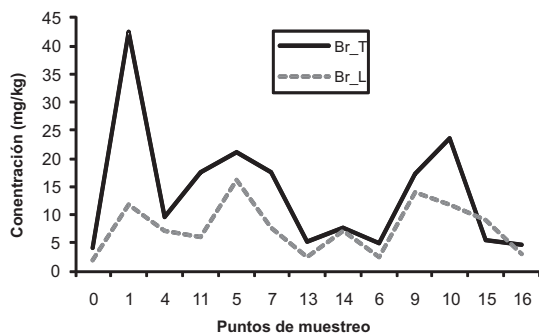


Figura 10. Resultados de Br en líquen *Usnea sp.* y *Tillandsia capillaris*.

La figura 11 muestra los resultados de un grupo de elementos, 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, garantizándose, así la veracidad de la información reportada.

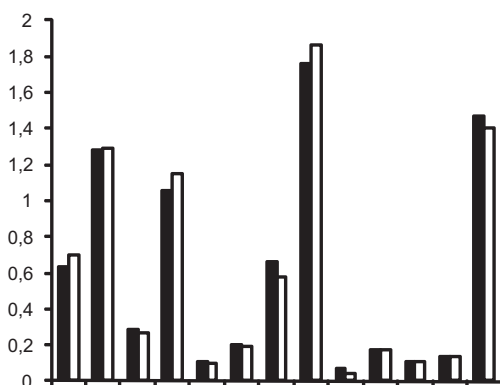


Figura 11. Resultados obtenidos en el material de referencia IAEA-LICHEN - 336.

CONCLUSIONES

Las altas concentraciones obtenidas en los elementos analizados indican elevado grado de contaminación en los puntos de muestreo 5 (Av. Túpac Amaru, Comas); punto 11 (Prolongación Cangallo en La Victoria); punto 1 (Malecón Armendáriz, Miraflores) y puntos 9 y 10 (distrito de Lurigancho), siendo las fuentes principales la actividad industrial y las emisiones vehiculares.

El biomonitor *Tillandsia capillaris* ha mostrado mayor grado de acumulación para la mayoría de elementos cuya fuente de emisión es de origen antropogénico

AGRADECIMIENTO

Los autores agradecen a la Agencia Internacional de Energía Atómica (IAEA) por el apoyo prestado para la realización del presente estudio.

BIBLIOGRAFÍA

1. World Health Organization (WHO) www.who.com (último acceso 05 octubre 2008), página actualizada al 2005.
2. Seminario OPS, “Metales pesados, Medio Ambiente y Salud”, Panorama general de la situación ambiental en el país, diagnóstico y proyecciones.
3. 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. M. Saiki, G-G.
4. Chaparro, M.B.A. Vasconcellos. “Determination of trace elements in lichens by INAA”. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. 217-1: 111-115, 1997.
5. M. Freitas. M.A. Reis, L.C. Alves, H.Th. Wolterbeek. “Biomonitoring of trace elements air pollution in Portugal: Qualitative Survey. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* 217-1. 21-30, 1997.
6. 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.
7. S. Yenisoy Karakas, S.G. Tuncel. Comparison of accumulation capacities of two lichen species analyzed by INAA”. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. 259-1, 113-118, 2004.
8. Joyce Sloof, Bert Wolterbeek. “Interspecies comparison of lichens as biomonitors of trace element air pollution”. *Environmental Monitoring and Assessment* 35: 263-286, 1995.
9. H, Th. Wolterbeek, P. Kuik and T.G. Verburg. “Moss interspecies comparison in trace element concentrations”. *Environmental Monitoring and Assessment* 35: 263-286, 1995.
10. 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 Triangule”. *Science of the total Environment*, 193-2: 85-100, 1996.
11. 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.
12. 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.
13. 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.
14. H. Th. Wolterbeek, J. Garty, M.A. Reis and M.C. Freitas. “Biomonitors in use (Bioindicators and Biomonitors, chapter 11)”, Elsevier Sciences Ltd, 2003, ISBN: 0-08-044177-7.
15. Informe DIGESA-Ministerio de salud. Calidad del aire para el Área Metropolitana. Lima, Callao. 1996.2000.
16. E. Cortés. “Investigation of air pollution in Chile using biomonitors”. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, Vol. 262, No. 1 (2004) 269-276.
17. Reporte Análisis retrospectivo de filtros de MP 10 en fracciones fina y gruesa para estaciones de la Red Macam II en el período 2003 – 2006. Universidad Santiago de Chile. Facultad de Ciencias, Departamento de Física.