

Determinación de radionucleidos presentes en el material particulado menor de 10 μm proveniente del aerosol atmosférico, municipio Plaza de la Revolución, La Habana, Cuba.

Michel Manduca Artiles^{a*}, Lázaro Lima Cazorla^a e Israel Saborit Sánchez^a

^a Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas (InSTEC). Carlos Tercero esquina Luaces, Quinta de los Molinos, Plaza de la Revolución, La Habana, Cuba.

*E-mail: manduca@instec.cu

Recibido 28 de mayo de 2014, Aceptado 6 de julio 2014

Resumen

En este trabajo se presenta un estudio de radionucleidos presentes en partículas menores de 10 μm en La Habana, Cuba. El muestreo se realizó utilizando un captador de aire de alto volumen con un flujo constante de 1.13 m^3/min y filtros de fibra de cuarzo de 20 x 25 cm. El muestreo comprendió los meses de octubre 2011 - enero 2012. Se recolectaron un total de 14 filtros en los cuales se determinaron valores de concentración radiactiva tales como (^{208}Tl ($1.3 \times 10^{-4} \text{ Bq}/\text{m}^3$), ^7Be ($1.0 \times 10^{-3} \text{ Bq}/\text{m}^3$), ^{214}Pb ($1.5 \times 10^{-4} \text{ Bq}/\text{m}^3$), ^{212}Pb ($3.5 \times 10^{-5} \text{ Bq}/\text{m}^3$), ^{137}Cs ($1.3 \times 10^{-5} \text{ Bq}/\text{m}^3$). Los radionucleidos fueron medidos en una cámara gamma de bajo fondo con detector de Germanio Hiperpuro (HPGe). El estudio de la roza de los vientos realizado, clasificó un total de 16 fuentes fijas ubicadas en la región del noreste y del este -noreste donde se registraron los mayores eventos de dirección de los vientos en el punto de muestreo. La corrida del modelo HYSPLIT corroboró la incidencia de la dirección predominante de los vientos influyentes en el sitio de muestreo. Las mayores concentraciones de radionucleidos se obtuvieron en los meses donde se registraron los menores eventos de lluvia.

Palabras claves: radionucleidos, modelo HYSPLIT, contaminantes, fuentes contaminantes

Abstract

This paper presents a study of radionuclides presents in particles less than 10 μm in Havana, Cuba. The sampling was performed using a sensor with high-volume air flow constant of 1.13 m^3/min and quartz fiber filters 20 x 25 cm. The sampling included the months of October 2011 - January 2012. Were collected a total of 14 filters and determined a radioactive concentration values of (^{208}Tl ($1.3 \times 10^{-4} \text{ Bq}/\text{m}^3$), ^7Be ($1.0 \times 10^{-3} \text{ Bq}/\text{m}^3$), ^{214}Pb ($1.5 \times 10^{-4} \text{ Bq}/\text{m}^3$), ^{212}Pb ($3.5 \times 10^{-5} \text{ Bq}/\text{m}^3$), ^{137}Cs ($1.3 \times 10^{-5} \text{ Bq}/\text{m}^3$). Radionuclides were measured in a low background gamma camera detector hyperpure Germanium (HPGe). The study of slashing winds made, classified a total of 16 point sources located in the region of the northeast and east-northeast of the biggest events where wind direction were recorded at the point of sampling. The run HYSPLIT model confirmed the incidence of the predominant direction of winds influential in the sampling site. Higher concentrations of radionuclides were obtained in the months where lower rainfall events were recorded.

Keywords: radionuclides, HYSPLIT model, contaminants, pollution sources

1. Introducción

El aire es un medio receptor de gran interés radiológico, ya que los radionucleidos presentes en él pueden ser transportados muy largas distancias y pueden depositarse finalmente sobre el suelo. Los radionucleidos presentes en la atmósfera tienen diversas procedencias: naturales, formados por la desintegración radiactiva de elementos presentes en los suelos, cosmogénicos y antropogénicos o artificiales, cuyas principales fuentes son, normalmente, las pruebas con armas nucleares (global), accidentes nucleares, liberación de centrales nucleares, etc. Así, el ^7Be es un radionucleido emisor gamma natural producido en la estratosfera y troposfera superior, por reacciones de espalación de rayos cósmicos con átomos de nitrógeno y oxígeno.

Debido a su origen cosmogénico, la actividad del ^7Be en el aire superficial muestra una gran dependencia del punto de muestreo (latitud y clima local), acompañado de ciclos estacionales. Otros radionucleidos naturales son productos de desintegración de las series del ^{238}U y ^{232}Th .^[1, 2]

El monitoreo del material particulado es de vital importancia debido a que en este se adhieren los principales contaminantes presentes en la atmósfera. Las fuentes que tributan a las concentraciones de material particulado en la atmósfera están enmarcadas en dos grandes grupos, las de origen natural, donde podemos citar las erupciones volcánicas, los incendios forestales, la erosión eólica de los suelos y en el caso de las fuentes de origen antropogénico dentro de las que más aportan particulado se encuentran la actividad



minera, la quema de combustible fósil y los incendios incontrolados de vertederos de residuos sólidos. [3]

En la zona objeto de estudios se han identificados fuentes fijas y móviles las cuales pudieran tener un marcado aporte al material particulado colectado en el período de muestreo. Dentro de las fuentes móviles más contaminantes es el tráfico vehicular, sobre todo en muestreos realizados en zonas urbanas y dentro de las fuentes fijas se encuentra la refinería de Talla Piedra, los grupos electrógenos situados en el puerto y los hospitales cercanos al punto de muestreo.

La presencia de contaminantes en el aire es una gran preocupación tanto para la comunidad científica como para la población en general. Están bien documentados los efectos perjudiciales que causa la contaminación atmosférica, de manera significativa en los seres vivos. En muchos casos se han encontrado relaciones directas entre la presencia de determinadas sustancias nocivas en el aire y algunos tipos de afectaciones específicas a la salud para determinados tamaños de partículas. [4,5] Los estudios de radionucleidos presentes en el material particulado menor de 10 μm (PM10), están relacionados con determinadas variables meteorológicas como son la dirección y velocidad del viento así como las precipitaciones. Estas variables meteorológicas tienen una marcada incidencia en el comportamiento del material particulado en la

atmósfera ya que pueden regular las velocidades de deposición tanto por vía húmeda como seca, así como, controlar las concentraciones de estos contaminantes presentes en la misma. [6]

Existe una marcada correlación positiva o negativa entre las precipitaciones y la dirección del viento con respecto a las concentraciones de estos contaminantes en la atmósfera. El signo de la significación de las precipitaciones con respecto a las concentraciones de contaminantes están relacionados con la frecuencia de los eventos de lluvias ocurridos en el período de muestreo y con respecto a la dirección predominante de los vientos, y en dependencia de la ubicación del sector industrializado de la zona con respecto al punto de colección de las muestras. [7]

2. Materiales y métodos

Con el objetivo de evaluar los valores de PM10 y los radionucleidos presentes en el mismo, se procedió a realizar el muestreo del material particulado en una zona urbana situada en el InSTEC, cito en Avenida Salvador Allende, Esq. Luaces, Quinta de los Molinos, municipio Plaza de la Revolución, La Habana, Cuba. El área de estudio con un radio de 5 Km, abarca a 4 municipios de La Habana, figura 1.



Figura 1. Sitio de muestreo. Quinta de los molinos.

El muestreador fue instalado en la azotea del edificio cadena del InSTEC, en la cual no existe ningún obstáculo que interfiera en las mediciones. El área de estudio donde se realizó el muestreo presenta avenidas importantes (Infanta, Salvador Allende, Boyeros, Los Presidentes), con alto tráfico vehicular y con la misma colindan dos municipios con un alto índice poblacional (Cerro y Centro Habana), en la zona están emplazadas diversas fuentes estacionarias como grupos electrógenos, hospitales, industrias, etc.

El período de muestreo se extendió de octubre del 2011 – enero 2012, colectándose un total de 14 muestras.

El material particulado menor de 10 μm fue colectado empleando un muestreador de alto volumen con un flujo constante de 1.13 m^3/min y filtros de fibra de cuarzo de 20 x 25 cm durante 24 h, figura 2. De igual forma la separación entre el muestreador de alto volumen y los objetos colindantes de altura similar o superior al mismo fueron de al menos 5 m.



Figura 2. Muestreador de alto volumen.

Culminado el proceso de muestreo durante 24 h, los filtros muestreados fueron retirados empleando una bandeja para hermetizarlos y así evitar la contaminación de la muestra muestras.

Para la determinación gravimétrica de los filtros se siguió el siguiente procedimiento: se llevaron los filtros muestreados a una desecadora con temperatura, presión y humedad controlada durante 24 h, seguidamente se realizó la pesada del filtro y se colocó nuevamente en la desecadora hasta alcanzar una masa constante. Posteriormente se restó el valor inicial de masa del filtro blanco con el valor de filtro muestreado siendo la diferencia la masa de PM10 colectado.

La determinación de la concentración de PM10 colectado en los filtros muestreados en el estudio se llevó a cabo mediante el empleo de la ecuación 1.

$$\text{Conc PM10} = \frac{\text{Masa de PM10 colectada}}{\text{Tiempo de muestreo} * \text{Flujo de aire}} \quad (1)$$

Las mediciones de los radionucleidos de interés ambiental (^7Be , ^{40}K , ^{212}Pb , ^{214}Pb , ^{137}Cs , ^{208}Tl), presentes en el material particulado colectado en los filtros se realizaron en una cama gamma de bajo fondo con detector de Germanio Hiperpuro (HPGe), con enfriamiento de nitrógeno líquido, Figura 3. Para el procesamiento de los datos se empleó el software DETEEF.4.2.



Figura 3. Espectrómetro Gamma.

En la Tabla 1, se muestran las energías y los tiempos de medición de los radionucleidos estudiados en este trabajo.

Tabla 1. Radionucleidos medidos con las energías y el tiempo de medición.

Radionucleidos	Energía	Tiempo de medición
^{40}K	1460.83	16 h
^{208}Tl	583.10	16 h
^7Be	477.61	16 h
^{214}Pb	351.93	16 h
^{212}Pb	238.60	16 h
^{137}Cs	661.66	64 h

3. Resultados y discusión

Las fuentes de contaminación más cercanas al InSTEC se muestran en la figura 4. En esta área se encuentran los municipios más densamente poblados de la provincia, Centro Habana (43858.2 hab/km²), Plaza de la Revolución (12,424.0 hab/km²), Cerro (12,596.8 hab/km²), Habana Vieja (20,6118 hab/km²)^[8], donde se localizan 54 fuentes fijas en conjunto al tráfico automotor, como una fuente móvil.

Los procesos productivos o auxiliares existentes en las fuentes contaminantes son: generación de energía y vapor, procesos industriales, productos minerales y otros.^[7]

Se realizó un estudio de la dirección de los vientos para evaluar las posibles fuentes contaminantes que pudieran tener una marcada influencia en la emisión de material particulado. Como se puede apreciar 16 fuentes se encuentran dentro del área sombreada de color azul, correspondiente a la dirección predominante de los vientos sobre el sitio de muestreo.

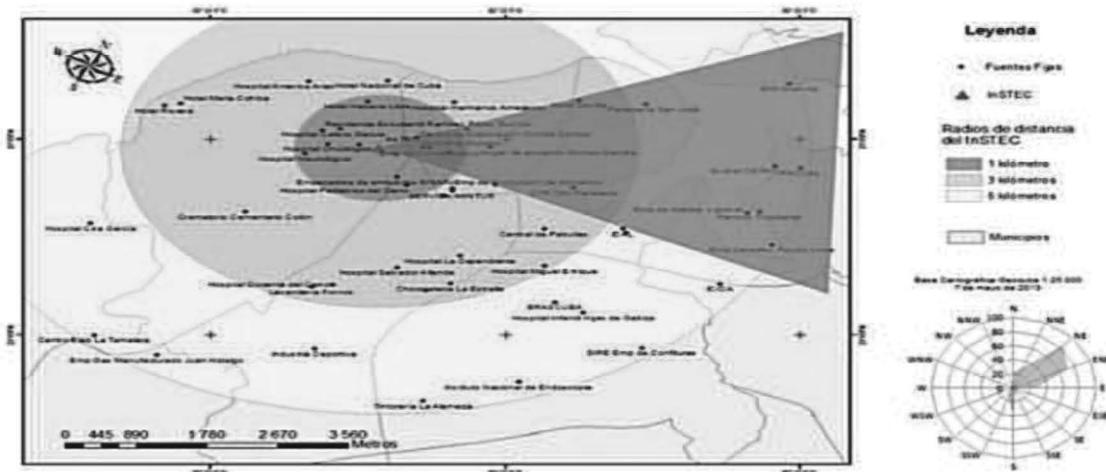


Figura 4. Principales fuentes contaminantes en el área de estudio y la dirección predominante de los vientos.

La figura 5, representa un espectro de los radionucleidos obtenidos en este trabajo procesado por el software DETEFF versión 4.2. Como se puede observar en la misma se representan los picos de cada uno.

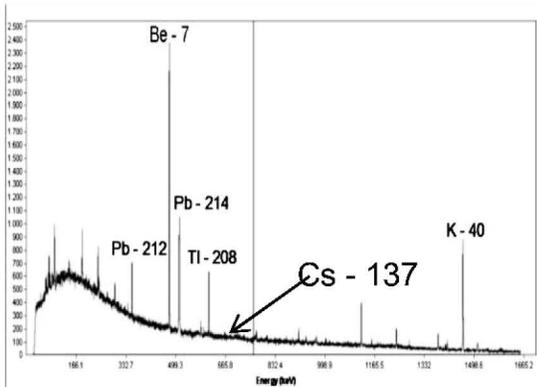


Figura 5. Espectro gamma procesado por el software DETEFF versión 4.2.

Se empleó el software de modelación de contaminantes HYSPLIT de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA) [9], por sus siglas en inglés, para evaluar las contribuciones transfronterizas de contaminantes influentes en el punto de muestreo. Como se puede observar en la figura 6, el aporte de contaminantes al punto de muestreo proviene de la zona noreste y del este –noreste corroborando la evaluación realizada mediante la roza de los vientos en el sitio de muestreo. El aporte de las masas de vientos transfronterizas provienen del Océano Atlántico Norte en las cuales se encuentran las contribuciones de la parte industrializada del norte de Estados Unidos.

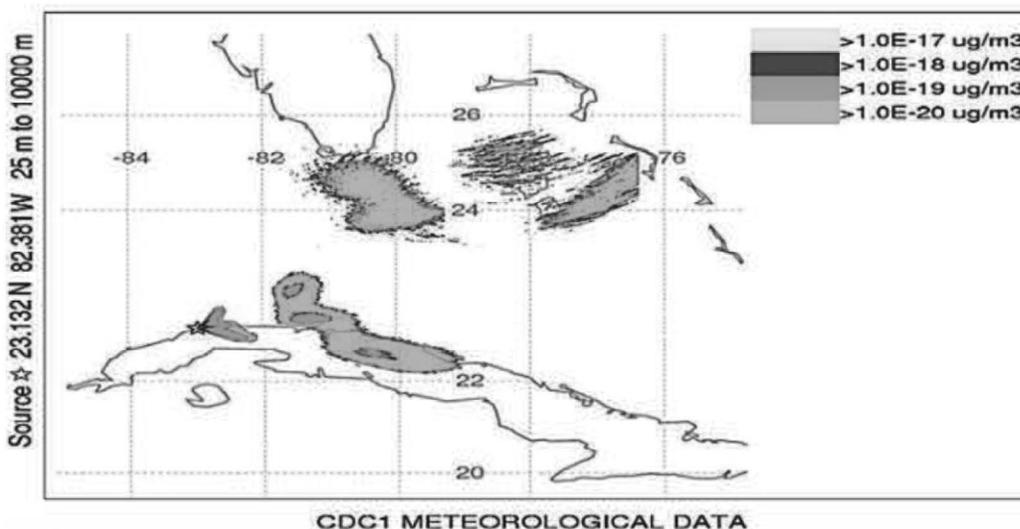


Figura 6. Corrida del modelo HYSPLYT.

Como se puede observar en la figura 4, los valores de concentración arrojados por el programa HYSPLIT dan una idea del valor de concentración de los radionucleidos oscilando entre $(1 \times 10^{-17} - 1 \times 10^{-20} \mu\text{g}/\text{m}^3)$, en un rango de altura de (25 – 1000 m). Las concentraciones radioactivas encontradas como promedio en los 14 filtros muestreados oscilan entre $(6.1 \times 10^{-6} - 3.6 \times 10^{-3} \mu\text{g}/\text{m}^3)$, Tabla 2. Los valores que predice el modelo son inferiores a los obtenidos en el trabajo debido a que las muestras fueron colectadas

a una altura del suelo de 12 m y el modelo trabaja en una región de 25 – 1000 m donde los regímenes de vientos son elevados y existe una mayor dispersión de los contaminantes, además los radionucleidos medidos son colectados en un filtro durante 24 h de muestreo por lo que las concentraciones en las que se encuentran los mismos en el ambiente deberán de ser superiores a las obtenidas en el estudio.

Tabla 2. Concentraciones radioactivas Bq/m³ de los radionucleidos medidos en el estudio

Filtro muestreado	⁷ Be Concentración radiactiva ± Inc. (Bq/m ³)	⁴⁰ K Concentración radiactiva ± Inc. (Bq/ m3)	²¹² Pb Concentración radiactiva ± Inc.	²¹⁴ Pb Concentración radiactiva ± Inc.	²⁰⁸ Tl Concentración radiactiva ± Inc.
1	$(1.4 \pm 0.6) \times 10^{-3}$	$< 3.6 \times 10^{-3}$	$(3.7 \pm 1.2) \times 10^{-5}$	$(2.4 \pm 0.1) \times 10^{-4}$	$< 1.2 \times 10^{-5}$
2	$(7.4 \pm 0.6) \times 10^{-4}$	$< 3.6 \times 10^{-3}$	$(2.4 \pm 1.2) \times 10^{-5}$	$(8.6 \pm 0.1) \times 10^{-5}$	$< 1.2 \times 10^{-5}$
3	$(8.6 \pm 0.6) \times 10^{-4}$	$< 3.6 \times 10^{-3}$	$(3.7 \pm 1.2) \times 10^{-5}$	$(8.6 \pm 0.1) \times 10^{-5}$	$(3.7 \pm 0.1) \times 10^{-4}$
4	$(4.9 \pm 0.6) \times 10^{-4}$	$< 3.6 \times 10^{-3}$	$< 6.1 \times 10^{-6}$	$(3.7 \pm 0.1) \times 10^{-4}$	$(1.2 \pm 0.6) \times 10^{-4}$
5	$(3.0 \pm 0.6) \times 10^{-4}$	$(3.6 \pm 0.2) \times 10^{-3}$	$(2.4 \pm 1.2) \times 10^{-5}$	$(3.7 \pm 0.1) \times 10^{-4}$	$< 1.2 \times 10^{-5}$
6	$(1.2 \pm 0.6) \times 10^{-4}$	$< 3.6 \times 10^{-3}$	$(1.2 \pm 1.2) \times 10^{-5}$	$< 1.5 \times 10^{-5}$	$< 1.2 \times 10^{-5}$
7	$(1.2 \pm 0.6) \times 10^{-3}$	$< 3.6 \times 10^{-3}$	$< 6.1 \times 10^{-6}$	$< 1.5 \times 10^{-5}$	$< 1.2 \times 10^{-5}$
8	$< 1.2 \times 10^{-4}$	$< 3.6 \times 10^{-3}$	$< 6.1 \times 10^{-6}$	$< 1.5 \times 10^{-5}$	$< 1.2 \times 10^{-5}$
9	$< 1.2 \times 10^{-4}$	$< 3.6 \times 10^{-3}$	$< 6.1 \times 10^{-6}$	$< 1.5 \times 10^{-5}$	$< 1.2 \times 10^{-5}$
10	$(2.2 \pm 0.1) \times 10^{-3}$	$< 3.6 \times 10^{-3}$	$< 6.1 \times 10^{-6}$	$< 1.5 \times 10^{-5}$	$< 1.2 \times 10^{-5}$
11	$(3.3 \pm 0.1) \times 10^{-3}$	$< 3.6 \times 10^{-3}$	$(4.3 \pm 0.1) \times 10^{-5}$	$(3.1 \pm 0.1) \times 10^{-5}$	$< 1.2 \times 10^{-5}$
12	$(1.9 \pm 0.1) \times 10^{-3}$	$< 3.6 \times 10^{-3}$	$(6.1 \pm 1.2) \times 10^{-6}$	$(1.5 \pm 0.1) \times 10^{-5}$	$(3.1 \pm 0.6) \times 10^{-5}$
13	$(1.5 \pm 0.1) \times 10^{-3}$	$< 3.6 \times 10^{-3}$	$(2.5 \pm 0.1) \times 10^{-5}$	$(3.1 \pm 0.1) \times 10^{-5}$	$(3.1 \pm 0.6) \times 10^{-5}$
14	$(1.3 \pm 0.1) \times 10^{-3}$	$< 3.6 \times 10^{-3}$	$(1.5 \pm 0.1) \times 10^{-5}$	$(3.1 \pm 0.1) \times 10^{-5}$	$(1.2 \pm 0.6) \times 10^{-5}$

Los niveles de concentración radiactividad medidos en los filtros para el caso de ^{40}K y ^{137}Cs , están por encima de los valores reportados y fuera del rango propuesto por “Baeza, 2006”^[10]. En el caso del ^7Be los valores obtenidos en los filtros están por debajo de lo reportado y dentro del rango propuesto por dicha autora, Tabla 3.

Tabla 3. Valores de concentración radioactiva obtenidos en este estudio y los reportado por “Baeza, 2006”.

Valores determinados			Valores reportados según (Baeza 2006)			
Isótopo	Concentración radiactiva (Bq/m ³)	Incert. %	Isótopo	Concentración radiactiva (Bq/m ³)	Incert. %	Rango (Bq/m ³)
^7Be	1.0×10^{-3}	0.1×10^{-3}	^7Be	5.1×10^{-3}	1.8×10^{-3}	$(0.95-9.22) \times 10^{-3}$
^{40}K	$< 3.6 \times 10^{-3}$	0.2×10^{-3}	^{40}K	2.3×10^{-5}	1.7×10^{-5}	$(0.37-6.27) \times 10^{-5}$
^{137}Cs	$< 1.3 \times 10^{-5}$	0.1×10^{-5}	^{137}Cs	2.8×10^{-7}	2.4×10^{-7}	$(0.81-11.2) \times 10^{-7}$

La concentración radiactiva promedio de ^7Be encontrada en la fracción PM10 colectada en los filtros muestreados en este trabajo se encuentra por debajo de lo reportado en diversas ciudades del mundo, figura 7.

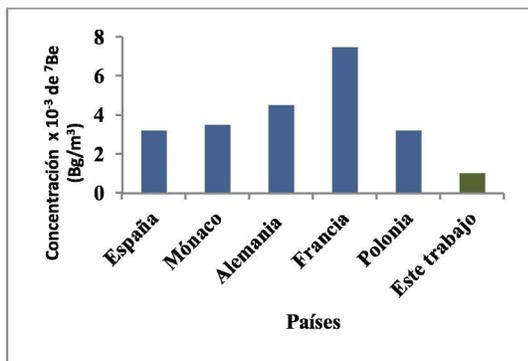


Figura 7. Comparación del promedio de la concentración de ^7Be obtenida en el estudio y lo reportado en diversas ciudades del mundo.

Esta diferencia marcada en las concentraciones de ^7Be de este trabajo con respecto a los países en comparación era de esperar debido a que la formación de este radionucleido es de origen cosmogénico formado en las altas capas de la atmósfera a través de reacciones de espalación por lo que a menores latitudes las concentraciones de dicho elemento son mayores por la lejanía que presenta la formación del ^7Be con respecto a la superficie terrestre.^[2]

Las mayores concentraciones de ^7Be obtenidas en la fracción PM10 colectada en los filtros se corresponden con los menores registros de precipitaciones de lluvias alcanzados en el período en el cual se realizó el muestreo, figura 8. Esto está en correspondencia con lo descrito por “Pandis, 1995”^[2], el cual plantea que el mayor arrastre de partículas en la atmósfera están asociados a las deposiciones por vía húmeda.

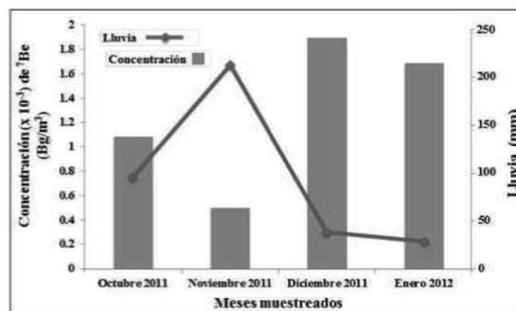


Figura 8. Relación de los valores de concentración de ^7Be encontrados en este estudio y los registros de precipitaciones reportados en los meses muestreados.

4. Conclusiones

Fue exitosa la aplicación de la determinación en partículas menores de 10 µm procedentes del aerosol atmosférico de los radionucleidos de interés ambiental (^{40}K , ^7Be , ^{214}Pb , ^{212}Pb , ^{208}Tl). Los niveles de actividad obtenidos de estos radionucleidos pueden considerarse como niveles ambientales normales al ser comparables en magnitud a los presentes en otras zonas no contaminadas del mundo.

Los mayores valores de las concentraciones radioactivas medidas en los filtros se corresponden con los menores registros de eventos de lluvias en los meses muestreados.

5. Bibliografía

- Vallés, I., Camacho, A., Ortega, X., Serrano, I., Blázquez, S., Pérez, S. Natural and anthropogenic radionuclides in airborne particulate samples collected in Barcelona (Spain). *Journal of Environmental Radiativity* **2009**; 100: 102-107.
- Baeza A, A. Rodríguez, F.J: Guillén. Radionucleidos presentes en los aerosoles de una localidad exenta de nuevos aportes artificiales.

- Laboratorio de Radioactividad Ambiental (LARUEX). Departamento de Física Aplicada .Av. de la Universidad, 2009; s/n.10071-Cáceres (Spain).
- 3- Pindado O. Caracterización de la fracción orgánica del aerosol atmosférico en una zona rural de Madrid mediante el empleo de técnicas cromatograficas. Tesis, Madrid, **2009**.
 - 4- Huy N. Q., T.V. Luyen. A method to determine U-238 activity in environmental soil samples by using 63.3keV Photo peak Gamma HPGe Spectrometer, **2004**. Applied Radiation and Isotopes 61, 1419-1424.
 - 5- Heusse G. Studies of γ -ray background with a low level germanium spectrometer, **1991**. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B58. 79-84. North Holland.
 - 6- S.N. Pandis, A.S. Wexler, J.H. Seinfeld. J Phys Chem 99 (**1995**) 9646-9659.
 - 7- Cuesta O. et al., **2012**: Proyecto 30205 Diagnostico del medio ambiente atmosferico producto de las principales Fuentes fijas de la Ciudad de La Habana. Resultado 01 Inventario de emisiones de las principales fuentes fijas industriales de La Habana.
 - 8- Oficina Nacional de Estadística E Información ONEI. **2012**. <http://www.onei.cu>.
 - 9- Modelo HYSPLIT de Trayectorias de Masas de Aire de la NOAA. <http://ready.arl.noaa.gov/hysplit-bin/trajtype.pl>
 - 10- Baeza, A., Del Río, L.M., Jiménez, A., Miró, C., Paniagua, J.M., Rufo, M. Analysis of the temporal evolution of atmospheric ^7Be as a vector of the behaviour of other radionuclides in the atmosphere. Journal Radioanalytical and Nuclear Chemistry **2006**; 207(2): 331-344.