

Estudio radiométrico y de niveles de metales pesados en sedimentos de zonas de interés pesquero, terapéutico y ambiental y en suelos urbanos de diferentes ciudades de Cuba

Autoría principal

Oscar Díaz Rizo¹, Susana Olivares Rieumont¹.

Otros autores

Katia D'Alessandro Rodríguez¹, Neivy López Pino¹, Juana Orquídea Arado López¹, Alina Gelen Rudnikas¹, Oscar Díaz Arado², Lázaro Lima Cazorla¹, Damaris García Céspedes¹, Patricia González Hernández³, Gustavo Arencibia Carballo⁴.

Colaboradores

F. Padilla Cabal¹, F. Echevarría Castillo¹, M. Hernández Merlo¹, A. Casanova Díaz¹, Y. Corrales Martínez¹, H. Reyes¹, J.L. Santana¹, J.L. Bernal¹, C.M. Melián Rodríguez¹, M. Suárez Muñoz¹, I. Saborit Sánchez¹, V.M. Castellanos Fernández¹, L. Ruiz Gutiérrez. G. Ruiz Boicet¹, Y. Martínez¹, J. Aguilar¹, Y. Arbelo¹, J.L. Borrell¹, E. Quintana Miranda¹, O. Torres Leyva¹, M. Manduca Artiles¹, Y. Blanco López¹, R. Herrera¹, A. Llizo¹, P. Pérez y R.D. Lavin Pérez¹, J. Viguri⁵, C. Ródenas⁵, J. Gómez⁵, O. Denis Alpízar⁶, A.M. Figueredo⁷, N.L. Maidana⁸, D.W. Graham⁹, J.R. Fagundo Castillo¹⁰, J. Beltrán¹¹, C. Alonso², H. Cartas², Y. Bolaños², S. Rivero¹², D. Blanco¹³, I. Coto Hernández², D. Fonticiella Morell¹⁴, P.A. Calderón Peñalver¹⁵, I. Ávila Roque¹⁶.

Entidad ejecutora principal

¹Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas (InSTEC). Ave. Salvador Allende y Luaces, Quinta de los Molinos, La Habana.

Entidades participantes

²Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos (CEAC).

³Facultad de Química, Universidad de la Habana.

⁴Centro de Investigaciones Pesqueras (CIP).

⁵Universidad de Cantabria, España.

⁶Universidad de Matanzas.

⁷IPEN (Brasil).

⁸Universidad de Sao Paulo (Brasil).

⁹Universidad de Newcastle, Gran Bretaña.

¹⁰Universidad de La Habana.

¹¹Centro de Investigaciones en Manejo Integral de Bahías y Costas.

¹²Grupo Empresarial de la Pesca.

¹³Balneario San Diego de los Baños.

¹⁴CITMA Las Tunas.

¹⁵HCQ Salvador Allende.

¹⁶Instituto Nacional de Salud de los Trabajadores.

Autor para correspondencia

Dr. Oscar Díaz Rizo.

Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas (InSTEC).

Ave. Salvador Allende y Luaces, Quinta de los Molinos, Plaza de la Revolución, La Habana.

Tel: 878-9831

E-mail: odrizo@instec.cu

Aporte científico de cada autor al resultado

- ✓ Dr. **Oscar Díaz Rizo** (18%): Diseño experimental de los estudios realizados. Caracterización de los sistemas espectrométricos de FRX y EGBF. Estudio de los sedimentos y suelos por FRX y RAN-. Determinación de Tierras Raras por AAN. Datación por 210Pb. Estudios de bioacumulación de metales pesados. Evaluación estadística. Análisis de los resultados experimentales. Confección de artículos y ponencias científicas. Estrategia de introducción de los resultados. Dirección de Tesis.
- ✓ Dra. **Susana Olivares Rieumont** (16%): Diseño experimental de los estudios realizados. Estudios por ICP y Absorción atómica de sedimentos y suelos. Estudios de bioacumulación de metales pesados. Análisis de los resultados experimentales. Confección de artículos y ponencias científicas. Dirección de Tesis.
- ✓ Lic. **Katia D'Alessandro Rodríguez** (8%): Caracterización del EGBF. Estudio por EGBF de los sedimentos marinos. Análisis de los resultados experimentales. Confección de artículos y ponencias científicas. Codirección de Tesis.
- ✓ Dr. **Neivy López Pino** (8%): Caracterización del espectrómetro de FRX, Desarrollo de los experimentos. Evaluación estadística. Análisis de los resultados experimentales. Cálculo de Eficiencia por Monte Carlo. Confección de artículos y ponencias científicas. Codirección de Tesis.
- ✓ MC **Orquídea Arado López** (8%): Caracterización del EGBF. Estudio por EGBF de los sedimentos marinos. Estudio radiológico de todas las muestras de interés. Confección de artículos.
- ✓ Dra. **Alina Gelen Rudnikas** (8%): Estudio por EGBF de los sedimentos marinos. Datación por 210Pb. Análisis de los resultados experimentales. Confección de artículos y ponencias científicas. Codirección de Tesis.
- ✓ MC **Oscar Díaz Arado** (8%): Caracterización del espectrómetro de FRX y su aplicación en los sedimentos. Preparación de muestras y estándares. Medición y procesamiento de datos. Confección de artículos y ponencias científicas. Presentación de ponencias en eventos.
- ✓ Dr. **Lázaro Lima Cazorla** (8%): Estudios por ICP y Absorción atómica de suelos y sedimentos. Análisis de los resultados experimentales. Confección de artículos y ponencias científicas. Introducción de resultados.
- ✓ Dra. **Damaris García Céspedes** (6%): Estudio de los suelos urbanos y alimentos por Absorción Atómica Evaluación de riesgo por ingesta de metales pesados. Confección de artículos. Introducción de resultados.
- ✓ Dra. **Patricia González Hernández** (6%): Diseño experimental del estudio de sedimentos de uso teraúutico. Medición de los parámetros físico-químicos de las muestras de interés. Evaluación estadística. Análisis de los resultados experimentales. Confección de artículos y ponencias científicas. Introducción de resultados.
- ✓ Dr. **Gustavo Arencibia Carballo** (6%): Diseño experimental de los estudios realizados en sedimentos de interés pesquero. Selección y toma de las muestras de sedimentos. Análisis de los resultados. Introducción de Resultados.

Resumen

Se presentan los resultados de la aplicación de las técnicas de Fluorescencia de Rayos X (FRX) y Espectrometría Gamma de Bajo Fondo (EGBF), en combinación con otras técnicas analíticas, en estudios del contenido de metales pesados y de concentraciones de elementos radioactivos en sedimentos marinos y fluviales de interés pesquero, terapéutico y ambiental, así como en suelos urbanos de diferente uso. La aplicación de ambas técnicas, así como su combinación con las técnicas de ICP y Absorción Atómica permitió determinar el estado de la contaminación por metales

pesados en los sedimentos costeros del Golfo de Guacanayabo (Granma), estudiar la bioacumulación de varios de ellos en ostiones (*Crassostrea rhizophorae*) y cobos (*Strombus gigas*) y comprobar que el Golfo de Guacanayabo es el entorno marino de menor contaminación radioactiva de los estudiados en el país. Se presentan, además, los resultados de la bioacumulación de mercurio en ostiones procedentes del estuario del río Sagua (Villa Clara) y de los niveles de arsénico, mercurio y selenio en tejido de pez gato (*Clarias gariepinus*), comprobándose una posible contaminación por Se en ese estuario, el estudio radiológico y de contaminación por metales pesados de los sedimentos de uso terapéutico en los balnearios de San Diego (Pinar del Río), Elguea (Villa Clara), Santa Lucía (Camaguey) y Cajío (Mayabeque), la evaluación del contenido de metales pesados en los sedimentos de la bahía de Nuevitas (Camaguey) para su empleo como zona de cría de ostiones, así como el nivel de enriquecimiento de Elementos Tierras Raras presentes en sedimentos de la bahía de La Habana. Por otra parte, se reportan, por primera vez, las concentraciones de metales pesados en suelos urbanos de las ciudades de La Habana, Moa, Las Tunas y Cienfuegos y se estudia su comportamiento en suelos de diferente tipo de uso (industriales, parques, escuelas, áreas no urbanizadas, huertas populares, etc.). Se presentan, además, los niveles de contaminación por metales pesados en suelos de diferentes locaciones específicas (vertederos, industrias y granjas agrícolas urbanas) evaluando la calidad de los mismos para su empleo en la agricultura urbana y su posible impacto en la salud de la población. Se reportan los contenidos de zinc y su bioacumulación en 19 cultivos procedentes de 18 áreas de agricultura urbana y suburbana de las provincias de La Habana, Matanzas y Cienfuegos, determinándose que el arroz es la principal fuente de este esencial elemento en la dieta de nuestra población. Los resultados han sido publicados en 30 artículos científicos (14 en revistas indexadas en el SCI y SCOPUS, 9 en revistas nacionales indexadas en SCIELO, 5 en memorias de eventos y 2 enviados a publicar), presentados en 9 eventos nacionales e internacionales e introducidos por la Delegación del MINAG de La Habana (2011), Balneario de San Diego de los Baños (2012), Centro de Investigaciones Pesqueras (2013), Delegación del CITMA en Cienfuegos (2013) y por el Consejo de Administración Municipal del Cotorro (2013). Como resultado del trabajo se defendieron exitosamente una Tesis Doctoral, nueve Tesis de Licenciatura en Física Nuclear, una en Radioquímica y una de Maestría en Física Nuclear.

Comunicación Corta

Introducción

El análisis multielemental de muestras medioambientales es un gran reto para el análisis químico. Las técnicas analíticas que se emplean con mayor frecuencia son la Espectroscopía de Absorción Atómica (EAA) y la Espectrometría de Masas inducida por Plasma (ICP-MS)¹⁻², ambas de gran precisión y reproducibilidad, pero con el gran inconveniente de ser técnicas destructivas. Un método analítico que ha demostrado gran eficacia en el estudio de muestras ambientales y que tiene bajos límites de detección, es el Análisis por Activación Neutrónica (AAN)³⁻⁴, técnica nuclear no destructiva que permite el estudio multielemental de grandes volúmenes de muestras, pero que requiere de costosas instalaciones. En tal sentido, las características principales de la Fluorescencia de Rayos X Dispersiva en Energía (FRX-DE) – método

instrumental y multielemental de infraestructura relativamente menos costosa – ha elevado considerablemente el interés de su empleo en el estudio de muestras ambientales⁵⁻⁷. Por otra parte, la mayoría de los usuarios de la espectrometría gamma se dedican a la medición de los bajos niveles de actividad presentes en muestras medioambientales (suelos, sedimentos, aguas, alimentos, etc.). Todos sienten la presión existente por poder determinar los menores niveles de actividad posibles. Por esta razón, la instalación de un Espectrómetro Gamma de Bajo Fondo (EGBF) requiere de la menor Actividad Mínima Detectable (AMD) posible. Esta magnitud depende de muchos factores: fondo radioactivo de la instalación, tipo, cantidad y geometría de la muestra, tipo de detector, dimensiones de su cristal, resolución energética y eficiencia del mismo, etc. Todas estas características deben ser determinadas⁸ en aras de poder obtener resultados radiométricos fiables en estudios medioambientales.

Como resultado del proyecto OIEA CUB/08-010, el Laboratorio de Análisis Nuclear del InSTEC fue dotado con un detector de Si(Li) de ventana para Fluorescencia de Rayos X (FRX) y dos detectores de Germanio Hiperpuro (uno vertical y otro horizontal), todos con sus correspondientes cadenas espectrométricas de medición. Atendiendo al hecho de que el estudio de ecosistemas mediante la aplicaciones de técnicas nucleares analíticas es una de las líneas de investigación fundamentales de nuestro centro, se hace imprescindible la caracterización y validación de estos espectrómetros de FRX y EGBF con estos fines, en aras de evaluar la factibilidad y calidad de su utilización, en comparación con otros medios existentes en el país.

El Golfo de Guacanayabo es una zona de nuestra plataforma con una temperatura media de unos 25°C y una concentración de oxígeno disuelto promedio anual superior a 5, que la ha hecho hábitat histórico de especies de gran interés para la Industria Pesquera, fundamentalmente de mariscos. Es por ello que en sus riberas se han desarrollado las más importantes zonas de crías de camarones del país y se estudia el establecimiento de centros de reproducción de langostas. Atendiendo a que el rendimiento pesquero ha disminuido sensiblemente en los últimos años y que el último estudio ambiental de la zona databa de 1988⁹, surge el interés de evaluar el estado ambiental actual de ese ecosistema. Algo similar viene ocurriendo en el estuario del Río Sagua, al norte de Villa Clara, y los centros de cría artificial de ostiones, cuando se conoce que durante largos años, la planta de clorososa (fuente reconocida de contaminación por mercurio) instalada en la ribera del río Sagua, vertió sus desechos al mismo. Por otra parte, en los últimos años se ha incrementado también el interés de establecer centros de cría de ostiones en la bahía de Nuevitas, lo que motivó el interés de la caracterización del contenido de metales pesados en sus sedimentos, atendiendo a la existencia, en sus inmediaciones, de industrias consideradas fuertemente contaminantes, como por ejemplo, cemento y fertilizantes.

Por otra parte, el empleo de la peloidterapia en Cuba se remonta a más de 100 años. Existen Balnearios con gran tradición en el empleo de aguas medicinales y sedimentos medicinales madurados con aguas termoradónicas, como los existentes en San Diego de los Baños (Pinar del Río) y Elguea (Villa Clara). En la actualidad, además de en estos balnearios tradicionales, el empleo de peloides se utiliza, tanto con fines

terapéuticos como cosméticos, en todas las provincias del país, empleando sedimentos naturales, lodos residuales de la industria salinera y aguas termales de diferentes orígenes y características. Independientemente de ello, el conocimiento de los niveles de metales pesados y de la actividad radionuclídica en estos sedimentos, era inexistente.

En áreas urbanas, la calidad ambiental de los suelos está estrechamente relacionada con la salud humana. Los seres humanos, y particularmente los niños, son seriamente afectados por la presencia de elevadas concentraciones de metales pesados. Producto de su activo sistema digestivo, los niños tienen un mayor poder de absorción de metales pesados, los cuales, al pasar al sistema circulatorio, pueden inducir a desbalances en la composición de la sangre. Los metales pesados al acumularse en el cuerpo, pueden inducir también afecciones al sistema nervioso central, causar envenenamiento y actuar como cofactores de otras enfermedades¹⁰⁻¹³. Por otra parte, el contenido de metales pesados en los suelos urbanos tiende a incrementarse con las emisiones vehiculares¹⁴⁻¹⁵, los residuos industriales¹⁶, la deposición de aerosoles de otras fuentes industriales como las industrias metalúrgicas y las centrales eléctricas¹⁷⁻¹⁸. El principal depositario de esas emisiones es el suelo, el cual puede ser contaminado por estos metales, los cuales pueden ser acumulados en cultivos y animales y, eventualmente, pasar a la cadena alimenticia y afectar a los humanos¹⁹⁻²¹. Además, es bien conocido que los vertederos de desechos sólidos representan una fuente significativa de metales pesados al entorno²²⁻²⁴. En tal sentido, en la presente propuesta se presentan los resultados de la determinación de metales pesados en suelos urbanos de cuatro ciudades cubanas: La Habana, Moa, Las Tunas y Cienfuegos, así como en zonas urbanas de la agricultura urbana asociadas a importantes fuentes de contaminación.

Novedad científica e impacto

Se realiza la caracterización de los espectrómetros de Fluorescencia de Rayos X y Espectrometría Gamma de Bajo Fondo, evaluándose la efectividad de los mismos para la realización de estudios ambientales. Se determina el estado actual de la contaminación por metales pesados en los sedimentos costeros del Golfo de Guacanayabo y la bioacumulación de varios de ellos en especies de interés pesquero: ostiones (*Crassostrea rhizophorae*) y cobos (*Strombus gigas*). Se comprueba que el Golfo de Guacanayabo es el entorno marino de menor contaminación radioactiva de los estudiados en el país. Se comprueba el impacto que inducen los vertimientos de la Planta de Cloro Sosa de Villa Clara a los sedimentos del estuario del Río Sagua, así como a los ostiones que allí se cultivan para consumo humano. Se reportan, por primera vez, los contenidos de arsénico, mercurio y selenio en tejido de pez gato (*Clarias gariepinus*), comprobándose una posible contaminación por Se en ese estuario. Se comprobó la presencia de una contaminación moderada por cromo y plomo en los sedimentos de la bahía de Nuevitás. Se evalúan, por primera vez, las características radiológicas y de concentración por metales pesados de los sedimentos de uso terapéutico del estuario del Río San Diego, Pinar del Río, evaluando la calidad de los mismos para su empleo con fines terapéuticos y determinando la influencia que tuvo el impacto de eventos climáticos severos en la calidad de los mismos. Similar

estudio se realiza para los balnearios de San Diego, Elguea, Santa Lucía y Cajío. Se complementa el estudio de los sedimentos de la Bahía de La Habana con la determinación del nivel de enriquecimiento en Elementos Tierras Raras presentes en los mismos. Se reportan, por primera vez, las concentraciones de metales pesados en suelos urbanos de las ciudades de La Habana, Moa, Las Tunas y Cienfuegos y el estudio de su comportamiento en suelos de diferente uso (industriales, parques, escuelas, áreas no urbanizadas, huertas populares, etc.), así como los niveles de contaminación por metales pesados en suelos de diferentes locaciones específicas (Vertederos de Cayo Cruz y Calle 100 e inmediaciones de Antillana de Acero), evaluando la calidad de los mismos para su empleo en la agricultura urbana y su posible impacto en la salud de la población. Se reportan los contenidos de zinc y su bioacumulación en 19 cultivos procedentes de 18 áreas de agricultura urbana y suburbana de las provincias de La Habana, Matanzas y Cienfuegos, determinándose que el arroz es la principal fuente de este esencial elemento en la dieta de nuestra población.

Resumen de Resultados

- **Caracterización de los sistemas espectrométricos nucleares para estudios ambientales.**

Se evaluaron las potencialidades del Espectrómetro Gamma de Bajo Fondo (EGBF) del InSTEC con fines ambientales. Se identificaron 53 líneas gamma en el espectro de fondo natural del EGBF. Se calcularon las Actividades Mínimas Detectables para los radionuclidos ^{210}Pb , ^{238}U , ^{226}Ra , ^{137}Cs , ^{232}Th y ^{40}K empleando la eficiencia volumétrica del detector simulada por Monte Carlo, corregida por los valores reales de las dimensiones del detector, determinados por vía radiográfica. Se comprueba, mediante el análisis de un estándar de sedimento marino, la factibilidad del empleo, por vía absoluta y relativa, de este espectrómetro en el estudio de muestras de esa naturaleza.

Se complementa la caracterización del Espectrómetro de Rayos X del InSTEC al determinarse experimentalmente la Sensibilidad Instrumental para fuentes de ^{109}Cd y ^{238}Pu , los correspondientes Límites de Detección y la sensibilidad del espectrómetro con ambas fuentes para el estudio de sedimentos marinos. Se comprueba que el empleo del Método de Estándar Externo de FRX-DE combinando el empleo de fuentes de excitación de ^{109}Cd y ^{238}Pu , en las condiciones existentes en el InSTEC, es válido para la determinación de metales pesados en muestras ambientales, incluso cuando la intensidad de la primera sea pobre.

- **Estudios de sedimentos de interés pesquero por técnicas nucleares y conexas.**

El análisis por EGBF de los sedimentos costeros del Golfo de Guacanayabo permitió determinar los niveles de actividad de los radionuclidos ^{210}Pb , ^{238}U , ^{226}Ra , ^{137}Cs , ^{232}Th y ^{40}K , mostrando que es el ambiente marino de menor actividad radionuclídica estudiada en el país y que, por tanto, el decaimiento del rendimiento pesquero acaecido en esa zona en los últimos años, no se debe a la presencia de una contaminación radioactiva. El empleo combinado de la FRX para la determinación del contenido de metales pesados en los sedimentos del Golfo de Guacanayabo, y de la técnica de ICP en muestras orgánicas, permitió estudiar la bioacumulación de

metales pesados en ostiones (*Crassostrea rhizophorae*) y cobos (*Strombus gigas*). Los resultados permitieron determinar la existencia de un enriquecimiento severo de Cu, Pb y Zn en los últimos 20 años en los sedimentos del golfo, con una bioacumulación severa de Zn en los ostiones y muy baja acumulación en cobos. Independientemente de lo anterior, los contenidos de Zn y Cu en ostiones, y de Cu y Pb en los cobos, sobrepasan los niveles establecidos para consumo humano por las autoridades sanitarias de nuestro país²⁵. Un nuevo monitoreo, realizado 5 años después, permitió conocer que las concentraciones de metales pesados en los sedimentos del Golfo de Guacanayabo han continuado incrementándose, lo que indica la ausencia de medidas de saneamiento de tan importante ecosistema. En tanto, los resultados del estudio de los contenidos de metales pesados del Río Cauto permitieron determinar que el Cauto no presenta contaminación por metales pesados, por lo que no es la fuente de la contaminación existente en el Golfo.

Se cuantificó el contenido de mercurio en sedimentos y ostiones (*Crassostrea rhizophorae*) del estuario del río Sagua la Grande, ubicado a 19km de la Planta de Cloro Sosa de Villa Clara. Se comprobó la presencia de niveles relativamente elevados de Hg total en los sedimentos del estuario (rango de 0.507-1.81 mg.kg⁻¹ peso seco).

Los menores valores se determinaron en los cayos periféricos del estuario. Los niveles de Hg en los ostiones se encuentran en el rango aceptado para consumo humano, aunque sus valores tienen un elevado grado de correlación respecto al contenido de Hg en los sedimentos, lo que significa que el Hg emitido por la Planta impacta negativamente la calidad de las aguas costeras.

Se presenta el primer reporte de las concentraciones de arsénico (0.01-0.11 mg.kg⁻¹), mercurio (0.03-0.24 mg.kg⁻¹) y selenio (0.75-3.87 mg.kg⁻¹) en tejidos de *Clarias gariepinus* provenientes del río Sagua la Grande, comprobándose que el 31.6% de los individuos capturados tienen un contenido de Se superior al límite de toxicidad establecido, lo que unido a la correlación Se-As obtenida, suponen un potencial de riesgo para la población del lugar, atendiendo al consumo elevado que tiene esa especie. Atendiendo a lo anterior, se sugiere el estudio de las fuentes de contaminación de selenio en la zona de estudio, del efecto que induce este elemento en pescado y de su asimilación producto de ingestión.

Se determinaron las concentraciones de cromo, níquel, cobre, zinc y plomo en sedimentos superficiales de seis estaciones de la Bahía de Nuevitás. El contenido de cromo se determinó con un intervalo de gran variación (89-513 mg.kg⁻¹) en las estaciones estudiadas. La aplicación del grado de contaminación modificado (mCd) clasificó la contaminación de los sedimentos de la Bahía de Nuevitás como de "grado moderado". La comparación con las Guías de Calidad de Sedimentos y del cociente promedio de toxicidad, mostró que el 100 % de los sedimentos estudiados están asociados a la presencia ocasional de posibles efectos adversos a la salud humana.

- **Caracterización de sedimentos de uso terapéutico por técnicas nucleares y conexas.**

Se determinan los niveles de metales pesados (Fe, Co, Ni, Cu, Zn y Pb) en perfiles de sedimentos de la desembocadura del río San Diego, fechado por la técnica de ^{210}Pb . La normalización al hierro de los contenidos de metales pesados indicó el origen natural de los elementos Co, Ni, Cu y Zn, así como un muy moderado enriquecimiento en Pb, reflejando el bajo impacto antropogénico que ha tenido esta área en los últimos 100 años. Los niveles de metales pesados en los sedimentos más recientes no representan impedimento alguno para su empleo con fines terapéuticos. Se estudió el comportamiento histórico de los niveles de radioactividad de ^{226}Ra , ^{137}Cs , ^{232}Th y ^{40}K en los lodos medicinales del río San Diego. Los valores de concentración de los radionúclidos estudiados, así como de las magnitudes Actividad radio-equivalente (82 Bq.kg^{-1}), Dosis total absorbida (40 nGy.h^{-1}), Índice de peligrosidad externa (0.23), Dosis equivalente anual en gónadas ($280 \mu\text{Sv.h}^{-1}$) y Dosis equivalente efectiva anual (48.5 -Sv.y^{-1}), son inferiores a los valores recomendados internacionalmente, por lo que, desde el punto de radiológico, no existe impedimento alguno para el empleo de estos sedimentos con fines terapéuticos. Un estudio similar se le realizaron a los peloides que se utilizan en cuatro balnearios de nuestro país: San Diego (Pinar del Río), Elguea (Villa Clara), Santa Lucía (Camagüey) y Cajío (Mayabeque), comprobándose que el contenido de metales pesados presente en los mimos, no constituye impedimento alguno a su empleo con fines terapéuticos.

Se estudia, por primera vez y mediante técnicas nucleares y conexas, el efecto que indujeron los huracanes Gustav e Ike en las propiedades físico-químicas de los sedimentos del río San Diego. La fluorescencia de rayos X, la espectrometría gamma y la medición de varios parámetros físico-químicos de los lodos (pH, temperatura, conductividad eléctrica y oxígeno disuelto), colectados antes y después del paso de los huracanes en septiembre del 2008, mostraron que los huracanes provocaron cambios en la composición mayoritaria y en otras características de los lodos. La determinación de la tasa de sedimentación del río San Diego por espectrometría gamma, permitió determinar que las condiciones originales de los sedimentos en la desembocadura del río San Diego no se recobrarán nunca antes de 5 a 7 años.

- **Niveles de Elementos Tierras Raras en sedimentos de la Bahía de La Habana.**
Se determinaron los contenidos de Elementos Tierras Raras (ETR) en sedimentos de la Bahía de La Habana, mediante la técnica de Análisis por Activación Neutrónica. Los contenidos de ETR siguen el siguiente ordenamiento: Ce>La>Nd>Sm>Eu, Yb, Tb, Lu. Los resultados muestran que el contenido de ETR depende del lugar de muestreo, lo que sugiere la posible presencia de fuentes de contaminación por ETR en la bahía. La normalización respecto a las condritas y a la corteza terrestre, mostró que los sedimentos de la bahía se encuentran enriquecidos en ETR, respecto a los sedimentos de la costa norte occidental de Cuba.
- **Niveles de metales pesados en suelos urbanos por técnicas nucleares y conexas y su impacto en la agricultura urbana y suburbana.**

Se determina la línea de base de las concentraciones de Co, Ni, Cu, Zn y Pb (13.9 ± 4.1 , 66 ± 26 , 101 ± 51 , 240 ± 132 y 101 ± 161 mg.kg⁻¹, respectivamente) en suelos superficiales (0–10 cm) de áreas urbanas y no urbanizadas de La Habana. Los resultados muestran que las mayores concentraciones se encontraron en los suelos industriales y las más bajas en los suelos no urbanizados. La normalización de los resultados a un metal de referencia en relación con la corteza terrestre mostró que los suelos de las zonas urbanas de la ciudad (industriales, parques y escuelas) están moderadamente contaminados por Zn, de moderado a severo (parques y escuelas) y severamente contaminados (industriales) por Pb. Los valores del Índice Integral de Polución (IPI) indican que los suelos industriales de la ciudad de La Habana están entre medianamente y severamente contaminados por metales pesados ($1.19 \leq \text{IPI} \leq 7.54$), aunque los valores del Índice de Enriquecimiento mostraron que las concentraciones de metales pesados no superan los límites permisibles para la agricultura urbana, excepto en las zonas aledañas a las centrales termoeléctricas y plantas metalúrgicas.

Se reportan las concentraciones de Co, Ni, Cu, Zn y Pb en suelos superficiales del antiguo vertedero de Cayo Cruz, La Habana, cuyos valores promedios (8.4 ± 2.7 , 50 ± 27 , 252 ± 80 , 489 ± 230 y 276 ± 140 mg.kg⁻¹, respectivamente) son comparados con los valores promedios de concentración reportados para los suelos urbanos de La Habana y en otros vertederos de desechos sólidos del mundo. La comparación con las Normas Holandesas de calidad de suelos²⁶ muestran la presencia de una seria contaminación por cobre y una ligera contaminación por el resto de los metales pesados determinados. Los valores del Índice de Polución Integral ($\text{IPI}_{\text{promedio}} = 3.5$) indican que los suelos del vertedero están fuertemente contaminados por metales pesados, en tanto los valores del Índice de Enriquecimiento muestran que el contenido de metales en la zona estudiada supera los niveles permisibles de metales pesados en suelos de uso agrícola.

Por otra parte, se determinaron los niveles de plomo en suelos y hortalizas cultivadas en 17 fincas urbanas cercanas al vertedero de “Calle 100” en La Habana, comprobándose que en el 23% de las mismas, los niveles de plomo superan los contenidos considerados como fitotóxicos y que el 12.5% de las hortalizas analizadas presentaron valores de plomo superiores a las normas para consumo humano. Además, en las fincas asociadas a la zona, se evaluó el rol de las prácticas productivas ejecutadas por los trabajadores agrícolas en la contaminación por metales pesados y los riesgos por exposición a metales pesados a la salud de los productores agrícolas y sus familiares, comprobándose la no existencia de riesgo a la salud por concepto de ingestión de metales pesados para los niños y trabajadores agrícolas del área.

Se estudia el nivel de contaminación por metales pesados en suelos superficiales de diez granjas agrícolas ubicadas en las inmediaciones de Antilla de Acero, Cotorro, La Habana. Los rangos de concentraciones determinados para Cr, Co, Ni, Cu, Zn y Pb fueron de 54-186, 15-39, 19-137, 50-945, 91-7739 y 21-731 mg.kg⁻¹, respectivamente. La normalización de los resultados y el cálculo de índices de

contaminación permitieron determinar que los suelos más contaminados por metales pesados, son los correspondientes a las granjas agrícolas que se encuentran en la dirección preferencial de los vientos respecto a la industria. Los valores del Índice Enriquecimiento mostraron que las concentraciones de metales de estas granjas superan los límites permisibles para uso agrícola de los suelos.

Se determinan las concentraciones de cromo, cobalto y níquel en suelos urbanos de la ciudad de Moa, Holguín, comprobándose la presencia de elevados contenidos de cromo y níquel en los mismos. Su comparación con las Guías de Calidad de Suelos de Holanda, muestran que los suelos urbanos de Moa pudieran estar seriamente contaminados por Cr y Ni y débilmente contaminados por cobalto. La normalización de los contenidos de metales pesados al hierro como metal de referencia, mostró que el origen de los contenidos de Ni y Co es natural, en tanto existe un ligero enriquecimiento en cromo ($FE = 1.5 - 4.0$).

Se presentan las concentraciones de Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Pb y Fe en suelos superficiales (0–10 cm) de la ciudad de Las Tunas, comprobándose que el contenido de Cr en los suelos escolares, parques y áreas residenciales de la ciudad, exceden en un 20% las concentraciones del fondo. Los mayores tenores de Ni se determinaron en las áreas residenciales, de Cu en las huertas populares, en tanto para el Pb, las mayores relaciones respecto al fondo se determinaron en los suelos de las huertas populares (2.7) y de las áreas residenciales (2.3). Los mapas de distribución espacial de los contenidos de Cr–Co–Ni y Pb–Zn mostraron comportamientos similares, en tanto la distribución de Cu difiere a la del resto de los metales pesados estudiados. La normalización de los contenidos de metales pesados al hierro como metal de referencia, mostró que los suelos de Las Tunas se encuentra severamente enriquecidos en Pb, siendo el principal motivo por el que los valores promedios del Índice de Polución Integral ($1.17 \leq IPI_{ave} \leq 1.39$) indiquen la existencia de una contaminación moderada por metales pesados, aunque sus valores no sobrepasan los límites establecidos para uso agrícola.

Se reportan los resultados del estudio del contenido de Co, Ni, Cu, Zn y Pb en suelos superficiales (0–10 cm) de 14 locaciones de la ciudad de Cienfuegos, determinándose una concentración media para estos de 11 ± 5 , 51 ± 25 , 80 ± 50 , 230 ± 190 y 140 ± 230 $mg \cdot kg^{-1}$, respectivamente. La línea de base de concentración de estos metales se determinó a partir de muestras de suelos tomadas a 10–20cm de profundidad. Los índices de polución muestran altos niveles de concentración de metales pesados en más de la mitad de las localidades estudiadas, sin embargo, el factor de enriquecimiento y el análisis de componentes principales señalan que sólo la contaminación por Cu, Zn y Pb tiene origen antropogénico. El impacto antropogénico sobrepasa los niveles de severidad en tres de las catorce locaciones estudiadas, donde se determinaron las concentraciones máximas de 213 ± 4 , 723 ± 9 y 893 ± 8 $mg \cdot kg^{-1}$ para el Cu, Zn y Pb, respectivamente; valores éstos que sobrepasan los límites de intervención de las normas de Holanda de calidad de suelos. El estudio radiológico de los suelos mostró que la tasa de dosis absorbida en aire y la dosis equivalente efectiva anual que recibe la población local, producto de la radiación

natural de los suelos, son inferiores a los límites establecidos internacionalmente y que existen correlaciones significativas entre $^{232}\text{Th-Cu}$ y $^{232}\text{Th-Zn}$, indicando la posible existencia de alguna fuente contaminante de estos elementos en la zona.

Se reportan los contenidos de zinc y su bioacumulación en 19 cultivos (arroz, vegetales y condimentos) procedentes de 18 áreas de agricultura urbana y suburbana de las provincias de La Habana, Matanzas y Cienfuegos, mediante el empleo de las técnicas de FRX y Absorción Atómica. Los resultados mostraron al arroz como el cultivo de mayor bioacumulación de Zn y como la principal fuente de este esencial elemento en la dieta de nuestra población.

Referencias

- [1] Schlösser, D., Baacke, D., Beuge, P., Kratz, K.L. (1999). Elemental composition of sediments from a former silver mine in Freiberg/East Germany. *Appl Radiat Isotopes*, 50, 609-614..
- [2] Guerra-Garcia, J.M., Garcia-Gomez, J.C. (2005). Assessing pollution levels in sediments of a harbour with two opposing entrances. Environmental implications. *J Environ Manag*, 77, 1-11.
- [3] Díaz, O., Graciano, A.M., Nogueira, C.A., López, N., González, H., Manso, M.V., et al. (2005). Epithermal neutron flux characterization of the IEA-R1 research reactor, Sao Paulo, Brazil. *J. Radioanal Nuc Chem*, 266(1), 153-157.
- [4] Al-Jundi, J. (2000). Determination of trace elements and heavy metals in the Zarka River sediments by instrumental neutron activation analysis. *Nucl Inst Meth Phys Res B*, 170, 180-186.
- [5] Deguetto, S., Cantaluppi, C., Cianchi, A., Valdarnini, F., Schintu, M. (2005). Critical analysis of radiochemical methodologies for the assessment of sediment pollution and dynamics in the lagoon of Venice (Italy). *Environ Internat*, 31, 1023-1030.
- [6] Mellawati, J., Sumarti, M., Menry, Y., Surtipanti, S., Kump, P. (2001). Application of X-ray fluorescence spectrometry in multielement analysis of rubber samples. *Appl Radiat Isotopes*, 54, 881-885.
- [7] Üstündağ, Z., Üstündağ, I., Kağan, Y. (2007). Multi-element analysis of pyrite ores using polarized energy-dispersive X-ray fluorescence spectrometry. *Appl Radiat Isotopes*, 65, 809-813.
- [8] Gilmore G., Hemingway J. *Practical Gamma-ray Spectrometry*. John Wiley & Sons, England, 1995.
- [9] Arencibia, G., Isaac, M., González, H. (1988). Metal behaviour in coast sediments from Guacanayabo Gulf. *Revista Cubana de Química*, IV (3), 39-45.
- [10] Goyer RA (1997) Toxic and essential metal interactions. *Annu Rev Nutr* 17:37-50.

- [11] Finkelstein Y, Markowitz ME, Rosen JF (1998) Low-level lead-induced neurotoxicity in children: an update on central nervous system effects. *Brain Research Reviews* 27:168–176.
- [12] Brewster UC, Perazella MA (2004) A review of chronic lead intoxication: an unrecognized cause of chronic kidney disease. *The American Journal of the Medical Sciences* 327(6):341-347.
- [13] Navas-Acien A, Guallar E, Silbergeld EK, Rothenberg SJ (2007) Lead exposure and cardiovascular disease -a systematic review. *Environ Health Perspect* 115(3):472-482.
- [14] Surthland RA, Tolosa CA, Tack FMG, Verloo MG (2000) Characterization of selected element concentrations and enrichment ratios in background and anthropogenic impacted road side areas. *Arch Environ Contam Toxicol* 38:428–438.
- [15] Mielke HW, Laidlaw MAS, Gonzales C (2010) Lead (Pb) legacy from vehicle traffic in eight California urbanized areas: continuing influence of lead dust on children's health. *Sci Total Environ* 408:3965–3975.
- [16] Simonson RW (1995) Airborne dust and its significance to soils. *Geoderma* 65:1–43.
- [17] Diawara M, Litt JS, Unis D, Alfonso N, Martinez L, Crock JG, Smith DB, Carsella J (2006) Arsenic, cadmium, lead and mercury in surface soils, Pueblo Colorado: implications for population health risk. *Environ Geochem Health* 28:297–315.
- [18] Biasioli M, Grčman H, Kralj T, Madrid F, Díaz-Barrientos E, Ajmone-Marsan F (2007) Potentially toxic elements contamination in urban soils: a comparison of three European cities. *J Environ Qual* 36:70–79.
- [19] Acosta JA, Faz A, Martínez-Martínez S, Arocena JM (2011) Enrichment of metals in soils subjected to different land uses in a typical Mediterranean environment (Murcia City, southeast Spain). *Appl Geochem* 26:405–414.
- [20] Gupta D, Chatterjee JM, Ghosh R, Mitra AK, Roy S, Sarkar M (2010) Radioisotope-induced EDXRF investigation of elemental uptake in cauliflower grown at MSW-contaminated site. *X-Ray Spectrom.* 39:364 – 371.
- [21] Krishna AK, Govil PK (2007) Soil contamination due to heavy metals from an industrial area of Surat, Gujarat, Western India. *Environ Monit Assess* 124:263–275.
- [22] Bretzel FC, Calderisi M (2011) Contribution of a municipal solid waste incinerator to the trace metals in the surrounding soil. *Environ Monit Assess*, 182(1-4):523-533.
- [23] Waheed S, Siddique N, Q. Hamid Q, Chaudhry MM (2010) Assessing soil pollution from a municipal waste dump in Islamabad, Pakistan: a study by INAA and AAS. *J. Radioanal Nuc Chem* 285:723–732.
- [24] Ferré-Huguet N, Nadal M, Mari M, Schuhmacher M, Borrajo MA, Domingo JL (2007) Monitoring metals near a hazardous waste incinerator. Temporal trend in soils and herbage. *Bull Environ Contam Toxicol* 79:130–134.

- [25] Norma Cubana NC-493. Contaminantes metálicos en alimentos. Regulaciones sanitarias. ININ/ Oficina Nacional de Normalización. CITMA. ICS: 67.020, 2006.
- [26] Swartjes AF (1999) Risk-based assessment of soil and groundwater quality in the Netherlands: standards and remediation urgency. Risk Anal 18(6):1235-1249.