Nivel de Contaminación y Distribución Espacial de Metales Pesados en Sedimentos Superficiales de Bahía Damas, Isla Coiba.

Diana Araúz
Centro Internacional de Investigación y Desarrollo Científico Experimental, e-mail: dnrz51@gmail.com;
Ana Luisa García
Universidad Tecnológica de Panamá; e-mail:.alga14pa@yahoo.com
Félix Rodríguez
Instituto de Investigaciones Tropicales Smithsonian; e-mail: felixantonio68@yahoo.com
Manuel F. Zarate
Planeta Panamá Consultores S.A. e-mail: mzarate@planetaconsultores.net

Resumen – *Se determinaron los metales pesados (Cr, Cu, Cd y Pb) en sedimentos superficiales de Bahía Damas en Isla Coiba para establecer los niveles de línea base y de contaminación. Las muestras se colectaron en 4 estaciones de muestreo en periodo seco y lluvioso durante 2009-2010, fueron tamizadas para obtener la fracción inferior a 63 µm, digeridas con una mezcla de ácidos HNO_3: HCl (1:1) v/v en un digestor de microondas IO Analytical 7925 y se analiza el contenido de metales pesados en un ICP-OES Spectro Ciros CCD. Las concentraciones medias de metales pesados en los sedimentos del área de estudio oscilaron: Cr (88,32 a 94,63 µg/g), Cd (1,84 -3,53 µg/g), Cu (41,47- 48, 7µg/g) y Pb (1,09 - 3,80 µg/g), siendo la distribución de estos metales gradual y estacional, reflejando un incremento de la concentración hacia la parte de mar afuera en periodo seco e intermedio. Mientras, que y en el periodo lluvioso es inverso, la cual está fuertemente influenciada por la climatología y la hidrodinámica local. La estimación del nivel de contaminación por medio del Índice de Geoacumulación, que permite valorar el grado de afectación que presenta el ecosistema marino, indica una contaminación moderada por Cd, clase 3 por efectos antropogénicos.*

Palabras clave- Contaminación, distribución espacial, hidrodinámica, índice de geoacumulación, metales pesados, sedimentos superficiales.

Abstract – *The heavy metals Cr, Cd, Cu and Pb were determined to establish baseline levels and contamination in surface sediments of the Damas Bay in the Coiba Island. Analyzed samples sediment corresponds to 4 stations established during dry and rainy seasons in 2009-2010 years. Only the fine fraction in the sediments, less than 63 µm, was analyzed. The sediments were digested by acid mixture HNO_3: HCl (1:1) v/v in a microwave digester IO Analytical 7925 and the metals were determined using ICP-OES Spectro Ciros CCD. The middle concentrations of heavy metals in the sediments ranged Cr (88,32 - 94,63 µg/g), Cd (1,84 -3,53 µg/g), Cu (41,47- 48, 7µg/g) y Pb (1,09 - 3,80 µg/g)and the distribution of these metals gradual and seasonally, reflecting an increase in concentration towards the offshore sea in dry, intermediate period and in the rainy it is reverse, the distribution is strongly influenced by the weather and the local hydrodynamics. The geoaccumulation index has been calculated, this index let us to evaluate the affect in the marine ecosystem and the data show a moderate level of pollution (Cd), class 3, by anthropogenic effects.*

Key-words - Contamination, geoaccumulation index, heavy metals, hydrodynamics, spatial distribution, surface sediments.

1. Introducción

Actualmente, Isla Coiba es un Parque Nacional, incorporado el 15 de julio del 2005 por el Comité de Patrimonio Mundial de la UNESCO a su lista de Sitios de Patrimonio Mundial Natural, lo que le confiere especial importancia ecológica. Regionalmente se ubica en el extremo occidental del país, dentro del Golfo de Chiriquí.

En el pasado, esta zona de gran biodiversidad, que incluye ecosistemas marinos, insulares y costeros, fue utilizada como colonia penal y de producción agrícola para el sostenimiento de la población penal y la Guardia Nacional. Igualmente fue utilizada como base militar, zona de tiro de artillería y otras armas, de acuerdo a informaciones recogidas, siendo así Bahía Damas, un centro de operaciones marítimas durante esa época.

En las zonas costeras y estuarinas, la introducción de metales se realiza principalmente a través de las aguas de los ríos, depositándose en la interface agua- sedimento, [1]. En el Río Catival, las aguas de escorrentías cursan fuertemente en los períodos de lluvia, y la hidrodinámica local junto a otras fuentes no directas, como el tráfico marítimo de diferentes tipos de embarcaciones que hacían o hacen uso de Bahía Damas como desembarcadero, son posibles

causas de que contaminantes diversos hayan llegado al mar.

No existe a nivel nacional bibliografía disponible con información suficiente sobre la distribución de metales pesados en la zona, por lo que el estudio reviste una gran importancia, debido a que estos elementos pueden ser acumulados en organismos bentónicos y podría afectar la cadena trófica en los ecosistemas marinos presentes [2].

Es sabido, que los metales ligados a los sedimentos a concentraciones suficientes ejercen efectos adversos sobre la biota residente [3], [4] y [5]. Algunos metales pesados pueden ser absorbidos en altas concentraciones por la vegetación. El mercurio, cobre, níquel, plomo, cobalto, cadmio, entre otros, son los metales que se muestran como los más tóxicos en concentraciones excesivas para las plantas superiores [6], así como para otros organismos. Esta toxicidad también puede afectar a otros niveles superiores de la cadena alimenticia, tanto por ingesta directa como por la potencial transmisión a través de la red trófica estuarina [7].

El presente trabajo forma parte del proyecto "**Evaluación y monitoreo de las condiciones ambientales y sanitarias de las aguas del Parque Nacional Coiba en el manejo de áreas de uso público**" y pretende evaluar la distribución espacial de las concentraciones de algunos metales en sedimentos superficiales de las márgenes litorales de Bahía Damas, el impacto contaminante en este ecosistema marino debido a la introducción de metales pesados, como resultado de las actividades humanas y una línea base, para futuros seguimientos de la contaminación en esta importante área.

2.Área de Estudio.

Bahía Damas es una de las principales particularidades geomorfológicas que presenta la isla de Coiba. Se encuentra circunscrita al sector costero comprendido entre Punta Clara en el extremo Norte de la Bahía (828000 N -422400E), y el extremo Norte del río San Juan ubicada en el área Sur de la Bahía (826600-421000), Figura 1. Este sector corresponde al área de influencia directa de las aguas continentales drenadas por la Cuenca Hidrográfica del río Catival y secundariamente por el río San Juan. El gradiente del fondo submarino es uniforme y suave con escasa profundidad, ya que el veril de los 5 m se extiende cerca de 1500 m mar adentro en el extremo medio, reduciéndose hacia el Norte. La composición del fondo en ese tramo está constituida principalmente por pequeños rodados. Los ecosistemas costeros presentan a su vez una cobertura boscosa de manglar, la cual se extiende desde el sector medio hacia el Sur de la Bahía.

3. Materiales y Métodos

Los sedimentos superficiales se extrajeron, en los periodos seco y lluvioso de los años 2009 y 2010 (marzo, noviembre, mayo y octubre) respectivamente. Se tomaron a profundidades no mayores de 10 m, mediante el uso de la Draga Diez Laffont, Kalisco, en 4 Estaciones georeferenciadas con el GPS Map Source 79 Sxc. La localización de los puntos de muestreo aparece en la figura 1. El sedimento se conservó en bolsas de polietileno a bajas temperaturas hasta su procesamiento y análisis en el laboratorio.

En la determinación de metales pesados se pesó 1,0 g de sedimento (previamente secado a 30°C, tamizado con una malla de 63µm y homogenizado), digeridas en presencia de HNO_3:HCl (1:1) v/v en un digestor de microondas IO Analytical 7925; el material digerido se disolvió en 15 ml de agua desionizada, se filtró al vacío en filtros de membrana de 0,2µm de tamaño de poro, se aforó a 25ml y se le analizó el contenido de metales pesados en un ICP-OES Spectro Ciros CCD. Los límites de detección de los elementos analizados fueron: Cu 0,004 mg/L, Cd 0,003 mg/L, Pb 0,015 mg/L y Cr 0,003 mg/L.

Los estudios sedimentológicos se basaron en la determinación de textura de los sedimentos con el método del hidrómetro *Bouyoucos G.J. 1962*, [8].

Para evaluar cuantitativamente la contaminación de los sedimentos marinos por metales pesados, se ha elegido el índice de Geoacumulación de MÜLLER (1979). Este índice se calcula mediante la siguiente formula:

$$\mathrm{Igeo} = \log_2\left(\frac{\mathrm{Cn}}{1{,}5\mathrm{Bn}}\right) \qquad (1)$$

Cn = concentración del metal n en el sedimento;
Bn = concentración del valor de fondo del metal;
1.5 factor de corrección de efectos litogénicos.

Los valores de fondo o “Background”, necesarios para calcular el índice de Geoacumulación, se han tomado de los dados por Turekian & Wedepohl (1961)[9], encontrados en pizarras sedimentarias y estos valores (en mg kg^{-1} peso seco) son los siguientes: Cadmio (0,22), Cromo (90), Cobre (45), plomo (20). La ecuación dada integra un factor de corrección de efectos litogénicos y de los valores de “Background” o referencias para los sedimentos. Estos valores son los correspondientes a niveles naturales de sedimentos de época preindustrial o de áreas no afectadas por vertidos antropogénicos. En la actualidad estos valores referenciales son utilizados por un gran número de países donde no se cuenta con referencias nacionales y ha permitido medir el nivel de contaminación y su impacto.

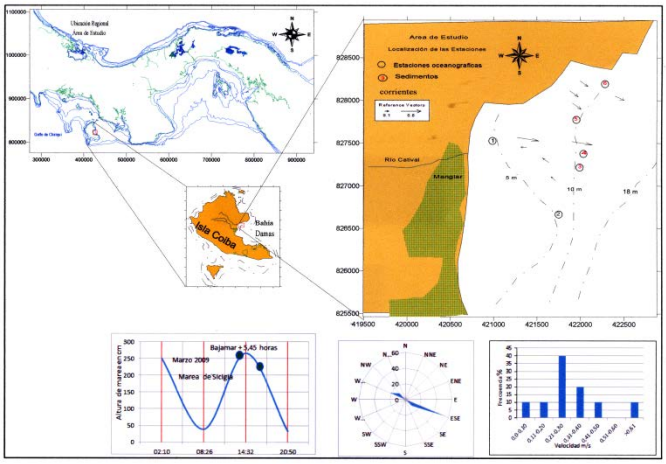


Figura 1. Área de estudio, Localización de las Estaciones y Correntometría Lagrangiana.

Mientras, la distribución espacial de las concentraciones de metales pesados se analiza con el método de interpolación “Kriging”, el cual se basa en los fundamentos de la teoría geoestadística.

El estudio de la correntometría Lagrangiana se realizó, durante la campaña del primer año, las mediciones fueron efectuadas en período de sicigia, tanto en las fases de marea llenante y vaciante respectivamente, según Tabla de Marea ACP 2009. La densidad fue calculada a partir de la temperatura y salinidad usando el algoritmo de Fofonoff y Millard (1981) [10].

La estación de aforo del río Catival se ubicó en las coordenadas 827900 N y 420378 E. La medición del caudal (Q m^3/s) se realizó en una sección transversal que sigue la matriz de un cauce regular. Se seleccionaron seis secciones del área de acuerdo a las diversas profundidades y se escogieron tres celdas de velocidad promedio de acuerdo a las isovels.

4. Resultados y Discusión

4.1.Características Físicas

La circulación general es afectada por las corrientes generadas por la marea, con sus entradas y salidas, por los aportes de las aguas superficiales y los cambios de la densidad del mar, figuras 1, 2 y 3, donde dominan los procesos de mezcla vertical, de resuspensión y transporte.

La intensidad del flujo es variable y de amplio espectro, oscila desde velocidades débiles a fuertes entre 0,10 a > 0,61 m/s, con un 40% flujos de intensidad moderada que oscilan entre 0,21-0,30 m/s. La dirección de la corriente está supeditada al estado de la marea; es decir, que en marea ascendente la corriente se dirige hacia el WNW y hacia el SE y ESE en marea vaciante.

La distribución vertical de la densidad del mar; siendo la derivada de temperatura y salinidad es un trazador general de la circulación. De éstas se puede inferir, que existen procesos de resuspensión y mezcla vertical desde los estratos del fondo hacia los estratos medio; debido a la acción de la marea, el viento y a la baja profundidad del área.

Mientras, que los aportes del río Catival guardan muchos elementos de un segmento de transición, intermedio entre el de montaña y planicie, presentando algunas curvas, velocidades de aguas moderadas y sustrato formado por grava, con arenas y algo de arcillas.

Las orillas están conformadas de cantos rodados, testigos de importantes arrastres por crecidas y de “wadis” o surcos de agua resultados de fuertes escorrentías. Es un río, que si bien nace en un área de volcanismo dominado por Rocas ígneas extrusivas (basalto, andesita, ignibrita), transcurre en su parte media por áreas de rocas sedimentarias (caliza, lutita, arenisca) y termina en una costa baja aluviónica y arenosa.

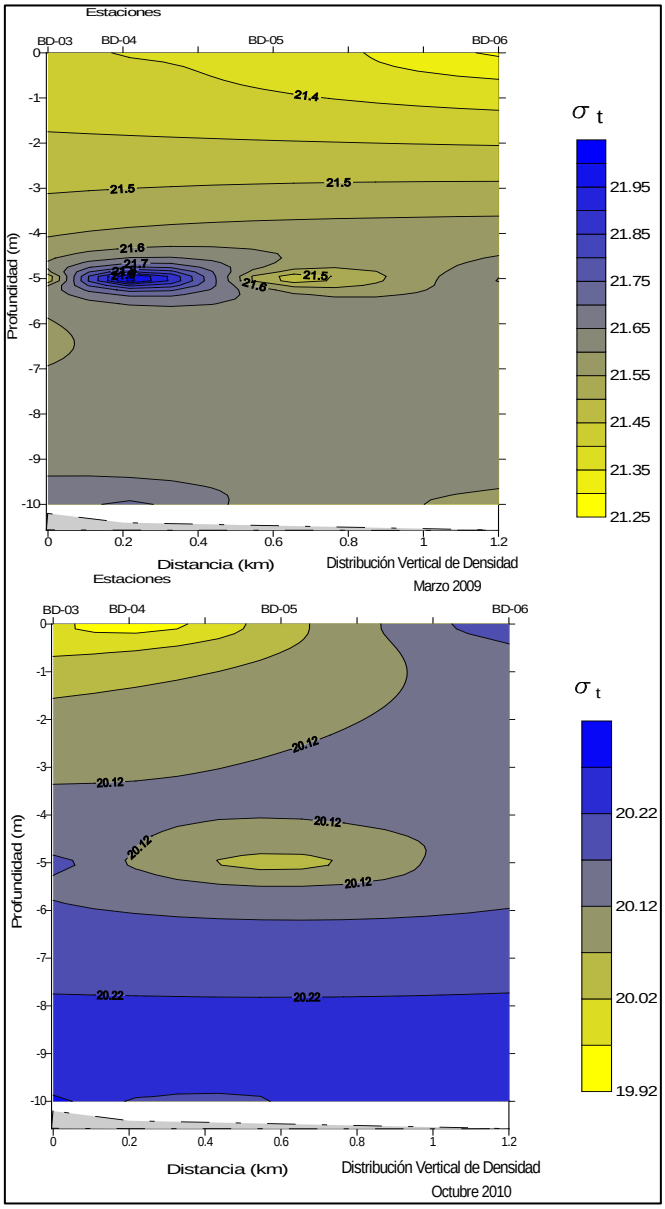


Figura 2, Distribución vertical de densidad, periodo seco y lluvioso.

El caudal encontrado en marzo de 2009 fue 0,180 m^3/s, un caudal que se puede calificar de *mínimo* del año. Para esta época y visto el tipo de horizontes de suelo, arcillosos arenosos, cubiertos de rastrojos maduros en su parte media y baja, las reservas freáticas están agotadas y los flujos hipodérmicos no funcionan. Es notable, el aumento del caudal del río con el cambio de estación. El caudal medido en la época de lluvia, noviembre 2009, fue 2,25 m^3/s. Mientras, que en mayo 2010 el aforo se encuentro *bajo los efectos de las pulsaciones de marea*, en su flujo y reflujo, el caudal medido fue de 0,72 m^3/s, y en octubre de 2010 fue de 5,38 m^3/s, siendo el mayor en los cuatro periodos de medición.

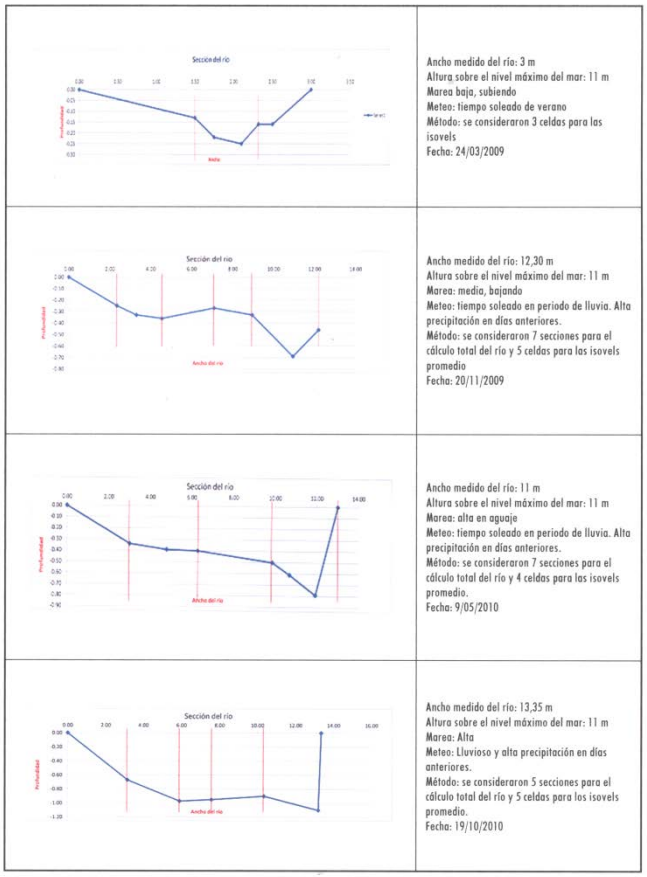


Figura 3. Aforo y determinación del caudal m^3/s durante la campaña de muestreo.

4.2. Tipo de Sedimentos

Las facies texturales de las estaciones muestreadas se han determinado en base a los porcentajes relativos de peso de arena, limo y arcilla. En general los porcentajes de sedimentos superficiales de Bahía Damas a lo largo de las estaciones de monitoreo y durante el año son variables; los resultados de los análisis texturales en las estaciones evaluadas muestran la presencia de partículas de arena, limo y arcilla, en donde la mayor composición es arena, 41,55 %, seguido de 30,76% de limo y 27,69% de arcilla. Por consiguiente; en términos de textura, los sedimentos son franco-arcillo-arenoso a arcillosa con apariencia de limo.

En todas las estaciones evaluadas el predominio de la arena está por encima del 25% (ver tabla1) con la excepción de la estación BD-03 en octubre 2010; donde los porcentajes relativos de limo y arcilla aumentan.

Tabla1. Característica textural (%) de los sedimentos superficiales Bahía Damas.

Estación	Periodo	Tipo de Sedimento	% Humedad	% arena	% limo	%arcilla
BD-03	Mar'09	Franco	41,7	27,0	45,9	27,1
	Nov'09	Franco-arciloso-arenoso	44,3	**58,9**	15,7	25,4
	May'010	Franco-arcilloso	45,8	25,9	37,8	36,3
	Oct'010	Arcilla con pariencia de limo	43,6	12,8	**47,6**	**39.6**
BD-04	Mar'09	Franco-arciloso-arenoso	35,8	**51,2**	26,7	22,2
	Nov'09	Franco-arciloso-arenoso	36,6	**54,0**	23,8	22,2
	May'010	Franco-Arcilloso-Arenoso	36,5	**64,0**	10,7	25,3
	Oct'010	Franco	42,5	41,1	33,7	25,2
BD-05	Mar'09	Franco-arciloso-arenoso	25,9	**72,2**	3,5	24,3
	Nov'09	Franco-arciloso-arenoso	33,0	**59,3**	16,7	24
	May'010	Franco	31,6	36,1	38,6	25,3
	Oct'010	Franco	42,3	40,7	32	27,4
BD-06	Mar'09	Franco-arciloso-arenoso	39,5	32,2	34,9	32,9
	Nov'09	Franco	44,4	34,0	38,9	27,1
	May'010	Franco-Arcilloso	47,3	26,9	45,2	28
	Oct'010	Franco Arcilloso	25,9	28,6	40,5	30,8
Min			25,9	12,8	3,5	22,2
Max			45,8	**72,2**	**47,6**	**39.6**
Promedio			39,6	41,6	30,8	27,7

La característica textural observada está relacionada a los procesos dinámicos erosivos y de arrastres de corto y largo plazo del río. A lo largo del eje longitudinal de este, presenta vestigios de fuertes escorrentías y formaciones de cantos rodados y otros materiales pétreos; así como limos y arcilla que llegan al mar; donde la acción constante de la marea como mecanismo de transporte, resuspensión y sedimentación redistribuye el material en función de su tamaño. Un claro ejemplo de esta condición, se aprecia en la distribución vertical de la densidad del mar en octubre (sigma t), figura 2 y 3 donde los aportes del río alcanzan toda la columna de agua de la zona de estudio y modifican la densidad del mar, la cual disminuye a 19.92 en superficie y a los 5 m de profundidad.

Por lo tanto, es de esperarse que durante periodos de máxima escorrentía y la dinámica local, entrada de mareas, la composición textural varíe y haya sedimentos nuevos o recién depositados en esos estratos.

Igualmente, se observa en la misma tabla, que el contenido de agua está en relación directa con el tamaño del grano, limo-arcilla (r = 0,65-0,51), respectivamente.

4.3. Metales Pesados en el sedimento

En la tabla 2, se presentan las concentraciones medias de los metales analizados Cr, Cd, Cu, Pb en µg/g, peso seco, durante los cuatro periodos de muestreo.

Tabla 2. Concentraciones media (µg/g, peso seco) e índices de Geoacumulación de los metales.

Valor	2009 Marzo				2009 Nov			
	Cr	Cd	Cu	Pb	Cr	Cd	Cu	Pb
Ug/g media	88.32	1.84	41.47	1.09	94.05	2.41	44.67	2.24
Ígeo	-0.61	2.48	-0.7	-4.79	-0.52	2.87	-0.6	-3.75

Valor	2010 May				2010 Oct			
	Cr	Cd	Cu	Pb	Cr	Cd	Cu	Pb
Ug/g media	94.63	3.28	48.43	3.1	88.7	3.53	48.7	3.80
Ígeo	-0.51	3.31	-0.48	-3.27	-0.61	3.42	-0.47	-2.98

Se obtuvo concentraciones medias de Cr que oscilan entre 88,32 a 94,63 µg/g, correspondientes a marzo 2009 y mayo 2010, respectivamente. Los cuales se encuentran por encima del valor de 20 µg/g, para sedimentos no contaminados, [11]. En comparación a nivel de la región, estos valores son superiores a las concentraciones reportadas para la Bahía de Baja California 11,09 µg/g, [12], Bahía de Bergantín 25,17 µg/g. Mientras, que los valores registrados en Bahía Damas son similares a los reportados al este de la entrada de la Ensenada Grande del Obispo en Venezuela (80,88 µg/g de Cr), en un sedimento arenoso, [13]. Las diferentes concentraciones observadas pueden depender tanto de la actividad humana; como de la composición litogénica.

Las concentraciones de Cd reportadas presentan una tendencia de incremento durante las 4 campañas, figura 4, indicando, que hay un efecto acumulativo de este metal en el medio marino. Se detectaron valores en un rango entre 1,84 µg/g, en marzo, como el valor más bajo y 3,53 µg/g en octubre 2010; según estudios realizados en todo el mundo acerca de los niveles de cadmio en los diferentes tipos de sedimentos, la concentración de Cadmio en sedimentos superficiales no contaminados no supera el valor de 1 µg/g [11].

Estos valores son superiores y pueden estar asociados al alto contenido de limo y arcillas en el sedimento de esta zona, ya que coincide con el periodo máximo de escorrentía y la presencia de limo- arcilla, así como también a los contenidos altos de materia orgánica, [11] y[13]. Igualmente, las concentraciones reportadas para la Bahía

también pueden ser una consecuencia de las actividades humanas desarrolladas en esta zona en décadas pasadas y que mantienen estos valores durante las crecidas del río Catival, debido al arrastre de sedimentos.

En la región existió una actividad agrícola (cultivo de maíz, arroz, frutas, etc.) y ganadera, lo que supone la utilización de una elevada cantidad de pesticidas, herbicidas y abonos. Además, el Cadmio puede estar asociado a plásticos, pigmentos de pinturas y otros materiales [12]. Específicamente, Bahía Damas durante años sirvió como puerto principal para la Isla de Coiba. Actualmente, aunque menos frecuente es utilizada por Agencias de seguridad del Estado y servicios privados del sector turismo. Por otro lado, los procesos de resuspensión que presenta el sistema marino es posible que esté produciendo una contaminación recurrente, tanto en la columna de agua como en los sedimentos. Las concentraciones de Cd aquí expuestas, son similares a lugares donde el desarrollo industrial es alto.

En tanto, las concentraciones de Cu se mantienen estables durante todo el periodo de muestreo entre 41,47- 44, 67µg/g en 2009 y 48,43-48,7µg/g en 2010. Los altos valores reportados por esta investigación de acuerdo a [11], son muy superior al valor de 10 µg/g establecido para sedimentos no contaminados y extremadamente altos en comparación con la Costa de Baja california que tiene una concentración de 2,60 µg/g.

Sin embargo, pareciera ser que el alto valor reportado para Bahía Damas y por su estabilidad durante la campaña es de origen residual lo que indica, que el Cobre en este caso forma parte de la estructura reticular de los componentes minerales de los sedimentos; de no ser así, sería necesario conocer previamente el aporte litogénico para el área de estudio.

La concentración media de Plomo en los sedimentos superficiales se encontró entre un 1,09 a 3,80 µg/g. Estos valores no superan al valor de 5,00 µg/g para sedimentos no contaminados.

De este análisis comparativo con los valores reportados por Sadiq, 1992[11] para sedimentos no contaminados, se puede señalar, que a excepción de las concentraciones medias de Pb, el resto de los metales Cd, Cu, y Cr son superiores a los valores para sedimentos no contaminados, y bajo ese marco los sedimentos superficiales de Bahía Damas presentan valores medios altos en comparación a los reportados para la Costa de Baja California, [12], y otras regiones de América, advirtiendo, que hay un impacto ambiental por contaminación por metales pesados en los sedimentos marinos.

Por otro lado notamos, que todos los metales analizados tienden a incrementarse; es decir, han presentado un aumento con respecto al año anterior, lo que pone de manifiesto que hay acumulación y que existe relación con las condiciones climatológicas de la región; este supuesto se basa en que el caudal del río Catival fue mayor en octubre 2010 y que durante el periodo de lluvias los sedimentos contaminados por metales pesados por el fenómeno de resuspensión son transportados aguas abajo, conjuntamente con los sedimentos y debido a la afinidad de estos metales de asociarse con las partículas finas y materia orgánica son depositados en el mar, donde las mareas y sus procesos de turbulencia, resuspensión y mezcla vertical los mantienen en la columna de agua, los redistribuye y acumula en el fondo una vez encuentre densidad basal condición que puede variar en cada ciclo de marea y estacionalmente.

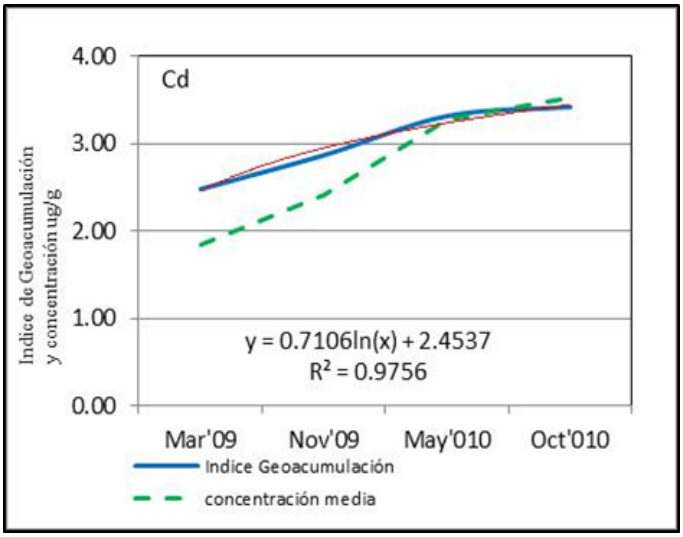
4.4.Índice de Geoacumulación.

Para evaluar cuantitativamente la contaminación en los sedimentos superficiales y el impacto ambiental por metales pesados, se ha calculado el índice de Geoacumulación. Este índice permite formar una escala de siete grados, que van desde la clase cero para sedimentos no contaminados hasta la clase 6 con valores 50 veces superiores a los de referencia, [14].

En la tabla 2, se muestran los resultados obtenidos para cada una de las estaciones o puntos muestreados. Como puede observarse, los resultados para Cr, Cu, y Pb son negativos. Estudios realizados en Manzanillo Cuba, presentaron algunas estaciones con valores negativos y según Amat, P. [15], están dados porque la concentración del elemento en ese punto es menor que el “Background” tomado de la

literatura a escala global y la posibilidad que exista una pequeña anomalía geoquímica en la zona.

Figura 4. Tendencia del Igeo y las concentraciones de Cd.



Probablemente, en los sedimentos de Bahía Damas exista la misma situación; o las concentraciones obtenidas sean de origen litogénicos y no representan contaminación por estos metales en los sedimentos de la zona. En el caso del Cd, la concentración de este elemento en las estaciones y durante el período de muestreo, figura 4, muestra un grado moderado de contaminación según este índice entre 2-3 y clase 3 y un r^2= 0,97. De las estimaciones se deduce, que los efectos ambientales por actividades antropogénicas en Coiba están vigentes y prueba de ese impacto se encuentra en los vestigios de los sedimentos marinos de Bahía Damas.

4.5.Distribución temporal y espacial de contaminantes.

Basados en los resultados del Igeo, se ha seleccionado las concentraciones de Cd, por ser el metal que refleja el impacto ambiental por actividades antropogénicas.

Los valores altos de Cd parecen estar relacionados con los mecanismos de transporte y deposición, las mareas y las descargas del río Catival, los cuales transportan concentraciones elevadas de este metal en los sedimentos, figuras 2 y 3.

Durante el período seco e intermedio, marzo y mayo, es más evidente la acción de la marea en el transporte y los procesos de resuspensión, el caudal del río es bajo y las descargas hacia el mar son escasas y reducidas.

Los niveles de Cadmio en marzo 2009 y mayo 2010 evidencian que hay un transporte en dirección a las manecillas del reloj, el ingreso es desde SE, tal y como se aprecia en la figura 5, el flujo se dirige hacia el NW formando giros convergentes por lo tanto, las mayores concentraciones (2,05-3,5µg/g) se encuentran próximas a la estación BD3 y BD4, respectivamente. La distribución es gradual en incremento hacia afuera.

Mientras, que en Noviembre, figura 6, se aprecia que las mayores concentraciones se encuentran en la BD 6, hay un ingreso desde el NE y disminuye hacia las estaciones BD3 y 4, el flujo va hacia el SSW, SE. En Octubre 2010, se observa el efecto del río en cuanto al aporte de material y contaminantes. Hay cierta relación entre la disminución de la concentración y la distancia hacia afuera de la costa, es decir, mayor concentración en las estaciones cercanas a la desembocadura del río y una disminución gradual y progresiva hacia afuera. En este mes las áreas de mayor concentración de Cd parecen estar relacionadas con las descargas del río Catival y al alto porcentaje de limo arcilla.

Por lo tanto, no existen áreas concretas donde se localicen las máximas concentraciones de metales pesados, ya que los altos valores se encuentran tanto al norte como al sur durante las fluctuaciones mareales y estacionales.

Estos resultados nos hacen suponer que el río Catival en sus periodos de máximas crecidas arrastra gran cantidad de material a lo largo de su recorrido al igual de los afluentes que vierten sus aguas en él, aportan tantos sedimentos de diversa composición y tamaño, como contaminantes, ya que atraviesa por áreas que en tiempos de Colonia Penal eran utilizadas para la agricultura y otras actividades antrópicas.

Estas consideraciones establecen, que el río Catival es la principal fuente de aporte tanto de material sedimentario y metales pesados asociados a estos.

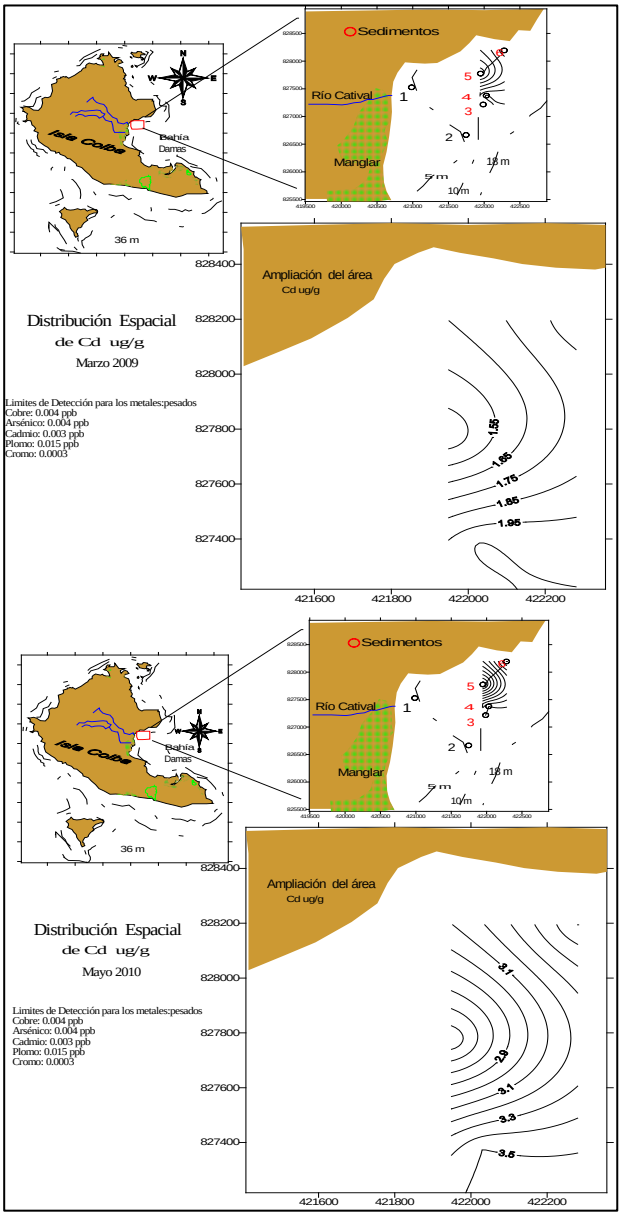


Figura 5. Distribución espacial de las concentraciones de Cd, Marzo 2009 y Mayo 2010

Por otro lado, no se puede despreciar la acción de las mareas y su rol en el transporte, resuspensión y reacomodo de los sedimentos e intrínsecamente de las concentraciones de metales pesados, ya que estos se desplazan de acuerdo a los movimientos de la corriente, variaciones en la densidad del agua y la temperatura del mar. Así lo confirman los altos valores de correlación con la densidad del mar, sigma t, r= 0.56 y temperatura del mar, r=-0.60, figura 7.

Estos resultados revelan la existencia de un fuerte proceso de transporte, debido a la intensa hidrodinámica mareal propia de este ecosistema, donde concurre una amplia oscilación mareal, con un régimen de mareas semidiurna con valores máximos absolutos de pleamares que alcanzan casi los 4 m durante las mareas vivas, así como la presencia de intensas corrientes que hace que los materiales se redistribuyan por todo el estuario.

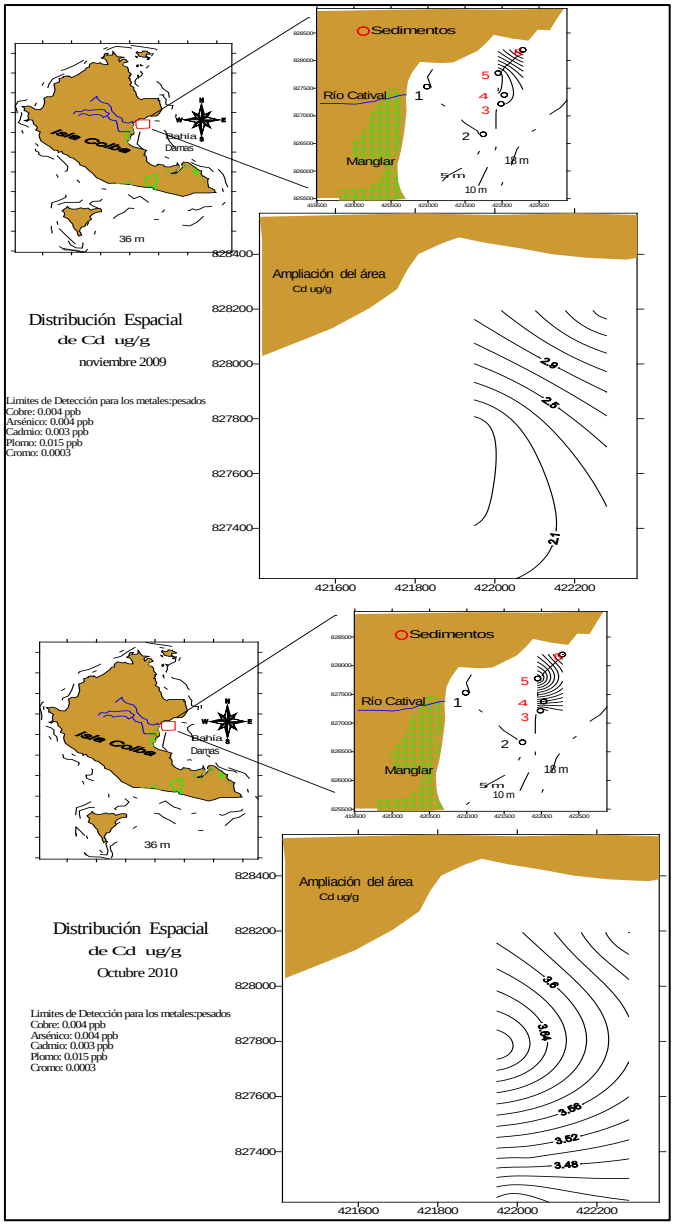


Figura 6. Distribución espacial de las concentraciones de Cd, Noviembre 2009, Octubre 2010.

Todo parece indicar, que por estas características dinámicas los sedimentos superficiales particularmente los susceptibles a hacer suspendidos mantienen un ciclo recurrente de contaminación por metales pesados, debido a

que estos materiales tienen una afinidad mayor de asociarse a las partículas finas y materia orgánica.

De este modo, dadas las altas concentraciones de metales pesados encontradas, la removilización de los sedimentos y su distribución debido a la hidrodinámica mareal, todos los organismos, independientemente de su localización en la zona de estudio podrían verse afectados por la incorporación de metales pesados al sistema.

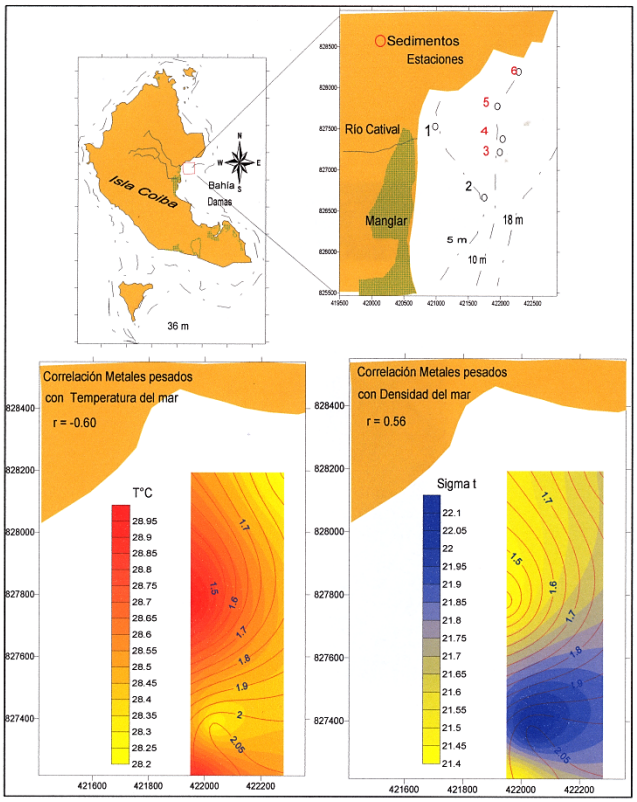


Figura 7. Concentración de Metales Pesados y su correlación con los procesos de resuspensión y transporte.

5. Conclusiones

De acuerdo con los resultados consideramos lo siguiente:

- Este trabajo pone de manifiesto un potencial y problema ambiental, debido al elevado contenido de metales pesados en los sedimentos superficiales.
- Del análisis comparativo con los valores reportados por Sadiq, 1992 para sedimentos no contaminados, a excepción de las concentraciones medias de Pb, el resto de los metales Cd, Cu, y Cr son superiores a estos valores. Igualmente los valores reportados de metales pesados en Bahía Damas son extremadamente superiores a los de la Costa de Baja california.
- El resultado del índice de Geoacumulación indicó que en Bahía Damas hay contaminación antropogenica moderada de clase 3 por Cd. Mientras, que Cu, Cr y Pb, por sus valores negativos podrían ser de origen litogénico o existir anomalía geoquímica en la zona.
- La principal fuente de aporte de contaminación por metales pesados es el Rio Catival y los procesos de resuspensión y reacomodo originados por las mareas.
- La distribución espacial del Cd en la zona está sometida a la climatología, a la acción dinámica de las mareas y a los cambios de la densidad del agua del mar.
- Las características dinámicas podrían estar influenciando en la recurrencia de contaminación por los metales pesados.
- Las fracciones de arena son las de mayores porcentajes en la composición de los sedimentos.
- En términos de textura, los sedimentos son franco-arcillo-arenoso a arcillosa con apariencia de limo.
- La característica textural observada está relacionada a los procesos dinámicos erosivos y de arrastres de corto y largo plazo del río.
- De las investigaciones futuras en este tema, los resultados dejan muy en claro que hay presencia de altos valores de metales pesados y que urge establecer las referencias naturales de los sedimentos marinos.

6. Agradecimiento

Expresamos nuestro agradecimiento a la Secretaria Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SENACYT) por haber financiado este proyecto, a las Instituciones participantes del mismo (Autoridad de los Recursos Acuáticos de Panamá, Autoridad Nacional del Ambiente, Instituto de Investigaciones Tropicales Smithsonian, Universidad de Panamá con un especial reconocimiento al Dr. Luis Cubilla por la

coordinación del Proyecto marco y a la Dra. Cecilia Guerra por el análisis crítico realizado al documento.

7. Referencias

[1]Gamboa, B. R. & J. R. Bonilla. "Distribución de Metales Pesados (Fe, Mn, Cu y Zn) en Sedimentos Superficiales de la Cuenca Tuy-Cariaco". *Bol. Inst. Oceanogr. univ. Oriente*. 1983, 22 (1-2): 103-110.

[2] Bonnevie, N.L., Huntley, S.L., Found, B.W. & Wenning, R.J. "Trace metal contamination in surficial sediments from Newark Bay, New Jersey". *The Science of the Total Environment*, 1994) 144: 1-16.

[3] Baker. R.A. "Contaminants and sediments" Vol 2. Analysis, chemistry, biology. An Arbor Science, Ann Arbor, MI, (1980),pp. 221-266.

[4] Birge, W.J., Black, J.A., Westerman, A.G. & Francis, P.C. Toxicity of sediments-associated metals to freshwater organisms: Biomonitoring procedures. En K.L. Dickson, A.W. Maki & W.A. Brungs (eds.), Fate and effects of sediment-bound chemicals in aquatic systems. Pergamon Press, New York, NY. (1987) pp. 199-219.

[5] Burgess, R.M. & Scott, K.J. The significance of in place contaminated marine sediments on the water column: Process and effects. En G.A. Burton. Sediment Toxicity Assessment. Lewis Publishers, Chelsea, MI, pp. (1992), 129-165.

[6] **Alloway, B.J.** *Heavy metals in soils.* B.J. Alloway (ed.). 2ª ed. Blackie Academic & Professional. (1995), 370 p.

[7] **Adam, P.** *Saltmarsh ecology*. Cambridge University Press. Cambridge. Gran Bretaña. (1990): 461 p.

[8] Informe Final SENACYT-
"Evaluación y monitoreo de las Condiciones Ambientales y Sanitarias de las Aguas del Parque Nacional Coiba en el Manejo de Áreas de Uso Público". Proyecto - PN Coiba 08-025, Panamá. 2012.

[9] Turekian, K. K. & Wedepohl, K. H. "Distribution of the elements in sorne major units of the earth's crust". Bull. Geol. Soc. Am. 1961, 72, 175-192.

[10] Fofonoff, P. &R. Millard 1981. Unesco 1983. Algorithms for computation of fundamental properties of seawater, Unesco Tech. Pap. in Mar. Sci.,44:1-53.

[11] Sadiq, M. Toxic Metals in Marine Environments. Marcel Dekker Inc., New York: 1992, 389 p.

[12] Gutiérrez- Galindo, F., M. Flores, V. Ortega & J. Villaescusa. "Metales Pesados en Sedimentos de la Costa Fronteriza Baja California" (México)- California (EUA). *Cienc. Mar*., 20 (1): 105-124.1994

[13] Martínez Gregorio, 2002.
"Metales pesados en sedimentos superficiales del Golfo de Cariaco", Venezuela. Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela, Univ. Oriente 41 (1&2): 83-96 (2002); 4 Figs., 4Tabs.

[14] Ramos. A. I. Legorburu, Millán E. "impacto ambiental por metales pesados en sedimentos superficiales de los estuarios exteriores de Guipuzcoa". Lurralde 13, 1990 p: 157-164 ISSN 0211-5891.

[15] Amat I. Pilar, Conde, A. Casals Blett, I., Vásquez, A .D. "Estudio de la contaminación por metales pesados en sedimentos y ostiones de la Bahía de Manzanillo, Cuba". Revista de la Sociedad Química de México, Vol. 46, Núm. 4. (2002). 357-361.