

INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS HIDRODINÁMICAS Y MORFOMÉTRICAS EN LA DISTRIBUCIÓN DE ^{210}Pb EN LOS SEDIMENTOS SUPERFICIALES DE LA BAHÍA DE CIENFÜEGOS, CUBA.

Alain Muñoz Caravaca ^{1*}, Roberto Henry Herrera Marrero ¹, Renaud Fichez ², Pascal Douillet ², Ovel Díaz García ¹ y Jean Michel Fernández ².

(1) Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos (CEAC), Apartado Postal 5, CP 59350, Ciudad Nuclear, Cienfuegos, Cuba.

(2) IRD Noumea Centre, BP A5, 98848 Noumea Cedex, Nueva Caledonia, Francia

(*) Autor correspondiente: Email: alain@ceac.cu ó alain@gestión.ceac.cu

RESUMEN

Se presenta la distribución de ^{210}Pb en los sedimentos de la Bahía de Cienfuegos colectados durante la campaña oceanográfica Jagua, desarrollada entre los meses Mayo a Junio del 2006. El ^{210}Pb alcanzó un valor medio de 71.3 mBqKg^{-1} en un rango de $30.8 - 205.5 \text{ mBqKg}^{-1}$. Existe un área de acumulación de ^{210}Pb en el lóbulo sur de la Bahía de Cienfuegos que responde a las características morfológicas e hidrodinámicas de este sector de la bahía, en particular al patrón de circulación de las aguas y la profundidad de la bahía.

Palabras claves: estuarios; sedimentos; ^{210}Pb ; bahías; ASW, Cuba.

THE INFLUENCE OF THE CHARACTERISTICS HYDRODYNAMIC AND MORPHOLOGICAL IN THE DISTRIBUTION OF ^{210}Pb IN THE SUPERFICIAL SEDIMENTS OF THE BAY OF CIENFÜEGOS, CUBA.

ABSTRACT

The distribution pattern of ^{210}Pb in the sediments of the Cienfuegos Bay is presented. These data were collected during the oceanographic campaign "Jagua" carried out between May and June of 2006. The ^{210}Pb reached an average value of 71.3 mBqKg^{-1} in the range 30.8 to 205.5 mBqKg^{-1} . An accumulation area of ^{210}Pb was observed with high peaks in the south lobe of the study area. That process responds to the morphological and hydrodynamic characteristics of this sector of the bay, mainly caused by the water circulation pattern.

Key words: estuaries; sediments; ^{210}Pb ; bays, ASW, Cuba.

La acumulación de contaminantes en un estuario no está asociada exclusivamente a la existencia de fuentes de contaminación sino también a la capacidad de este sistema de exportar las cargas contaminantes que recibe y al desarrollo de procesos biogeoquímicos propios del contaminante y su interacción con los diferentes componentes del sistema. La contaminación que retienen los sedimentos por ejemplo, está determinada por las características de estos, en particular el tipo y cantidad de materia orgánica, su distribución granulométrica, la capacidad de intercambio de cationes y la presencia de minerales. Sin embargo la distribución espacial y temporal de los sedimentos en bahías y zonas costeras son dependientes de los procesos hidrodinámicos que tienen lugar en estos ecosistemas, en particular de la acción de la marea y los fuertes vientos.

En la bahía de Cienfuegos se han realizado numerosos estudios sobre la calidad de las aguas y sedimentos [Seisdedo y Muñoz, 2004; Alonso *et al.*, 2006; Moreira *et al.*, 2006, 2007]. Estos estudios demuestran la existencia de áreas de contaminación asociadas a fuentes puntuales en tierra ó provenientes de los sistemas fluviales

pero no abordan como las condiciones morfológicas e hidrodinámicas actúan sobre la distribución del contaminante. La distribución del radionúclido natural ^{210}Pb y los metales pesados en los sedimentos de la Bahía de Cien-fuegos clasifican en la situación anteriormente descrita.

El ^{210}Pb ($T_{1/2} = 22.3\text{a}$) es miembro de la serie radioactiva del ^{238}U y se produce en la atmósfera por el decaimiento de ^{222}Rn emanado de los suelos continentales. El ^{210}Pb se enriquece fundamentalmente en la baja troposfera y se asocia a partículas para luego precipitar rápidamente hacia la superficie del mar, los ríos y los suelos donde su perfil vertical es una función de las características de estas matrices y los procesos naturales que en ellas ocurren. Por tales motivos este radionúclido se emplea frecuentemente en la evaluación de los procesos de transporte de la atmósfera, los mares y los suelos, (Carvahlo, 1997; Pfitzner *et al.*, 2004).

La presencia de ^{210}Pb en los sedimentos de la bahía de Cienfuegos tiene un origen natural y en el lóbulo sur de esta bahía se asocia al aporte del río Arimao, que atraviesa una cuenca rica en material granítico en el sector suroriental de la

provincia (Alonso *et al.*, 2006). Sin embargo la existencia de un área de acumulación de ^{210}Pb al sur de la bahía, puede relacionarse también con el tiempo de renovación de las aguas, la forma de la circulación de estas y las características morfológicas de la bahía de Cienfuegos. Determinar la validez de esta hipótesis constituye el objetivo principal de este trabajo.

MATERIALES Y MÉTODOS.

Sitio de estudio.

La bahía de Cienfuegos se extiende en un área de 88.46 km² con un volumen de agua para el nivel medio del mar de 810 Km³. Su forma es ovalada y está orientada de NO a SE. Tiene 19 km de longitud máxima y 7.5 Km en su parte más ancha, con una profundidad promedio de 9.5 m. De forma natural está dividida en dos lóbulos delimitados por el bajo "Las Cuevas" que tiene una profundidad promedio de 1.5 m. Presenta un estrecho y sinuoso canal de acceso con una longitud de 3 600 m y profundidades entre 30 y 50 m en el centro, limitado por dos puntas, al este por Punta Los Colorados situada a los 22°02'04" Latitud Norte y 80°26'29" Longitud Oeste y al oeste por Punta Sabanilla ubicada a los 22°02'28" Latitud Norte y 80°27'36" Longitud Oeste (Fig. 1).

Cuatro ríos vierten sus aguas en la Bahía de Cienfuegos ellos son: el Caunao, el Arimao, el Damují, y el Salado, los cuales modifican la estructura salina de la bahía, aportan una considerable carga contaminante a este ecosistema y modifican estacionalmente el patrón de circulación de las aguas, (Seisdedo y Muñoz, 2004; Muñoz *et al.*, 2008).

Programa de monitoreo

En el mes Mayo del 2006 se ejecutó la campaña oceanográfica Jagua, por investigadores del Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos y la Unidad de Investigación Camelia, del Instituto de Investigaciones para el Desarrollo IRD de Noumea, Nueva Caledonia. Para esta campaña se seleccionaron 32 estaciones dentro de la bahía de Cienfuegos, La red de estaciones muestreadas se estableció considerando para sus localizaciones los principales rasgos morfológicos de este ecosistema, sus diferentes usos y las fuentes contaminantes presentes, entre otras (Fig. 1). De todas las variables medidas se consideraron para este estudio las siguientes: granulometría, profundidad de la estación, turbidez, velocidad media de las aguas en la columna, materia orgánica y el contenido de ^{210}Pb en la muestra de sedimento.

En cada una de las estaciones se colectó una muestra de sedimento superficial empleando una draga tipo Petersen. Las muestras de sedimentos fueron adecuadamente conservadas y trasladadas al laboratorio de ensayos sedimentológicos del Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos.

Para la determinación de turbidez se empleó un turbidímetro Seapoint conectado a una sonda CTD Seabird SBE19. Este turbidímetro detecta la luz esparcida por las partículas presentes en la columna de agua, empleando una longitud de onda de 0.88 μm . Estos equipos son calibrados desde fábrica con respuesta en Unidades de Turbiedad de Formazin (NTU), la cual es proporcional a la concentración de sedimentos en el agua para valores menores de 10g.L⁻¹ (Ouillon *et al.*, 2008). Los valores de turbidez que se presentan en este estudio se corresponden con los valores medios desde la superficie hasta 3m de profundidad.

Se determinó además el contenido ^{210}Pb en cada muestra por espectrometría gamma de bajo fondo empleando un detector de Germanio Puro con geometría de pozo (SILENA PRGC 1522 BL, MCA 2048 canales), de eficiencia relativa del 11.1% y resolución de 2.26 KeV a 1.33 MeV para el ^{60}Co . Para la identificación y cuantificación del ^{210}Pb se empleó la línea de 47Kev durante 24 horas de medición. La actividad específica y su incertidumbre fueron calculadas por las ecuaciones descritas en la literatura especializada (IAEA, 1989).

El análisis estadístico de los resultados obtenidos de todas las variables analizadas se realizó mediante el software "MATLAB" sobre Windows, determinándose la media, desviación estándar y las correlaciones entre las variables estudiadas, el análisis de componentes principales y de clúster (Trauth, 2006). Las distribuciones espaciales fueron realizadas mediante Vertical Mapper 3.0 sobre Mapinfo 8.5, empleando como método de interpolación la Distancia Inversa Ponderada.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En los sedimentos analizados, el 64% de su contenido clasifica en la clase menor de 2 μm , el 21% entre 63 y 2 μm y el 14% en la clase mayor de 63 μm . Esta distribución granulométrica de los sedimentos se corresponde con las características morfológicas y batimétricas de la bahía, así como a las fuentes naturales que aportan sedimentos a este ecosistema, (Tabla 1 y Fig. 2).

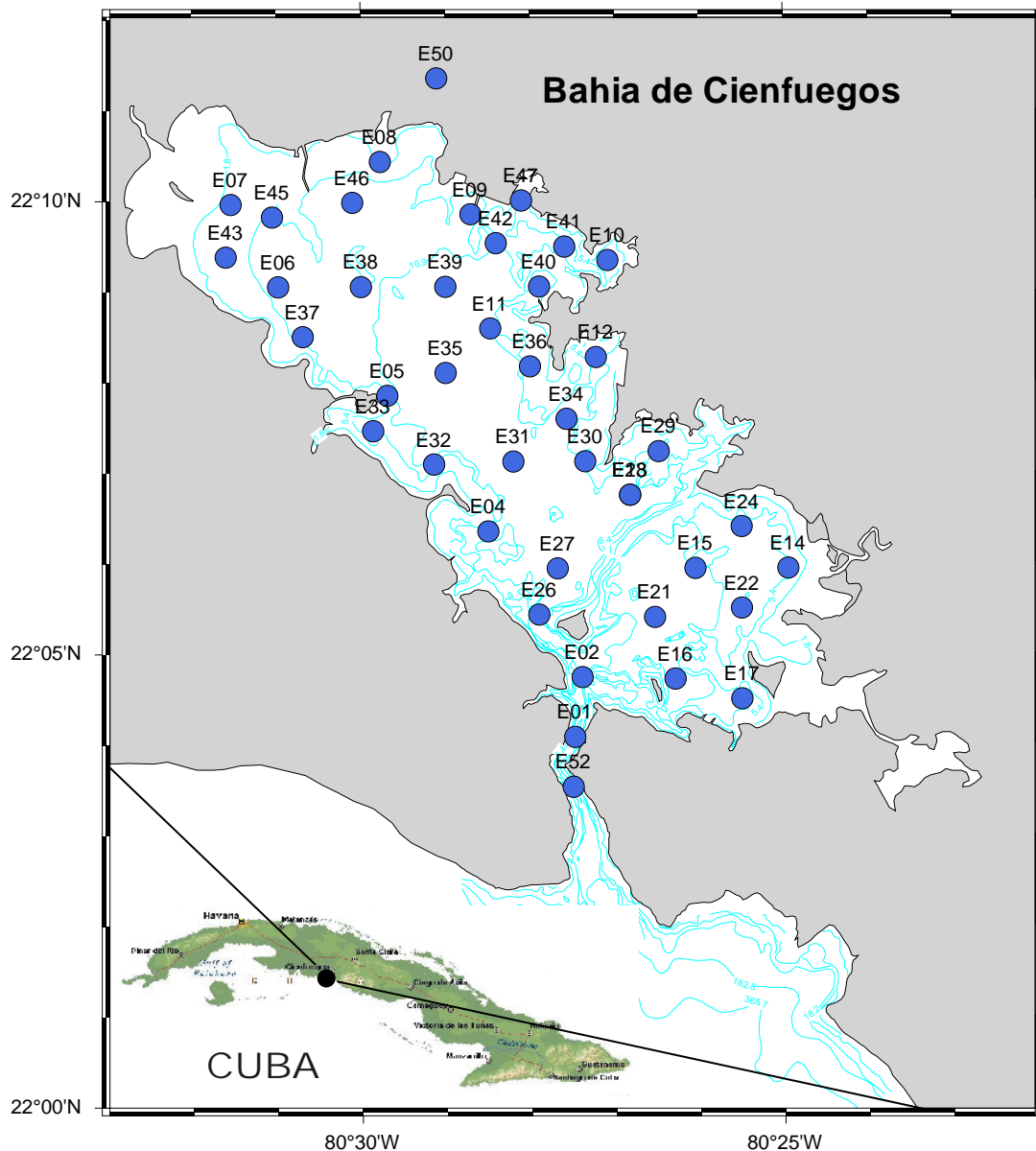


Fig. 1. Mapa de localización de la Bahía de Cienfuegos, Cuba y de las estaciones consideradas en este estudio.

La turbidez alcanza valor medio de 4.52 NTU con rango 1.46 y 9.15 NTU, mostrando una tendencia al incremento en profundidad en todas las estaciones (Fig. 3).

El ^{210}Pb alcanzó valor medio 71.3 $\text{mBq}\cdot\text{Kg}^{-1}$ y un rango entre 30.8 y 205.5 $\text{mBq}\cdot\text{Kg}^{-1}$. Este radionúclido expresó una débil correlación con granulometrías del sedimento entre 63 y 2 μm ($r=0.15$, $p<0.001$) y para granulometrías mayores de 63 μm ó menores de 2 μm el coeficiente de correlación es menor de 0.10 (Tabla 1).

La distribución espacial del contenido de ^{210}Pb en los sedimentos superficiales de la bahía de Cienfuegos muestra la existencia de un sector de acumulación predominante. Mientras en el lóbulo norte de la bahía las concentraciones son

menores de 65 $\text{mBq}\cdot\text{Kg}^{-1}$, en el lóbulo sur se alcanzan hasta 205.5 $\text{mBq}\cdot\text{Kg}^{-1}$ observándose que entre el canal de entrada y la Laguna Guanaroca y hacia el centro de este lóbulo existe un área de acumulación preferencial (Fig. 4).

Si se asume que el proceso de deposición atmosférica del ^{210}Pb es la misma en toda la bahía, entonces las diferencias descritas entre el lóbulo norte y sur, pueden asociarse a:

- corrientes fluviales superficiales ó submarinas ricas en ^{210}Pb ó sus precursores, al lavar continentes geológicos ricos en este radionúclido,
- un mayor tiempo de residencia de este radionúclido en este lóbulo.

Tabla 1. Características granulométricas de los sedimentos de acuerdo a la clasificación de Wentworth, del contenido de ²¹⁰Pb y el resto de las variables analizadas Salinidad superficial (Sal_S) y de fondo (Sal_F), la profundidad (H), la turbidez (Tur), la velocidad (V) y la materia orgánica (MO) para cada una de las estaciones.

Estación	Lat	Lon	X>63 µm	63>X>2 µm	X<2 µm	²¹⁰ Pb mBq.Kg ⁻¹	Sal F PSU	O2 mgL ⁻¹	F FAU	H m	Tur NTU	Sal S PSU	V ms ⁻¹	MO mgK ⁻¹
E-2	22.08	-80.46	65.03	10.28	24.69	123.40	36.03	5.01	0.34	33.97	2.01	35.98	0.07	1.92
E-4	22.11	-80.48	66.46	7.41	26.13	33.40	35.97	3.93	1.40	8.98	2.08	35.76	0.03	4.64
E-5	22.13	-80.50	4.43	25.05	70.52	119.50	35.83	2.77	4.15	9.00	5.62	35.62	0.03	1.73
E-6	22.15	-80.52	4.00	24.26	71.73	49.10	35.72	3.20	4.63	6.97	9.15	35.42	0.03	4.49
E-7	22.17	-80.53	1.15	24.45	74.40	52.70	34.96	6.12	3.23	3.28	3.77	34.96	0.01	6.56
E-8	22.17	-80.50	5.87	16.46	77.67	65.20	35.67	6.53	4.39	3.71	2.65	35.67	0.01	2.25
E-9	22.16	-80.48	17.76	21.76	60.49	57.50	35.89	1.27	1.17	12.16	1.65	35.77	0.02	3.86
E-10	22.15	-80.45	44.63	10.40	44.97	30.80	35.82	5.87	2.88	3.84	1.46	35.58	0.01	6.61
E-11	22.14	-80.48	23.50	22.05	54.45	50.40	35.93	3.27	1.47	14.09	3.04	35.85	0.03	5.31
E-12	22.14	-80.46	2.20	28.16	69.63	90.40	35.95	4.02	0.80	9.10	8.21	36.01	0.05	5.36
E-13	22.11	-80.45	1.93	26.39	71.68	67.90	35.96	4.52	0.74	7.41	6.21	36.10	0.02	3.41
E-14	22.10	-80.42	1.93	26.39	71.68	110.00	35.96	4.52	1.00	12.00	3.25	35.85	0.01	30.00
E-17	22.07	-80.43	23.98	18.05	57.97	43.70	35.96	4.27	1.01	9.12	9.03	35.88	0.01	3.91
E-21	22.09	-80.44	1.93	26.39	71.68	110.00	35.96	4.52	1.00	19.00	4.30	35.85	0.01	24.00
E-22	22.09	-80.43	1.93	26.39	71.68	97.00	35.96	4.52	1.00	19.00	4.30	35.85	0.01	28.00
E-26	22.09	-80.47	22.54	19.60	57.86	205.50	35.99	4.42	0.46	28.30	7.74	35.89	0.03	2.85
E-27	22.10	-80.46	3.33	25.92	70.74	136.40	35.99	4.59	0.29	21.79	3.99	35.98	0.03	3.97
E-28	22.11	-80.45	23.76	20.06	56.18	65.50	35.98	4.65	0.61	14.72	6.22	35.96	0.02	3.62
E-29	22.12	-80.44	7.96	23.58	68.46	52.50	35.95	4.74	0.91	5.92	4.33	36.09	0.01	3.52
E-30	22.12	-80.46	2.92	22.86	74.22	47.80	35.94	4.70	0.71	14.16	1.84	36.06	0.05	4.41
E-31	22.12	-80.47	1.67	30.41	67.92	91.60	35.96	3.50	0.84	16.62	5.37	35.91	0.02	4.12
E-32	22.12	-80.49	76.78	4.69	18.53	49.90	35.86	5.98	0.65	5.12	1.53	35.85	0.01	1.93
E-33	22.13	-80.50	3.74	22.98	73.27	67.50	35.80	4.70	3.29	9.66	8.89	35.86	0.00	4.09
E-34	22.13	-80.46	2.00	24.62	73.38	78.70	35.94	4.39	0.81	14.63	6.69	35.98	0.03	3.83
E-35	22.13	-80.49	1.17	26.16	72.67	56.10	35.94	2.92	1.46	14.13	3.22	35.81	0.02	5.21
E-36	22.14	-80.47	8.89	21.74	69.37	64.40	35.92	3.45	1.30	12.26	4.95	35.94	0.02	3.93
E-37	22.14	-80.51	2.02	24.89	73.09	59.70	35.73	4.20	3.96	6.35	2.16	35.06	0.00	4.60
E-38	22.15	-80.50	2.88	23.96	73.16	56.00	35.88	1.66	2.12	10.82	3.22	35.53	0.02	4.39
E-39	22.15	-80.49	3.55	22.89	73.55	68.20	35.92	2.74	1.86	13.07	3.26	35.88	0.02	5.62
E-40	22.15	-80.47	3.19	19.02	77.79	57.30	35.92	2.43	1.27	8.59	4.51	35.78	0.02	4.75
E-41	22.16	-80.46	2.14	25.54	72.32	53.20	35.88	2.23	1.75	8.21	3.78	35.84	0.05	5.21

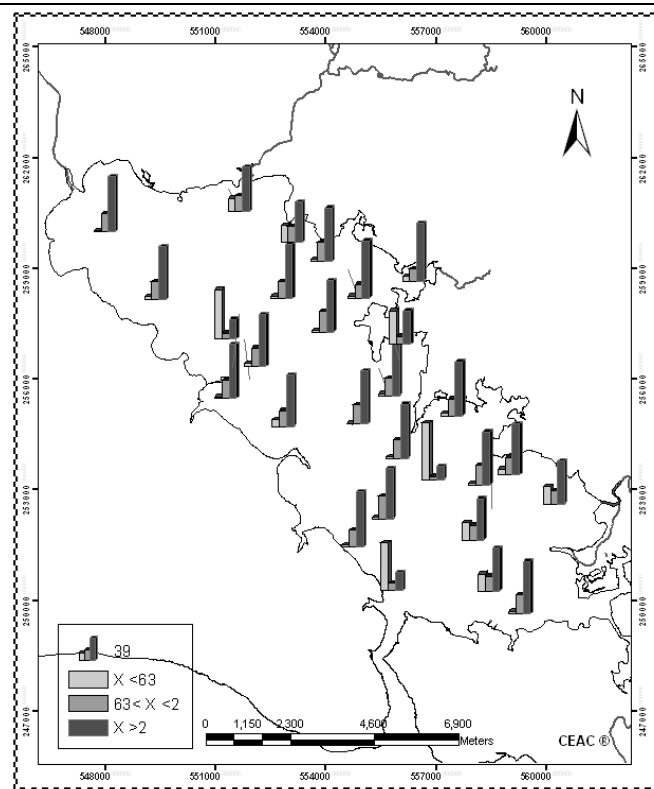


Fig. 2. Distribución espacial de las características granulométricas en la Bahía de Cienfuegos, Cuba.

Ambas hipótesis son válidas y no excluyentes. Aunque no se tienen medidas del contenido de ^{210}Pb en las aguas de los ríos que arriban al sur de la Bahía de Cienfuegos, estas pueden ser ricas en este radionúclido. Mediciones realizadas en pozos pertenecientes a la cuenca del río Arimao alcanzan niveles de hasta $1\,000\text{ Bq}\cdot\text{L}^{-1}$, siendo esta cuenca rica en material granítico, por lo que este proceso de enriquecimiento y transporte es naturalmente posible y debe ser estudiado para validar dicha hipótesis, (Valdés y Olivera Acosta, 1995, 1997). Sin embargo esta condición no impone la existencia de un área de acumulación en la bahía porque este ecosistema puede ser capaz de exportar hacia el Caribe todo lo que recibe evitando la formación de áreas de acumulación.

La concentración de ^{210}Pb se correlaciona fuertemente con la profundidad de la estación alcanzando coeficiente $r=0.73$. Cuanto mayor sea la profundidad mayor es la probabilidad de que la partícula de sedimento pueda llegar al fondo y que para determinadas condiciones el movimiento vertical sea superior al transporte lateral, garantizando una señal del ^{210}Pb los sedimentos. Por otro lado las características batimétricas y morfológicas del canal de entrada a la bahía de Cienfuegos limitan la circulación de las aguas en el lóbulo sur. La bifurcación del flujo de agua proveniente del mar Caribe, la existencia de tres

islas en el lóbulo sur y el patrón de circulación de las aguas constituyen una barrera hidráulica y trampa natural a todo el material particulado transportado con las aguas en este lóbulo (Fig. 5). La circulación de las aguas en el lóbulo sur tiene un carácter ciclónico y hace que en su zona central y hacia el canal de la bahía, se depositen por el propio proceso hidráulico la mayor parte del material particulado. La profundidad es una condición favorable que permite a esta zona convertirse en un área de acumulación natural, encontrándose en ellas las menores velocidades de la circulación estuarina lo cual también favorece la precipitación del ^{210}Pb (Muñoz *et al.*, 2008). La profundidad y la velocidad alcanzan un factor de correlación $r=0.73$.

El análisis de componentes principales muestra como el contenido de ^{210}Pb en los sedimentos puede ser representado por dos ejes principales que explican el 37.3% y el 27.5% de la varianza total respectivamente (64.8% de la varianza total). El primer componente correlaciona la Salinidad del fondo y superficie, la profundidad, la velocidad y el contenido de ^{210}Pb en los sedimentos (Fig. 6 y Tabla 2). El segundo eje correlaciona las fracciones granulométricas más finas con la turbidez y la materia orgánica. Puede interpretarse el primer eje de este análisis de componentes principales asociado a las características morfológicas de la bahía y el segundo a los procesos naturales y biogeo-químicos relacionados con la asociación del ^{210}Pb a las partículas presentes en el medio y su posterior sedimentación.

La interpretación de estos procesos puede ser más refinada con el análisis de clúster. Cuatro grupos pueden ser separados representando las principales provincias de sedimentos en la bahía de Cienfuegos en cuanto a sus características granulométricas y el contenido de ^{210}Pb , con coeficiente de correlación cofenético igual a 0.92 (Fig. 7). Un primer grupo que asocia las estaciones 2 y 26 con altos contenidos de ^{210}Pb y ubicadas en un ambiente hidrodinámico muy fuerte, un segundo grupo asociando las estaciones 4, 10 y 32 de sedimentos arenosos ($X>63\ \mu\text{m}$: 44–77%) y bajo contenido de ^{210}Pb ; el tercero agrupa las estaciones 5, 12, 14, 21, 22, 27 y 31 con altos contenidos de ^{210}Pb y sedimentos limo – arcillosos ($X<63\ \mu\text{m}$: 90–97%), y un cuarto grupo con el resto de las estaciones con sedimentos limo arcillosos y bajo contenido de ^{210}Pb , que representan el 60% de las estaciones muestreadas. Aunque el grado de correlación entre el contenido de ^{210}Pb y las fracciones granulométricas no es alto, queda evidenciado que para la fracción más gruesa, el ^{210}Pb no expresa una asociación natural.

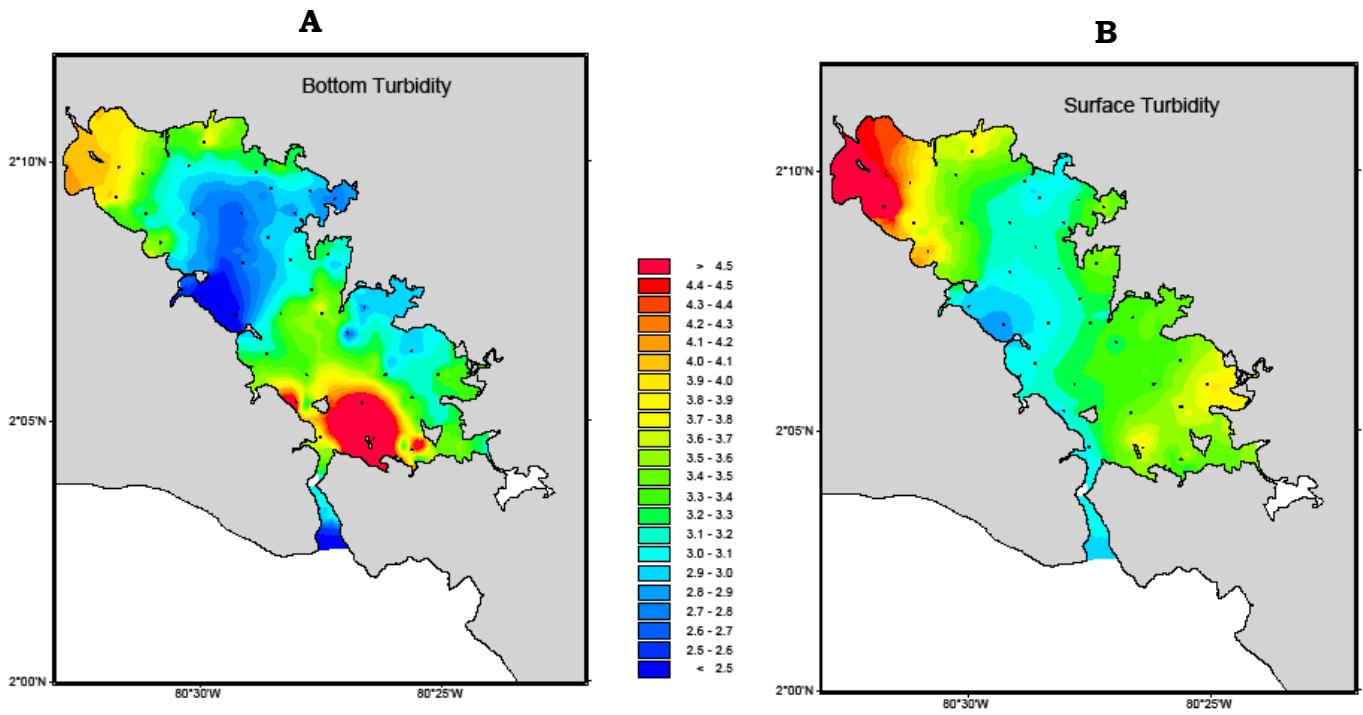


Fig. 3. Distribución espacial de turbidez al nivel superficial y de fondo en la Bahía de Cienfuegos, Cuba.

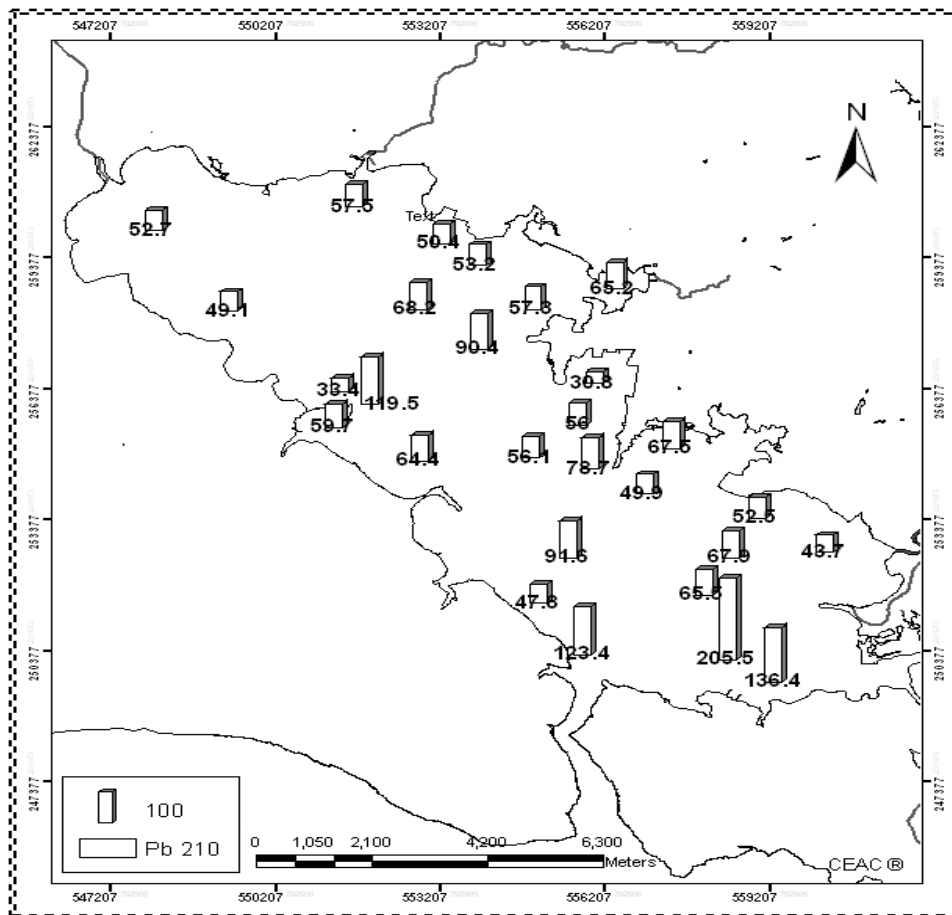


Fig. 4. Distribución espacial del ^{210}Pb (mBq.Kg^{-1}) en los sedimentos superficiales de la Bahía de Cienfuegos, Cuba.

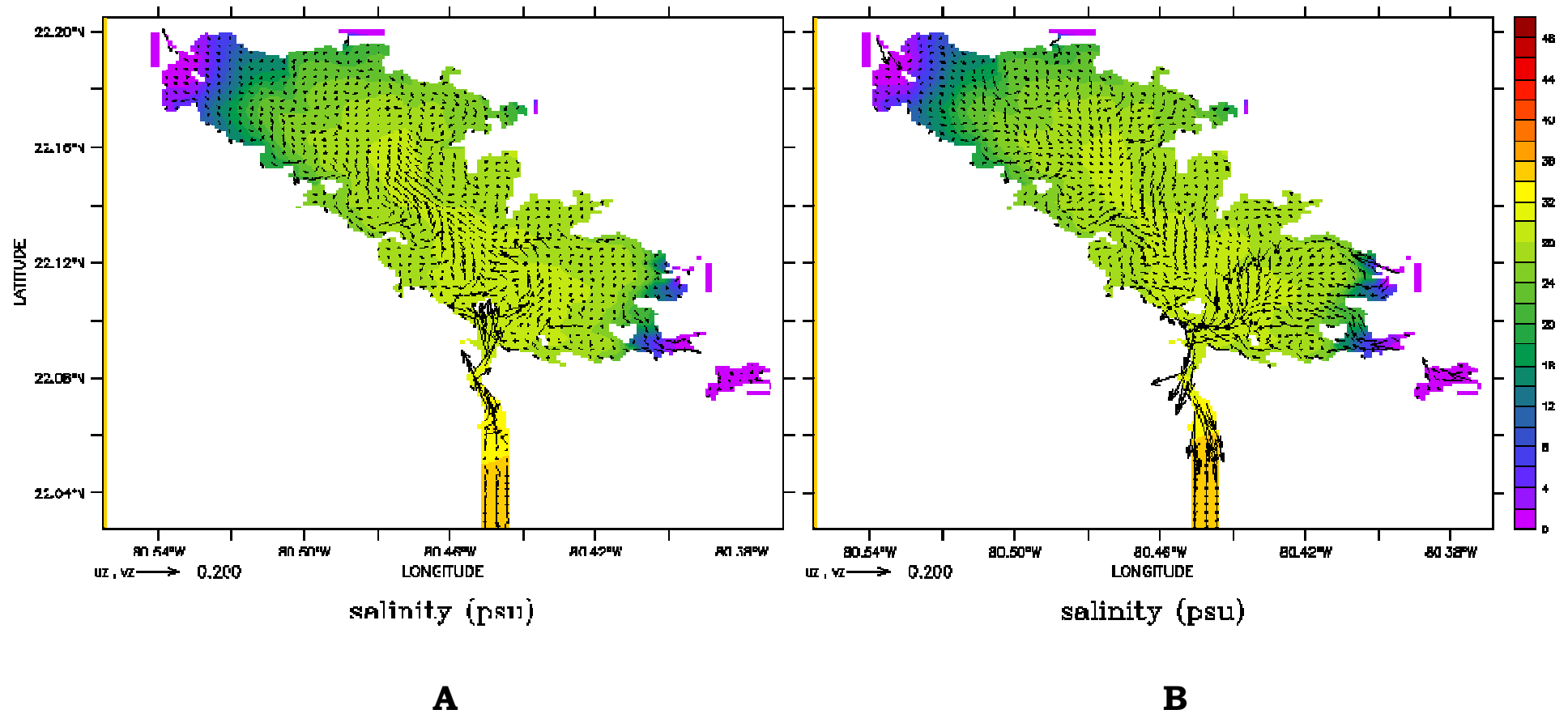


Fig. 5. Distribución de las corrientes marinas durante el llenante y vaciante de la bahía de Cienfuegos, Cuba.

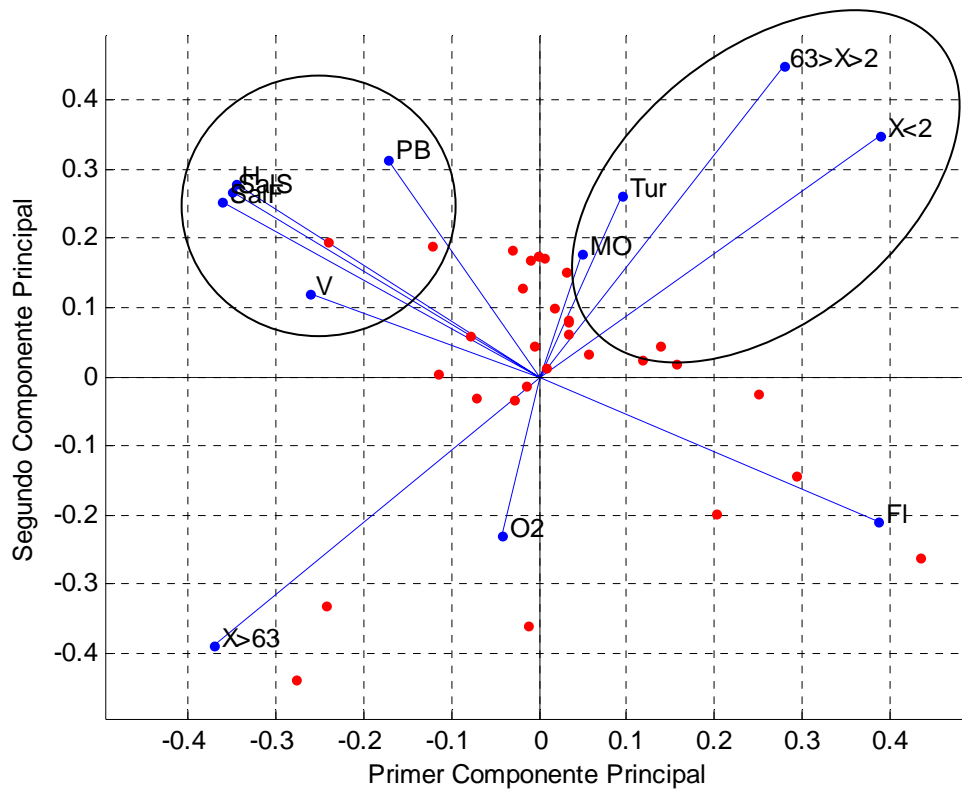


Fig. 6. Análisis de componentes principales para las variables en estudio. Obsérvese el agrupamiento de las variables que asocian las características hidrodinámicas y morfométricas de la bahía.

CONCLUSIONES

1. El ^{210}Pb alcanza valor medio de 71.3 mBq.Kg^{-1} , observándose los mayores valores en el lóbulo sur con valores que alcanza hasta $205.5 \text{ mBq.Kg}^{-1}$. Este radionúclido expresó una baja correlación con granulometrías del sedimento entre 63 y $2 \mu\text{m}$ ($r=0.15$, $p<0.001$), y para granulometrías mayores de $63 \mu\text{m}$ ó menores de $2 \mu\text{m}$ el coeficiente de correlación es menor de 0.10 , $p<0.001$.
2. Las características morfológicas e hidrodinámicas, en particular el patrón de circulación de las aguas y la profundidad determinan la existencia de un área de acumulación de ^{210}Pb en el lóbulo sur de la bahía de Cienfuegos. El ^{210}Pb se correlaciona fuertemente con la profundidad de la estación ($r=0.73$, $p<0.001$).

REFERENCIAS

Alonso Hernández, C.M., Díaz Asencio, M., Muñoz Caravaca, A., Delfanti, R., Papucci, C., Ferretti O. & Crovato, C. (2006). Recent changes in sedimentation regime in Cienfuegos Bay, Cuba, as inferred from ^{210}Pb and ^{137}Cs vertical profiles. *Continental Shelf Research* 26, 153–167.

Carvalho, F.P. (1997). Distribution, cycling and mean residence time of ^{226}Ra , ^{210}Pb and ^{210}Po in the Tagus estuary. *The Science of Total Environment* 196,151-161.

IAEA. (1989). Measurement of radionuclides in food and the environment – a guidebook. *Tec. Rep. No. 295*, International Atomic Energy Agency, Vienna.

Moreira, A., Armenteros, M., Gómez, M., León, A.R., Cabrera, R., Castellanos, M.E., Muñoz, A. & Suárez, A.M. (2006). Variation of macroalgae biomass in Cienfuegos bay, Cuba. *Rev. Invest. Mar.* 27(1), 3-12.

Moreira, A., Seisdedo, M., Leal, S., Abatte, M., Regadera, R., Comas, A., Alonso, C. & Delgado, G. (2007). Composición y abundancia del fitoplancton de la Bahía de Cienfuegos, Cuba. *Rev. Invest. Mar.* 28(2), 97-109.

Muñoz Caravaca, A., Douillet, P., Díaz García O., Ouillon, S. & Fichez, R. (2008). Influencia de la marea, el viento y el aporte fluvial en la circulación de las aguas de la Bahía de Cienfuegos, Cuba, *Rev. Invest. Mar.* 29(2):101-112.

Tabla 2. Correlaciones expresadas entre las características granulométricas de los sedimentos, el contenido de ^{210}Pb y el resto de las variables estudiadas.

	X>63	63<X<2	X<2	^{210}Pb	SF	O	F	P	T	SS	Vel_K=1
X>63	1.00										
63<X<2	-0.92	1.00									
X<2	-0.99	0.84	1.00								
^{210}Pb	-0.05	0.16	0.01	1.00							
Salinidad Fondo (SF)	0.20	-0.08	-0.24	0.23	1.00						
Oxígeno (O)	0.33	-0.41	-0.29	0.04	-0.34	1.00					
Fluorescencia (F)	-0.27	0.09	0.33	-0.25	-0.59	0.06	1.00				
Profundidad (P)	0.19	-0.01	-0.24	0.73	0.48	-0.10	-0.55	1.00			
Turbidez (T)	-0.37	0.41	0.34	0.29	0.08	-0.05	0.04	0.04	1.00		
Salinidad Superficial (SS)	0.11	-0.01	-0.14	0.22	0.79	-0.05	-0.74	0.42	0.18	1.00	
Vel_K=1	0.29	-0.18	-0.31	0.35	0.30	-0.03	-0.29	0.73	-0.19	0.26	1.00

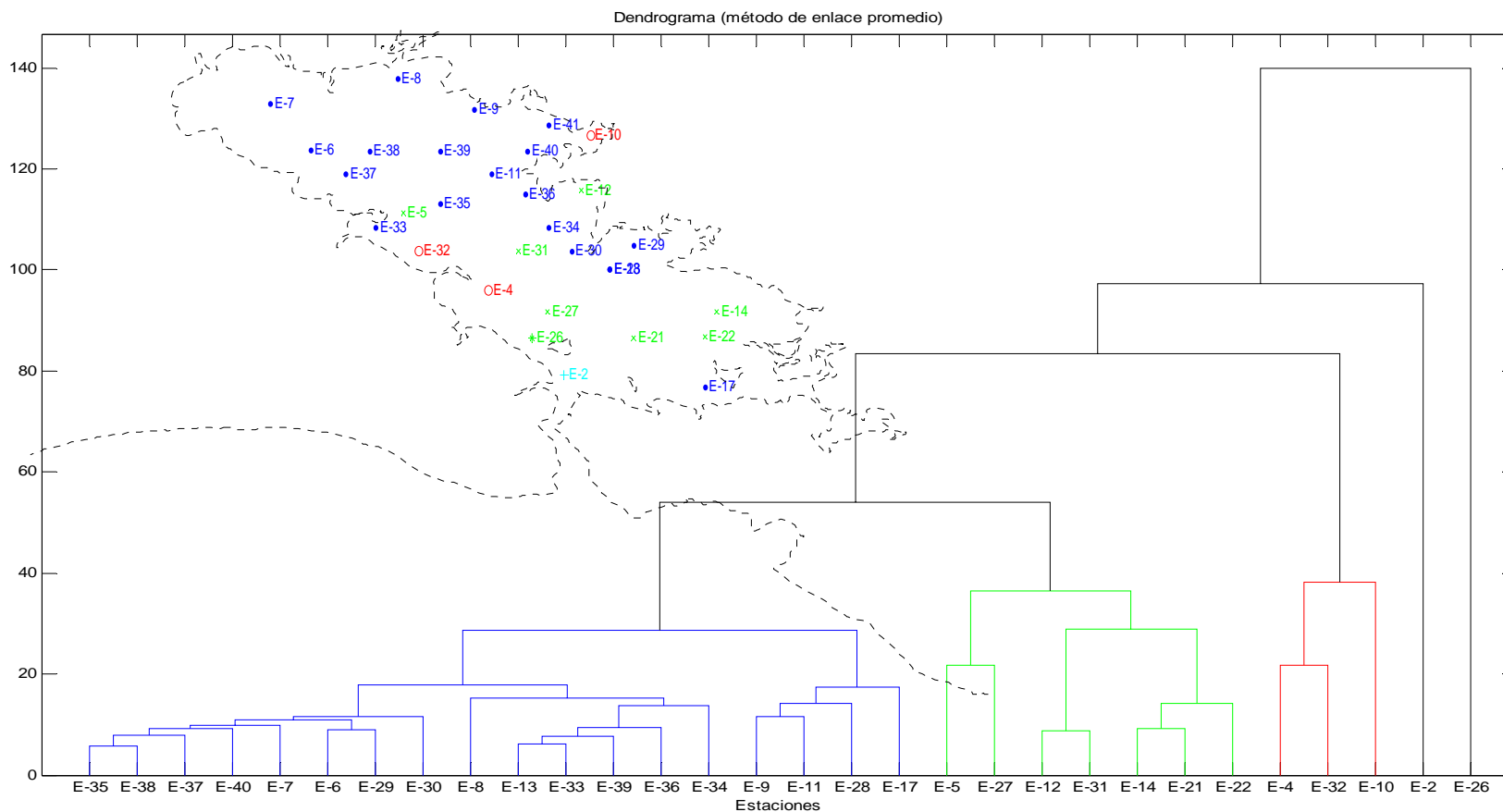


Fig. 7. Análisis de clúster representando las principales provincias de sedimentos en la bahía de Cienfuegos en cuanto a sus características granulométricas y el contenido de ^{210}Pb .

Ouillon, S., Douillet, P., Petrenko, A., Neveux, J., Dupouy, C., Froidefond, J.M, Andréfouët S. & Muñoz-Caravaca, A. (2008). Optical algorithms at satellite wavelengths for total suspended matter in tropical coastal waters. *Sensors* 8(7), 4165-4185.

Pfützner, J., Brunskill, G. & Zagorski, I. (2004). ^{137}Cs and excess ^{210}Pb deposition patterns in estuarine and marine sediment in the central region of the Great Barrier Reef Lagoon, north-eastern Australia. *Radioactivity* 76:81-102.

Seisdedo Losa, M. & Muñoz Caravaca, A. (2004). Influencia de la estacionalidad en el comportamiento físico químico de las aguas de la bahía de Cienfuegos. *Rev. Cub. Invest. Pesq.* No. 1. Edición especial.

Trauth, M.H. (2006). *MATLAB® Recipes for Earth Sciences*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

Valdés, G. & Olivera Acosta, J. (1995). Consideraciones radiométricas de la potencialidad uranífera en la región Escambray. *Reporte de Investigación*, CIEN, La Habana, pp. 4-95.

Valdés, G. & Olivera Acosta, J., (1997). Niveles de radiactividad natural anómala en diferentes regiones de la República de Cuba. *Memories First International Symposium on Nuclear and Related Techniques in Agriculture, Industry, Health and Environment*, La Habana.

Recibido: 27 de agosto del 2009

Aceptado: 30 de marzo del 2010