

Flujo Cronológico de Metales en sedimentos y la Sedimentación en la Bahía de Bluefields, Nicaragua.

Víctor Martínez¹, Katherine Vammen¹, J.A. Sanchez-Cabeza², C. Alonso-Hernández³ y A. Quejido-Cabezas⁴

¹Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua, Nicaragua. victor.martinez@cira-unan.edu.ni; kvammen@cira-unan.edu.ni

²Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, 45210 Ciudad de México, D.F., México. jasanchez@cmarl.unam.mx

³Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos, Carretera a Castillo de Jagua Km 1.5, 59350 Cienfuegos, Cuba. carlosalonsohernandez1965@gmail.com

⁴División de Química, Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT), Madrid, España. alberto.quejido@ciemat.es

Resumen.

La Bahía de Bluefields es una laguna costera con una superficie de aproximadamente 10.400 km² en el Mar Caribe de Nicaragua; la cual funciona como un puerto bien protegido y tiene actualmente problemas de sedimentación para mantener la actividad de transporte. Con el fin de evaluar los cambios en la sedimentación y los niveles de contaminación al comparar las profundidades de la Bahía y el grado de contaminación a inicios de los años sesenta, uno de los nueve núcleos de sedimentos muestreados fue seleccionado, porque presentaba las condiciones necesarias para fecharlo, esto con la finalidad de caracterizarlo geoquímicamente, para la determinación de la actividad de radionúclidos, tales como ²¹⁰Pb, ²²⁶Ra, ¹³⁷Cs en los perfiles y la distribución paralela de elementos mayores y metales trazas y la sedimentación en las secciones de sedimentos. Las Tasas de Acumulación de Sedimentos (TAS) y de Acumulación de Masa muestran un incremento desde la década de los años 60 debido a la intensificación de la erosión en la cuenca causado por cambios en el uso del suelo, acompañados por la deforestación, el aumento de la población de Bluefields y un aumento de eventos naturales como huracanes que causan una mayor vulnerabilidad de los suelos. Es importante reducir la sedimentación con planes de manejo en la zona litoral de la "Bahía" y en la cuenca de los ríos afluentes.

Palabras claves: Mar Caribe de Nicaragua, Tasa de Acumulación de Sedimentos, geocronología con ²¹⁰Pb, flujo de metales.

Introducción.

La zona de estudio, Bahía de Bluefields es una laguna costera situada en el Mar Caribe de Nicaragua; funcionando como un puerto bien protegido, ubicada en la costa noroeste de la laguna.

Hay una serie de tributarios cortos que desembocan en la bahía y el tributario más grande, es el Río Escondido aporta un gran volumen de agua dulce y sedimentos en suspensión (11 641 millones de metros cúbicos de sedimentos anualmente) según PARH (1996), la cuenca de este río es la décima más grande de Centroamérica con una superficie de 11 517 km² y recibe una precipitación anual de 2 722 mm.

La laguna tiene un historial de graves problemas debido a la sedimentación, ya que ha sido sometida al impacto de los ríos que desembocan de las cuencas hidrográficas cada vez más sometidas a los cambios de usos del suelo y al escurrimiento superficial, acompañado de la deforestación acelerada. La zona litoral de la Bahía ha sido influenciada debido al incremento en la actividad económica de una población en constante crecimiento de la ciudad de Bluefields (de 8 113 habitantes en 1910 a 47 347; INEC (2009). La laguna también recibe contaminación principalmente de la descarga de desechos líquidos y sólidos de la población de Bluefields y otras actividades en las cuencas circundantes (CIMAB, 1994; Dumailo, 2003).

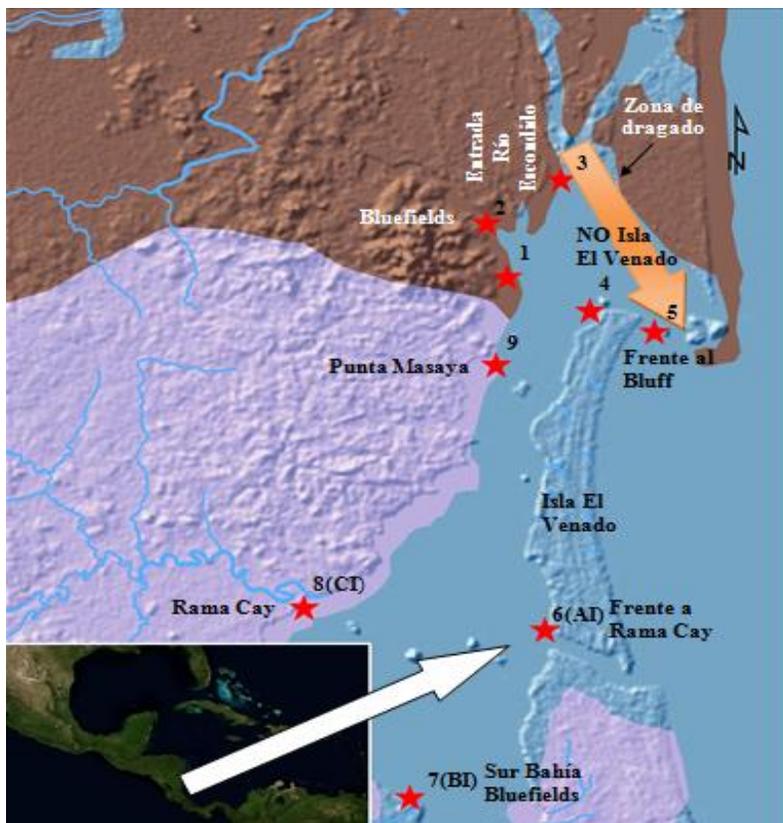
La Bahía de Bluefields y las cuencas adyacentes han sido fuertemente afectados por la ocurrencia de eventos climáticos extremos, tales como huracanes y tormentas tropicales: Camille, 1969; Davis, 1979; Allen, 1980; Gilbert y Juana, en octubre de 1988; Mitch en 1998; Beta y Stan en 2005; y Félix en 2007, donde aproximadamente 500 000 ha de la cuenca fueron destruidas por estos fenómenos naturales. Todos estos factores han provocado un incremento de la sedimentación en la Bahía de Bluefields, reduciendo el volumen de la laguna, determinado por la sedimentación en este estudio para comprender mejor este proceso y poner así en riesgo las actividades de transporte, la biodiversidad de los organismos del agua, la calidad del agua y por supuesto esto influiría fuertemente en las actividades económicas y sociales que se desarrollan en la zona. La aplicación del fechamiento con ²¹⁰Pb es un instrumento utilizado para la evaluación de los procesos de sedimentación. La columna de sedimentos puede ser utilizado como un registro integral de las tendencias de los cambios que ocurren en los cuerpos de agua en períodos específicos de tiempo, los cuales, tienen información histórica valiosa sobre las características ambientales en el momento de su formación y las modificaciones resultantes de las actividades antropogénicas en la cuenca. Por eso, se consideró necesario llevar a cabo una evaluación a priori de las características de los núcleos de sedimentos antes de realizar el proceso de datación utilizando técnicas nucleares (²¹⁰Pb) paralelamente con la determinación de metales pesados (Valette-Silver, 1993). La reconstrucción histórica de los cambios en las Tasas de Acumulación de Sedimentos (TAS) y de Tasas de Acumulación de Masas (TAM), son variables derivadas de la geocronología con ²¹⁰Pb en los núcleos sedimentarios para generar información sobre los procesos de acumulación de sedimentos en el tiempo.

Se evidencia también, que los elementos determinados en el núcleo IA no representan niveles tóxicos de acuerdo con los valores PEL establecidos.

Materiales y Métodos.

La Bahía de Bluefields, tiene una forma alargada con una orientación norte-sur; la superficie es de 176 km², con una longitud total de 30 km y un ancho que varía de 3 a 8 km. La profundidad promedio es de 1 metro, con una profundidad máxima en el lóbulo norte, que se encuentra en la zona donde se dragó un canal para facilitar el transporte del río Escondido a la isla de Bluff, ubicada en la entrada del puerto. Las costas tienen vegetación predominantemente de manglares e internamente bosques perennes. Los suelos de los alrededores de la costa son lavados y ricos en caolinita y óxidos de hierro y aluminio. La precipitación anual en la bahía es de 4 500 mm y la temporada de lluvias es de nueve meses, de mayo a enero. La temperatura atmosférica anual es de 27°C, la cual varía inversamente a la precipitación. La dirección del viento es predominantemente de noroeste a este y alcanza velocidades máximas de 70 m.s⁻¹ que causan un fuerte oleaje en la zona exterior de la laguna, moviéndose en la misma dirección del viento se alcanzan olas de hasta 6 metros de altura; la misma fuerza del viento hace que las olas de menor altura en el interior de la bahía produzcan una agitación constante y la mezcla de los sedimentos. Mencionando las siguientes cuencas que drenan a la Bahía de Bluefields; la cuenca 61, del Río Escondido y la cuenca 63, entre el Río Escondido y Río Punta Gorda.

De nueve sitios evaluados en la bahía (Figura 1), un núcleo se seleccionó para el estudio (AI), de



acuerdo a las recomendaciones del Manual del Proyecto Regional RLA/7/012 / OIEA, (2009); entre las cuales se mencionan las siguientes: 1) el muestreo debe realizarse preferentemente en la estación seca; 2) seleccionar los sitios con sedimentos finos; 3) elegir los sitios con las tasas de sedimentación entre 0,3 y 1,0 cm.año⁻¹; 4) excluir los sitios que tienen antecedentes de dragado, 5) sitios con altas densidades de organismos bentónicos que podrían causar bioturbaciones en los núcleos, 6) sitios donde se practica la pesca con redes de arrastre y 7) áreas donde es frecuente la navegación impulsada por pértigas en la parte inferior.

Figura 1. Sitios de muestreo en la Bahía de Bluefields (Núcleo seleccionado, AI se indica con una flecha blanca)

El núcleo de sedimento seleccionado, Frente a la comunidad de Rama Cay (Figura 1) de 48 centímetros fue captado el 29 de mayo del 2008 en el lóbulo sur de la Bahía de Bluefields, frente

a Rama Cay con las siguientes coordenadas; Latitud (N) 1314817; Longitud (E) 201112 y con una profundidad de 1,5 m.

El núcleo de sedimento se seccionó centímetro a centímetro y la actividad del ^{210}Pb se determinó utilizando un Espectrómetro Gamma de bajo fondo en el Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos, Cuba, CEAC y un Espectrómetro Alfa en el Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua (CIRA/UNAN) para la determinación del Pb-210. El proceso de fechamiento se llevó a cabo por medio de la determinación de ^{210}Pb en exceso en el perfil de sedimento AI, partiendo de la ley de desintegración radiactiva. La tasa de acumulación de sedimentos y el flujo de ^{210}Pb debe ser constante y no debería ser una redistribución del exceso de ^{210}Pb en el núcleo de sedimento con el fin de obtener un perfil de sedimentos distribuido de manera exponencial. Este proceso utiliza el modelo de flujo constante (FC), también conocido como Tasa de Aporte Constante de ^{210}Pb (CRS, por sus siglas en inglés) Goldberg, (1963).

Paralelo a esto, se llevó a cabo la caracterización geoquímica para complementar los análisis de metales pesados y oligoelementos (Si, Fe, Al, Zn, V, Cu, Cr, Pb, Ni y Hg) analizados por cada sección de los sedimentos con la finalidad de determinar el flujo de los mismos Barri, (1995). La determinación de los metales pesados y trazas se realiza para compararlos con los valores Límite de Exposición Permitido (PEL, por sus siglas en inglés), el cual se define como la cantidad máxima o concentración de un contaminante, la cual puede afectar la vida acuática de un cuerpo de agua del Consejo Canadiense de Ministros del Ambiente CCME, (1999).

Utilizando las tasas de acumulación de sedimentos y las concentraciones de cada elemento es posible evaluar los cambios en el tiempo del flujo de cada metal traza (Figura 9). Para el cálculo del flujo para cada metal se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Flujo}_i^M (g.cm^{-2}.año^{-1}) = \text{concentración}_i^M \times \text{Tasa de Acumulación}_i$$

M es un metal o elemento; i es la concentración en cada sección o profundidad.

La caracterización geoquímica incluyó el tamaño de grano por DRX, el Carbono Orgánico (CO) y Nitrógeno Total (NT) por Analizador Elemental de CO y NT; y metales elementales y traza por FRX en los laboratorios de la División de Química, Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT) en Madrid, España.

También se determinó la Tasa de Acumulación de Masa (TAM) y la Tasa de Acumulación de Sedimentos Acumulación (TAS) del perfil AI obtenido a partir del Modelo de Flujo Constante (FC) a partir de la distribución de la actividad de ^{210}Pb y ^{226}Ra .

Resultados.

Caracterización Geoquímica.

El tamaño del grano del núcleo AI indicó que el perfil era bastante homogéneo y dominado por limos, que estuvo entre el 81 y el 86 % en el segmento entre 2 y 24 cm (figura 2). La fracción de limo aumentó ligeramente a partir de los 25 cm hasta la parte inferior del perfil. La fracción de arcilla fue baja (de 4,2 a 19 %) y no se detectó la fracción de arena.

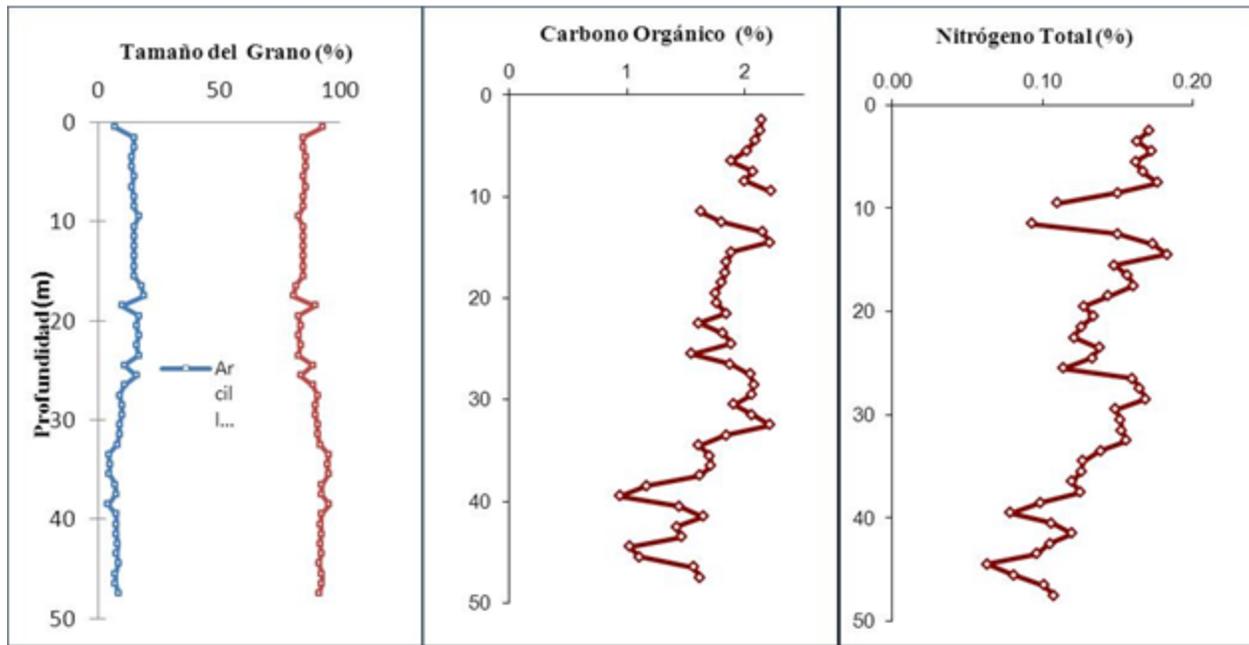


Figura 2. Fracciones del tamaño de grano, Carbono Orgánico y Nitrógeno Total en el perfil de sedimento AI en la Bahía de Bluefields, Nicaragua.

Radiocronología.

La interpretación de los perfiles de los radionúclidos y la geoquímica de los sedimentos son básicos para aplicar el fechamiento y son determinantes en la explicación de los cambios en el proceso sedimentario. Se encontró que la actividad del ^{210}Pb tenía una distribución irregular en el núcleo sedimentario, que podría estar relacionado con un registro sedimentario variable, probablemente debido al incremento de la sedimentación por acontecimientos extremos Appleby, (1994). El ^{226}Ra muestra una distribución homogénea en todo el perfil de sedimento, equivalente al ^{210}Pb base o sea natural, diferente al depositado atmosféricamente. La actividad de ^{137}Cs fue relativamente baja y por tanto, la validación del fechamiento con ^{210}Pb no fue posible para este estudio, porque no se logró encontrar una correlación real de las actividades de ambos isótopos. El ^{137}Cs presentó valores detectables después de los 37.5 cm de profundidad, aumentando la actividad hasta los 33 cm; después de esta profundidad, los valores de ^{137}Cs no cambiaron significativamente hasta la superficie (Figura 3).

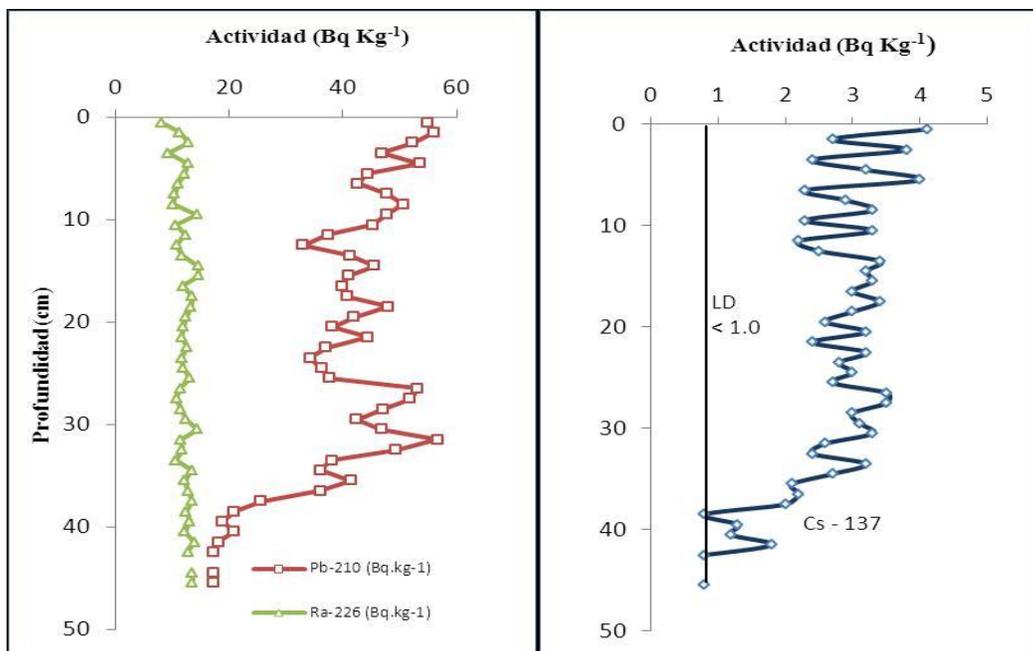


Figura 3. Actividades de ²¹⁰Pb, ²²⁶Ra y ¹³⁷Cs en las secciones del núcleo AI.

Distribución Elemental.

Elementos Mayores.

La distribución de algunos elementos mayoritarios (Si, Fe y Al) es homogénea con ligeras variaciones por debajo de los 35 cm (Figura 4). Las concentraciones de Si son superiores al promedio de los sedimentos costeros reportados por R. Dietz *et al.* (2000).

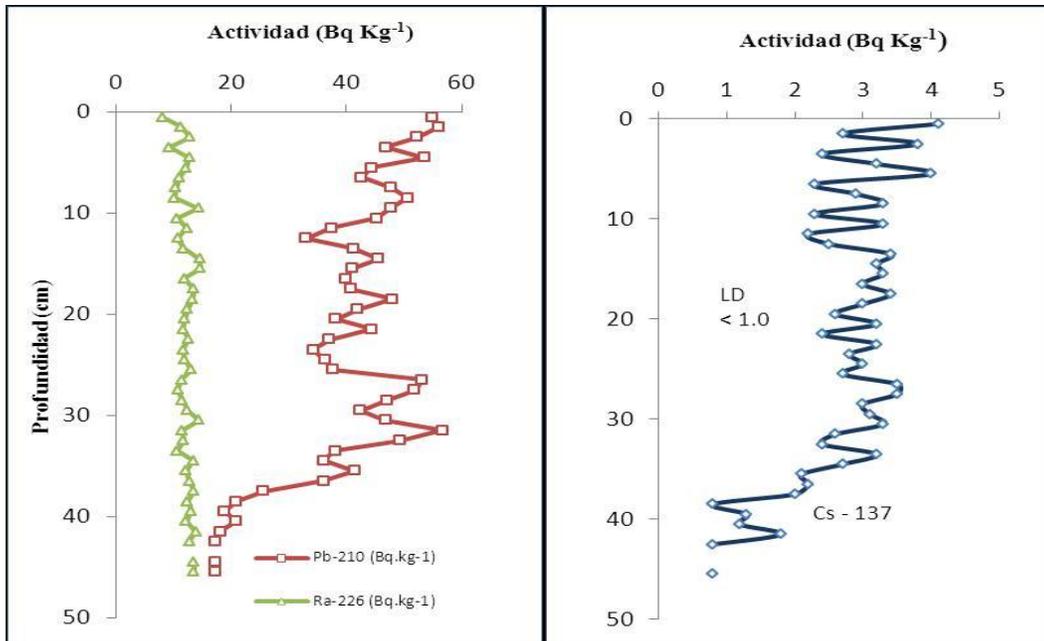


Figura 4. Distribución de Fe, Si y Al en el núcleo AI.

Metales traza.

En términos generales, los elementos traza exhiben una distribución homogénea de los 38 cm hacia arriba (Figura 5). Por debajo de esta profundidad hay variaciones significativas, las cuales pueden observarse para todos los elementos analizados. La concentración de todos los elementos está en el mismo nivel como los que existen en la corteza terrestre R. Dietz *et al.* (2000). Sin embargo, hubo una tendencia del aumento de las concentraciones en algunos elementos, tales como el plomo, mercurio y níquel que provienen de la corteza terrestre.

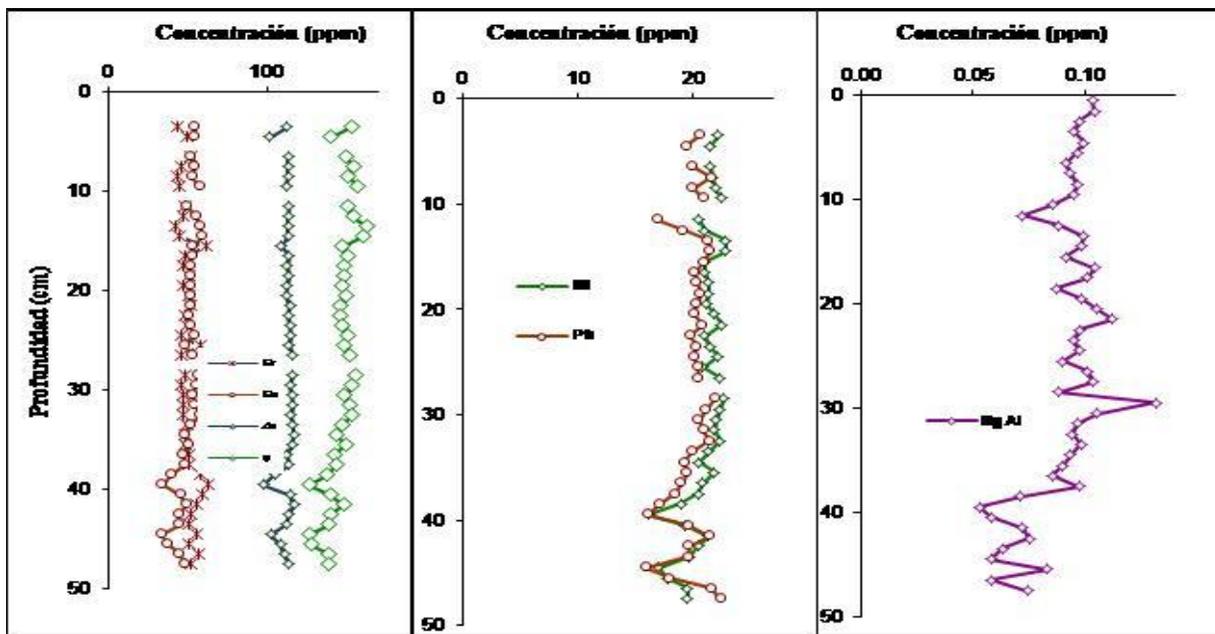


Figura 5. Distribución de Zn, V, Cu, Cr, Pb, Ni y Hg en el perfil AI.

Acumulación de sedimentos.

La figura 6 muestra la Tasa de Acumulación de Masa (TAM) y la Tasa de Acumulación de Sedimentos (TAS) del perfil AI usando el Modelo de Flujo Constante (FC) a partir de la distribución de la actividad de ^{210}Pb y ^{226}Ra . Los resultados muestran un aumento en los procesos de acumulación de sedimentos desde la década de los 60s, por actividades antrópicas como deforestación, incendio de bosques, incremento de la frontera agrícola, aumento de la población de Bluefields (Figura 7); fenómenos naturales como huracanes, tormentas tropicales, etc.

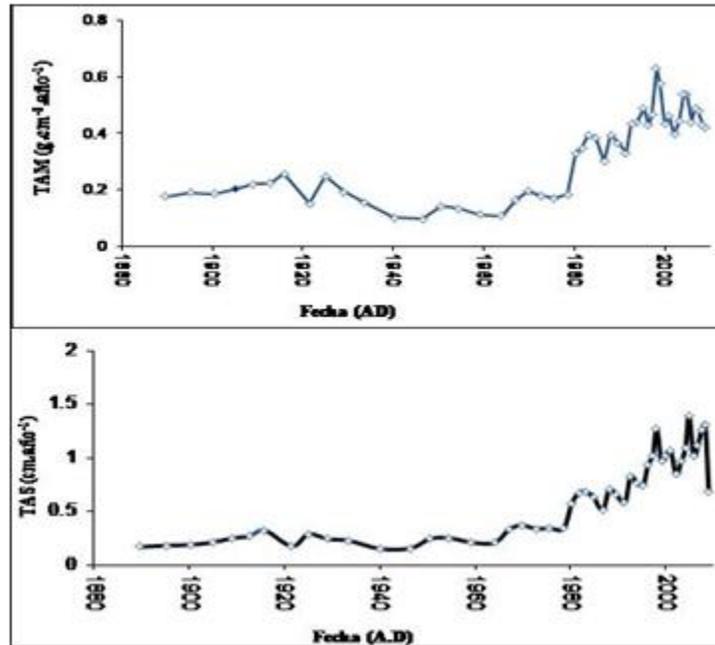


Figura 6. Tasa de Acumulación de Masa (TAM) y Tasa de Acumulación de Sedimentos (TAS).

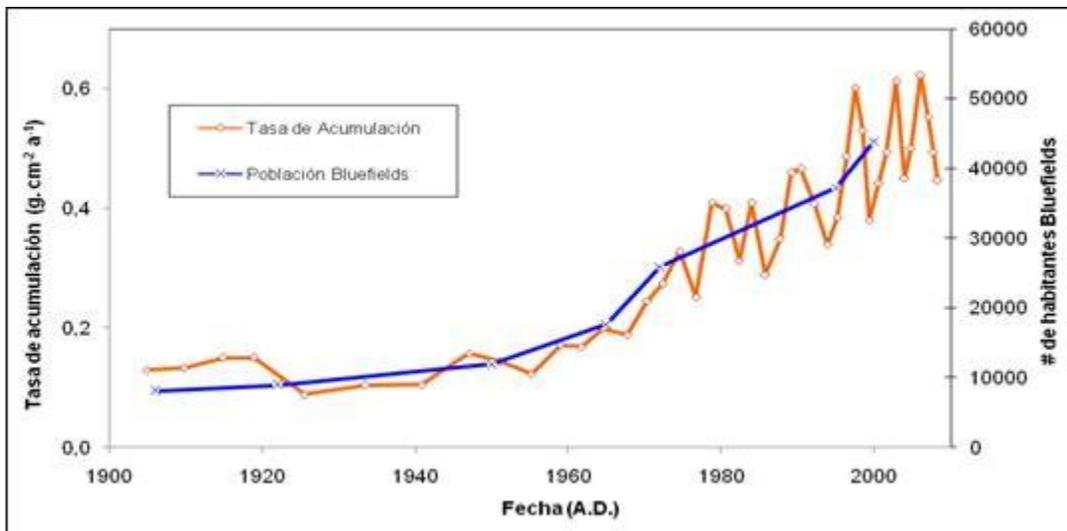


Figura 7. Incremento de la sedimentación (TAM) en relación con el crecimiento de la población de Bluefields.

Por otro lado, la Costa Caribe de Nicaragua se ha visto afectada a partir de 1982 por un incremento de los fenómenos meteorológicos extremos, como las tormentas y huracanes tropicales, Alleta en 1982, Juana en 1988, Mitch en 1998, Beta-Stan en 2005, Félix en 2007, etc. Esto también ha provocado un aumento de las tasas de acumulación, debido a la intensificación de los procesos erosivos que resultan de la mayor vulnerabilidad de los suelos provocados después de estos eventos extremos (figura 8). Efectos de eventos extremos sobre la velocidad de sedimentación, ya que la deforestación produce mayor erosión y por tanto, mayor transporte de este material a la Bahía de Bluefields (INETER, 1998).

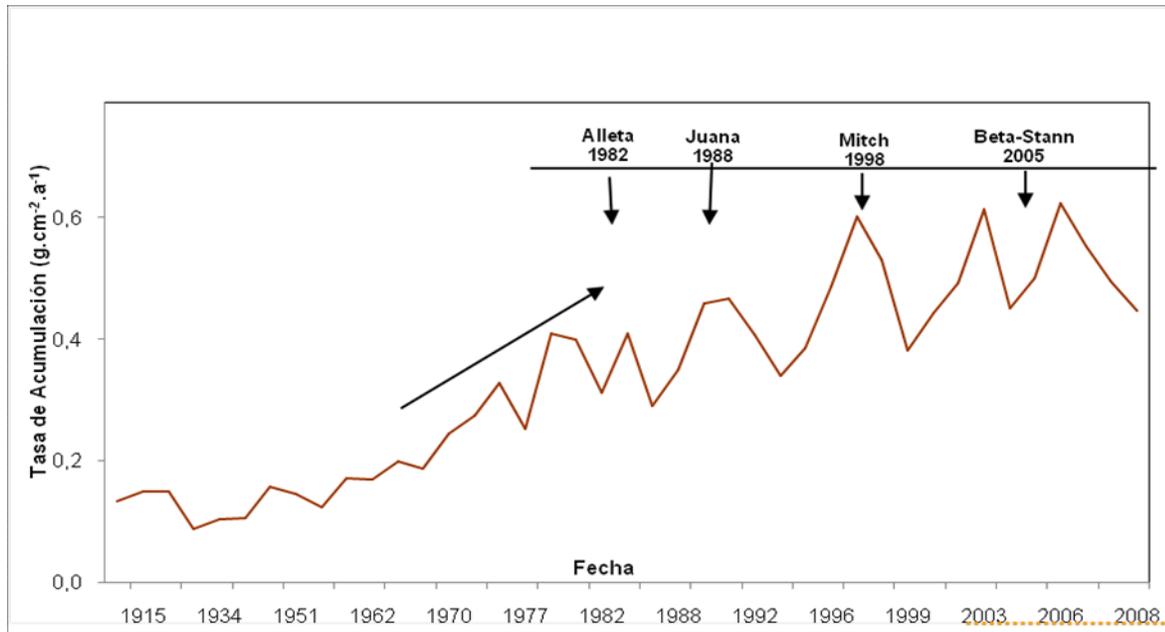


Figura 8. Cambios en la Tasa de Acumulación de Sedimentos por efecto de la ocurrencia de eventos extremos.

Debido a las características geomorfológicas y los procesos naturales ocurridos en los ecosistemas de esta zona, es indispensable establecer medidas para reducir la erosión en las zonas del litoral de la bahía y en las cuencas de los alrededores con el fin de reducir las tasas de sedimentación actuales. De lo contrario, habrá un aumento continuo en el futuro (Axelsson, El-Daoushy, 1989) que afectaría las condiciones naturales del ecosistema y el futuro uso del suelo, ya que un mal uso del suelo provoca altas tasas de erosión y esto repercute en las altas concentraciones de sedimentación. Los cambios en el uso del suelo en la cuenca, de los cuales aproximadamente el 85 % de la cuenca del Río Escondido ha sido deforestada en las últimas 5 décadas, está dedicado a pastos (MAGFOR, 2006). Esto se refleja en las Tasas de Acumulación de Sedimentos en la Bahía de Bluefields.

Flujo de metales trazas.

Los resultados de los flujos de metales trazas de manera cronológica encontradas en el perfil de sedimentos AI se muestran en la figura 9, aunque sus niveles no indican contaminación.

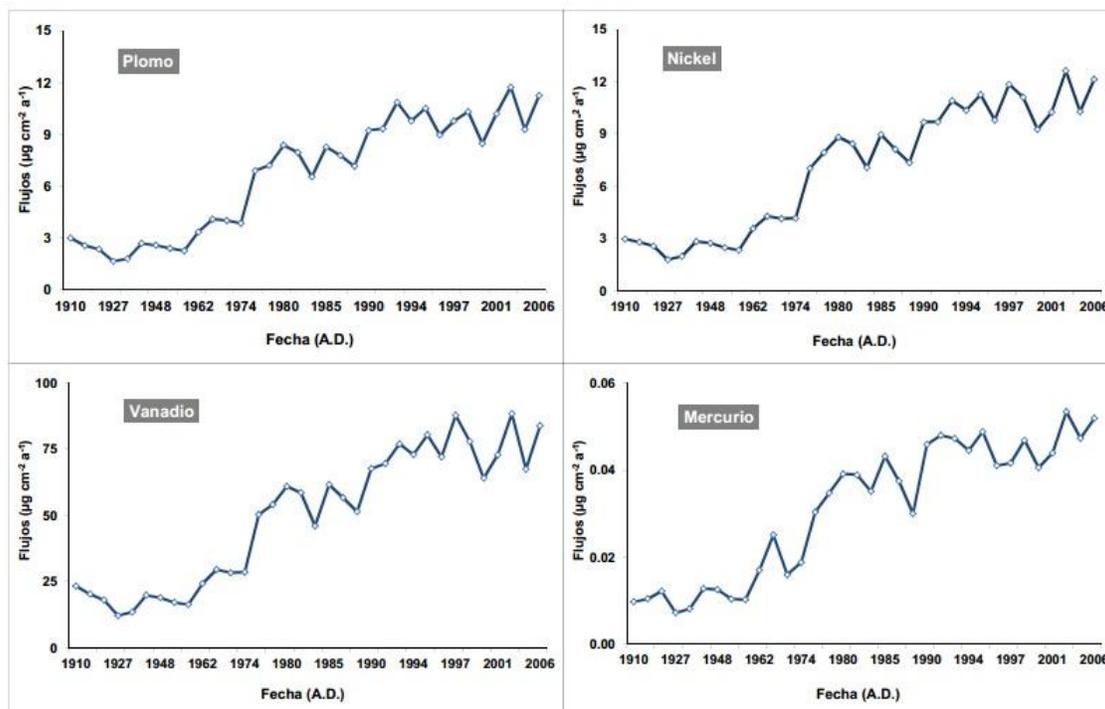


Figura 9. Flujos de contaminantes inorgánicos.

Toxicidad de los sedimentos.

Se encontraron que los rangos de las concentraciones de todos los elementos analizados; los elementos mayoritarios y los elementos trazas, fueron menores que los Límite de Exposición Permitido (PEL, por sus siglas en inglés), del Consejo Canadiense de Ministros del Ambiente. CCME, (2002) para la categoría vida acuática. La Tabla 1 muestra el rango de los elementos trazas encontradas en el núcleo AI y la comparación con los valores PEL, que se han establecido hasta este momento.

Tabla 1. Rango de las concentraciones de algunos metales trazas evaluados en comparación a los Límites de Exposición Permitido (PEL) para elementos traza. Consejo Canadiense de Ministros del Ambiente, CCME, (2002).

Metal	Concentración		PEL ($\mu\text{g g}^{-1}$)
	($\mu\text{g g}^{-1}$)		
	Mínimo	Máximo	
Mercurio	0.05	0.13	0,70
Arsénico	5	13	41.6
Cromo	43.1	63.2	160
Cobre	33.8	59.4	108
Plomo	15.9	22.4	112
Zinc	97.6	117.3	271
Níquel	16.1	22.8	47

Discusión.

Caracterización Geoquímica.

El tipo de textura granulométrica de este perfil de sedimento es bastante favorable para los estudios de reconstrucción histórica con ^{210}Pb ; ya que la mayoría de los contaminantes tienden a asociarse con las partículas finas (Edgington y Robbins, 1975), encontrándose un promedio del 11,6 % de arcilla y un 88,4 % de limo; estos resultados son semejantes a los reportados por Svetlana Dumaño en 2003 (S. Dumaño, 2003). El Carbono Orgánico (CO) y Nitrógeno Total (NT) disminuyeron con la profundidad, lo cual fundamenta las bajas actividades de los isotopos determinados (PB-210, Ra-226 y Cs-137). Según la figura 2 los resultados de CO estuvieron en el rango comprendido entre el 0,942 % y el 2,219 %; justificándose por la textura del perfil de sedimento, arcillo-limoso; cuyas partículas por tener tendencia a poseer cargas negativas asociadas atraen materia orgánica. El NT osciló entre el 0,183 % y el 0,063 % a lo largo del perfil de sedimento, de la superficie hacía el fondo; estos valores bajos son propios de sitios con niveles ínfimos de contaminación por materia orgánica, esto en comparación con resultados encontrados en la Bahía de la Habana, Cuba (Díaz, Misael, *et al.*, 2011). La existencia de cambios en la degradación de la materia orgánica con la profundidad indica la ocurrencia de condiciones de sedimentación diferentes en el tiempo.

Radiocronología.

La actividad del Ra-226 fue casi constante en toda la columna de sedimento con un promedio de 12,2 Bq/kg, considerándose este valor como el Pb-210 base semejante al valor determinado analíticamente de este radionúclido; 17,2 Bq/kg. En el sitio de estudio se observa una acumulación de $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ en los sedimentos, requisito imprescindible para la aplicación de los modelos de fechado. La distribución de ^{210}Pb en los primeros 11 cm del perfil es casi similar, con valores máximos en la superficie y una disminución continua con la profundidad, resultado que demuestra que el proceso sedimentario reciente es similar. Sin embargo, esta disminución con la profundidad no tiene una distribución exponencial, típica de un proceso sedimentario inestable. La distribución de ^{137}Cs muestra valores no detectables por debajo de los 39 cm, posible marcador temporal del año 1952, inicio de las deposiciones radiactivas globales en nuestra zona geográfica.

Con los resultados de los radionúclidos; Ra-226, Pb-210 y Cs-137 se obtuvo un fechamiento con una longitud temporal de 114 años, una resolución temporal promedio de 2 años en los primeros 31 centímetros y 4 años en los centímetros restantes hasta los 47 centímetros.

Distribución Elemental.

Elementos Mayores.

Los principales elementos mayoritarios analizados en este estudio fueron el Al, Fe y Si; tanto el Al como el Fe tuvieron una distribución propia de este sistema costero. Sin embargo, se encontró que las concentraciones de Si son superiores al promedio de los sedimentos costeros reportados

por R. Dietz *et al.* (2000), por ser la zona superficial en donde mayor concentración de materia orgánica a la cual se adhiere con mayor facilidad.

Metales traza.

Para caracterizar el origen de los metales trazas se utiliza el Factor de Enriquecimiento (FE), según los resultados los contaminantes se clasifican en dos grupos; natural o antropogénico. El cálculo se basa en la relación entre el nivel de enriquecimiento de determinados elementos en la atmósfera y su comparación con los elementos más abundantes en la corteza terrestre, como Al, Si, Fe o Ca (Mulhbaier Dasch y Wolff, 1989); en este estudio se utilizó Al para la normalización, lo que se explica en la figura sobre los Flujos de los Contaminantes Inorgánicos. La aplicación del FE facilita la comparación del nivel de enriquecimiento entre los sitios en el mismo ecosistema o diferentes sitios, para hacer comparaciones entre los diferentes contaminantes, para identificar la influencia de determinados grupos sobre los orígenes de contaminación y para monitorear las tendencias de la contaminación con el tiempo. El cálculo del Factor de Enriquecimiento de los elementos traza en el segmento de 3 a 48 cm da un valor próximo a 1, indicando una procedencia natural; valores mucho menores a 1 indican una procedencia marina.

Acumulación de sedimentos.

Eventos extremos frecuentes en la región han provocado un aumento en la Tasa Acumulación de Masa hasta $0,6 \text{ g.cm}^{-2}.\text{a}^{-1}$ (corresponde a la fecha de ocurrencia del huracán Mitch, a finales de 1998) y la Tasa de Acumulación de Sedimentos aumento en la cuenca cuatro veces más después de 1990, en comparación con el inicio del siglo XX, lo que posiblemente fue debido al efecto del huracán Juana en 1988 (figura 6). El incremento en este período también se relaciona con el crecimiento de la población (figura 7) como consecuencia de la actividad económica social acelerada en la bahía de Bluefields Dumailo, (2003), esto determinado por medio del fechamiento del perfil de sedimento Al. La tasa de acumulación de sedimentos en la Bahía de Bluefields aumentó cuatro veces en los últimos 50 años al compararla con resultados encontrados por INETER (1998) y el CIMAB (1996, 2008).

Flujo de metales trazas.

Aunque los elementos trazas no muestran cambios significativos de concentración, el aumento en la acumulación de sedimentos causa un aumento en el flujo de los elementos en los sedimentos (figura 9). No obstante, la mayor parte probablemente es de origen natural, la entrada total de estos metales a la Bahía ha aumentado considerablemente desde 1960.

Toxicidad de los sedimentos.

Con el fin de evaluar, si los sedimentos tienen metales presentes a niveles tóxicos, las concentraciones encontradas fueron comparadas con los Límite de Exposición Permitido (PEL, por sus siglas en inglés) las cuales fueron desarrolladas por el Consejo Canadiense de Ministros del Medio Ambiente CCME, (2002), como guías empíricas de calidad de sedimentos para proteger la vida acuática, utilizando una base de datos toxicológicas referentes a ambientes de agua dulce, marinos y de estuarios.

Los resultados de metales detectados en el perfil de sedimento (Hg, As, Cr, Cu, Pb, Zn y Ni) mostraron valores muy por debajo de los Límite de Exposición Permitido (PEL), lo que no implica niveles tóxicos, es decir, sin contaminación en el sitio de estudio (Tabla 1).

Conclusiones.

Eventos extremos de lluvias intensas conocidos por ser frecuentes en esta región ha aumentado la vulnerabilidad de los suelos, provocando un incremento de la erosión en las zonas litorales y de los tributarios de las cuencas circundantes, lo que ha causado un aumento en las Tasas de Acumulación de Masas.

Los elementos mayoritarios y las concentraciones de los elementos traza metálicos no representan niveles tóxicos en el perfil de sedimento AI.

No se observó aumento de la concentración de contaminantes inorgánicos en los últimos 100 años.

Los cambios en el uso del suelo han sido incididos por el crecimiento demográfico y el aumento de la actividad económica y social que ha repercutido en procesos de deforestación causando erosión más intensiva, desde las áreas que drenan a la bahía, los cuales a la vez han provocado un aumento de sedimentos en este ecosistema.

Agradecimientos.

Se agradece la colaboración del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) por el financiamiento al Proyecto Regional RLA/70/12/; a Joan Albert Sánchez Cabeza del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la Universidad Nacional Autónoma de México por sus orientaciones para la redacción del informe final de este Proyecto; a Carlos Alonso-Hernández del Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos, Cuba por el apoyo en el fechamiento de los perfiles de sedimento; a Alberto Quejido de la División de Química, Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT), Madrid, España por su apoyo en las determinaciones analíticas de los metales trazas y al personal del CIRA/UNAN involucrado en este estudio.

Literatura citada.

- Appleby, P., (1994). The ^{210}Pb dating methodology, with emphasis on problems and solutions.
- Axelsson, V., El-Daoushy., (1989). Sedimentation in the Edsviken bay studied by the X-ray and the Pb-210 methods. *Geografiska Annale* 71A.
- Barri, P.M., (1995). Introducción a la datación de sediments marins mitjançant la técnica del ^{210}Pb . *Treball de Recerca*.
- CCME – Canadian Council of Ministers of the Environment, (2002). Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life: Summary Table, in Canadian Environmental Quality Guidelines. 1999, Winnipeg, Manitoba.
- Centro de Ingeniería y Manejo Ambiental de Bahía y Costas (CIMAB, Cuba), (1996). Proyecto Regional PNUMA CAR/UCR FP/CR/JA/CP/5101-90-05 (2949). Planificación y Manejo Ambiental de Bahías y Áreas Costeras Fuertemente Contaminadas del Gran Caribe

- Centro de Ingeniería y Manejo Ambiental de Bahía y Costas (CIMAB) – Centro para la Investigación de los Recursos Acuáticos de Nicaragua (CIRA/UNAN). (2008). Programa de Monitoreo de la Bahía de Bluefields, RAAS, Nicaragua. Proyecto Regional: Regional Network in Marine Science and Technology for the Caribbean: The Know – Why Network. Cuba, La Habana – Managua, Nicaragua. Estudio de Caso: Laguna de Bluefields, Nicaragua. Bases para la Formulación de un Plan de Manejo Ambiental.
- (CIMAB, 1994;).Díaz, Misael A. *et al.* ,(2011). Reconstrucción de los procesos de sedimentación y contaminación de la bahía de La Habana en los últimos cien años, utilizando técnicas nucleares. Proyecto RLA/7/012/ - PRN30203
- Dumailo S. (2003). Evaluación de la problemática ambiental por medio del estudio de algunos aspectos de sedimentación y contaminación en la laguna de Bluefields, RAAS, Nicaragua. Tesis de la Maestría Regional Centroamericana en Ciencias del Agua.
- Edgington, D. and Robbins, J. (1975). Determination of the Activity of Lead-210 in Sediments and Soils.<http://www.epa.gov/glnpo/lmmb/methods/lead-210.pdf>. (MarcadorDePosición2).
- Goldberg E.D. (1963). Geochronology with ²¹⁰Pb, In: Radioactive Dating. Proceedings of a Symposium, International Atomic Energy Agency, Vienna., 121-131.
- IAEA, (2009). Manual del Proyecto Regional RLA/7/012/. Aplicación de técnicas nucleares en la solución de problemas específicos del manejo integrados de zonas costeras en el Gran Caribe.
- INETER, (1998). Las lluvias del siglo en Nicaragua. Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales. Managua. P.159.
- J. Mulhbaier Dasch y G. T. Wolff, (1989). Water, Air and Soil Pollution, 43 – 401.
- MAGFOR, (2006).Mapas de Uso de Suelo en Nicaragua, Ministerio Agropecuario y Forestal de Nicaragua.
- PARH-Plan de Acción de los Recursos Hídricos en Nicaragua. (1996). (MarcadorDePosición1) Área Focal Cuenca del Río Escondido RAAS – Chontales. Comisión Nacional de los Recursos Hídricos República de Nicaragua y Gobierno de Dinamarca Ministerio del Exterior (DANIDA). Nicaragua.
- R. Dietz, F. Riget, M. Cleemann, A. Aarkrog, P. Johansen and J. C. Hansen, (2000). Comparison of contaminants from different trophic levels and ecosystems. The Science of the Total Environment 245 (2000) 221 -231).
- Valette-Silver N., (1993). The use of sediment cores to reconstruct historical trends in contamination of estuarine and coastal sediments. Estuaries 16:577-588.