

Evaluación de la distribución espacial del contenido total y biodisponibles de metales pesados en sedimentos superficiales del Estero de Santa Rosa, Provincia de El Oro.





Imagery ©2014 DigitalGlobe, Landsat, U.S. Geological Survey
Estero de Santa Rosa tiene una longitud de 2,44 kilómetros

La zona costera es una banda de amplitud variable de interacción e intercambio entre los ecosistemas; marino y terrestre. En esta zona, se encuentran los estuarios y cuencas hidrográficas asociadas. Estas zonas se han convertido en grandes sumideros de diversas sustancias, entre las que se encuentran los metales pesados, los cuales constituyen un grupo de elementos cuya abundancia en el ambiente marino ha sido muy estudiada debido a su toxicidad (Moose *et al.*, 1993). El aporte de metales pesados al ambiente costero procede de diversas fuentes, siendo una de ellas de tipo litogénico o geoquímico a partir de los minerales que por causa de erosión ocasionada por las lluvias, entre otros, son arrastrados al agua. No obstante, actualmente la mayor concentración es de tipo antrópico, siendo estos los de mayor importancia en estudios de contaminación, ya que la introducción desmesurada de metales por la acción humana altera drásticamente el balance químico y biológico de los ecosistemas (Henrichs, 1992; Daskalakis y Connors, 1995; Tom y Wong, 1995; Alongi *et al.*, 1996; Caçador *et al.*, 1996).

Los metales pesados están presentes de forma natural en los compartimientos ambientales: suelos, aguas subterráneas y superficiales, aire y seres vivos. Sin embargo, la intervención humana ha modificado considerablemente la concentración y formas químicas de los metales en estos compartimientos (Moreno, 2003).

La presencia de metales en el ambiente marino causa preocupación a nivel mundial debido a su naturaleza tóxica y persistente, su poder de bioacumulación y su riesgo potencial para la salud humana y organismos marinos (Rainbow, 1995). Entre los metales considerados tóxicos o más riesgosos ambientalmente, están el mercurio el cadmio y el plomo (Páez, 1996). Algunos, como el cinc, el manganeso y el cobre, son necesarios para la vida a bajas concentraciones; pero en general, cuando estas aumentan en los ecosistemas, muchos organismos experimentan estrés, y disminuyen sus posibilidades de sobrevivir. (Botello *et al.*, 1996; Conder y Lanno, 2003; García *et al.*, 2004 y Gutiérrez *et al.*, 1999).

Los metales pueden ser oxidados, reducidos o acomplexados, y se debe al dinamismo de su entorno químico. La química de los metales pesados en ambientes marinos, es una manifestación de todos los equilibrios entre varios componentes, el más importante de todos es el agua de mar, seguido de los sedimentos. Las características fisicoquímicas tanto del agua como del sedimento juegan un papel importante en el contenido y comportamiento de estos elementos. (Martínez, 2002).

La captación de los metales por parte de los sedimentos, al igual que su posible liberación al medio acuático, depende de varios factores: a) propiedades de los metales, entre las que se pueden citar la solubilidad, la reactividad frente a la formación de complejos y la capacidad de adsorción; b) características de las soluciones, como por ejemplo pH, y concentración de ligandos en solución; c) características de las superficies bióticas y abióticas presentes, como porosidad y capacidad de asimilación (López y Mandado, 2002).

En general, dada la baja solubilidad de las sales de la mayoría de los metales pesados, la tendencia de los metales a unirse a la materia orgánica y la predisposición de los mismos a ser adsorbidos por distintos materiales inorgánicos, hacen que estos se almacenen, principalmente, en los sedimentos (Groot *et al.*, 1976).

Los metales pesados en sedimentos se pueden determinar por dos tipos de análisis; cuantificando la concentración total, que proporciona poca información sobre el comportamiento químico y posibles interacciones con la biota, y por la especiación o estudio de las diferentes formas químicas en las que se encuentra el metal, a través de extracciones químicas secuenciales. Esta última proporciona información acerca del origen, formas químicas, disponibilidad biológica, movilización y transporte, de estos elementos en ambientes acuáticos (Martínez *et al.*, 2002). Las diferentes especies de metales tienen un comportamiento distinto con respecto a la removilización y la biodisponibilidad.

La fracción del metal más móvil es la “adsorbida como ion intercambiable” lo que representa un riesgo de contaminación, debido a la liberación de metales a las aguas bajo condiciones naturales (Chen *et al.*, 1996). La capacidad de adsorción y liberación de los metales pesados en suelos y sedimentos, dependen fundamentalmente del pH y de las condiciones redox (Filius *et al.*, 1998).

La especiación de metales es útil para distinguir entre metales de origen litogénico y metales de origen antropogénico (Rubio *et al.*, 1991). La técnica de extracción química secuencial es aplicada extensamente en estudios medioambientales, y aunque su capacidad de separar o definir fracciones geoquímicas no es perfecta, es útil para entender el comportamiento químico y la disponibilidad biológica de los metales en los sedimentos (Förstner, 1984), debido a que permiten diferenciar entre sedimentos y suelos que presentan concentraciones de metales totales similares. Estas técnicas son fáciles de aplicar y requieren poco análisis de datos (Tessier *et al.*, 1979).

Las extracciones consisten en tratar sucesivamente el sedimento con reactivos de grado creciente de extractabilidad: agua, disoluciones salinas, ácidos débiles, agentes quelantes, reductores, oxidantes; que permiten liberar de manera gradual los metales en función de su capacidad de movilización: adsorbidos, carbonatos, óxidos de hierro-manganeso, materia orgánica, metales asociados a los minerales, liberando especies químicas en orden de movilidad y peligrosidad decreciente (Legret, 1993; López-Sánchez *et al.*, 1993; Usero *et al.*, 1997). Están basados en el ataque químico de un solvente de extracción particular, específico del modo de retención del metal. Por ejemplo, el agua extraerá formas fácilmente solubles, el ácido acético atacará y disolverá solamente los carbonatos, y el acetato de amonio ó el cloruro de magnesio a pH 7 liberará solamente los adsorbidos (D'Amore *et al.*, 2005). Una de las primeras técnicas de extracción química secuencial fue desarrollada por Tessier *et al.*, en 1979, y ha servido de base para el desarrollo de otros esquemas (Baeyens *et al.*, 2003).

El interés suscitado en las últimas décadas por la preservación del medio ambiente ha permitido constatar el escaso conocimiento que se posee sobre los procesos que gobiernan tanto la captación de metales (y elementos traza en general) por parte de los sedimentos como su liberación a los medios hídricos que se encuentran en contacto con ellos (López y Mandado, 2002). En la actualidad existe una amplia variedad de protocolos de extracción secuencial que difieren en el número de etapas de extracción, en los reactivos empleados o en las condiciones experimentales bajo las cuales se desarrollan. En algunos casos se emplean con una finalidad meramente descriptiva (determinar la especiación en determinados materiales geológicos), pero en otros se utilizan con un objetivo claramente aplicado y complementando a otras metodologías experimentales. Todo ello ha dado lugar a una situación como la actual, en la que no existe un protocolo estándar de extracción secuencial aceptado por la comunidad científica internacional.

La mayoría de estos protocolos de especiación, separan en cinco fracciones a los metales: a) Metales en forma de iones intercambiables, los cuales pueden ser fácilmente liberados de los sistemas acuáticos por pequeños cambios ambientales; b) Metales ligados a carbonatos, metales precipitados en forma de carbonatos, los cuales se liberan al descender el pH de los sedimentos; c) Metales asociados a óxidos de hierro y manganeso, los cuales pasaran al agua, cuando las condiciones del sedimento sean reductoras, estos óxidos son sustancias de alto poder de adsorción y son termodinámicamente inestables en condiciones anóxicas; d) Metales ligados a la materia orgánica, estos representan la fracción liberada cuando el sedimento esté bajo condiciones oxidantes; e) Fase residual o litogénica, que son los metales ligados a los minerales, formando parte de su estructura cristalina, la liberación de los metales en esta fase, en un periodo razonable de tiempo es ciertamente improbable. Los metales asociados a esta fase, se consideran inertes y no se encuentra disponible para los organismos vivos (Tessier *et al.*, 1979).

METALES TOTALES:

Se determinaron utilizando la técnica de Carmody *et al.* (1973) y Martínez (2002). Se pesó 1,00 g de cada una de las muestras de sedimento seco y se sometieron a una digestión con 5 mL de una mezcla de ácido nítrico, ácido clorhídrico y ácido perclórico, 3:2:1 para lograr la mineralización total de los sedimentos por tres horas. Los extractos se filtraron y se diluyeron en balones aforados con agua destilada a un volumen constante de 25 mL, para ser determinados por Absorción atómica de llama (Aire-Acetileno).

METALES BIODISPONIBLES:

Se pesó 1,00 g de cada una de las muestras de sedimento seco y se extrajeron en ácido acético 10% con agitación constante por 5 horas a temperatura ambiente. Esta fracción contiene los metales adsorbidos en la superficie de las partículas, asociados con los carbonatos y los oxihidróxidos de Fe y Mn, los cuales se encuentran biodisponibles para los organismos marinos.

Para la determinación del mercurio se utilizó el método CVAA (Cool Vapour Atomic Absorption Spectrometry), basado en la reducción de los compuestos de mercurio presentes en la muestra a metal libre, mediante la digestión de la muestra con ácido nítrico. A 5 ml del filtrado se le agregaron 5 ml de ácido nítrico al 1,5%, en envases de reacción, estos fueron llevados a las celdas de lectura en el espectrómetro de absorción atómica, donde se les añadió un volumen de Borohidruro de sodio al 3%, diluido en hidróxido de sodio al 1%; las concentraciones se determinan por altura de pico, sin llama. Este método permite la medición de las concentraciones del metal a través del desprendimiento de vapor, manteniendo las celdas a temperatura ambiente, (EPA, 1999).

Todos los procedimientos analíticos se validaron con material de referencia (MESS-1 NRC y CRM 277 BCR para metales) obteniéndose resultados coincidentes con los valores de material certificado en más de un 95%.

HISS-1, MESS-3, PACS-2

Marine Sediment Reference Materials for Trace Metals and other Constituents

The following tables show those constituents for which certified and information values have been established. Certified values are based on the results of determinations by at least two independent methods of analysis. The uncertainties represent 95% confidence limits for an individual sub-sample of 250 mg or greater. The uncertainties in the certified values of the butyltins are based on the expanded uncertainties.**

Trace Metals (milligrams per kilogram)

	HISS-1	MESS-3	PACS-2
Antimony	(0.13)*	1.02 ± 0.09	11.3 ± 2.6
Arsenic	0.801 ± 0.099	21.2 ± 1.1	26.2 ± 1.8
Beryllium	0.129 ± 0.023	2.30 ± 0.12	1.0 ± 0.2
Cadmium	0.024 ± 0.009	0.24 ± 0.01	2.11 ± 0.15
Chromium	50.0 ± 8.8†	105 ± 4	90.7 ± 4.6
Cobalt	(0.65)*	14.4 ± 2.0	11.5 ± 0.3
Copper	2.7 ± 0.37	33.3 ± 1.6	310 ± 12
Lead	3.13 ± 0.40	21.1 ± 0.7	183 ± 8
Lithium	2.83 ± 0.54	73.6 ± 5.2	32.2 ± 2.0
Manganese	65.1 ± 4.2	324 ± 12	440 ± 18
Mercury	(0.01)*	0.091 ± 0.009	3.04 ± 0.20
Molybdenum	(0.13)*	2.78 ± 0.07	5.43 ± 0.38
Nickel	2.16 ± 0.29	46.9 ± 2.2	39.5 ± 2.3
Selenium	0.050 ± 0.007	0.72 ± 0.05	0.92 ± 0.22
Silver	0.016 ± 0.002	0.18 ± 0.02	1.22 ± 0.14
Strontium	95.9 ± 11.2	129 ± 11	276 ± 30
Thallium	(0.06)*	0.90 ± 0.06	(0.6)*
Tin	(0.11)*	2.50 ± 0.52	19.8 ± 2.5
Uranium	(0.20)*	(4)*	(3.7)*
Vanadium	6.80 ± 0.78	243 ± 10	133 ± 5
Zinc	4.94 ± 0.79	159 ± 8	364 ± 23
Tributyltin (as Sn)**	---	---	0.890 ± 0.105
Dibutyltin (as Sn)**	---	---	1.047 ± 0.064
Monobutyltin (as Sn)**	---	---	(0.6)*

*information value only

† see page 3

** a separate certificate for the butyltins is available.

	Conc T. Pb (mg/Kg)	Conc T. Cd (mg/Kg)	Conc T. Cu (mg/Kg)	Conc T. Ni (mg/Kg)	Conc T. Co (mg/Kg)	Conc T. Mn (mg/Kg)	Conc T. Cr (mg/Kg)	Conc T. Zn (mg/Kg)	Conc T. Hg (mg/Kg)
Patron MESS-3	21.1 ± 0.7	0.24 ± 0.01	22.9 ± 1.6	46.9 ± 2.2	14.4 ± 2.00	324 ± 12	105 ± 4	159 ± 8	0.091 ± 0.009
Recommended Value [mg/kg]	20.625	0.025	23.65	46.25	13.825	324.25	107.975	161.7	0.1

ESTADÍSTICAS

Todos los gráficos de las isolíneas se realizaron mediante la aplicación Surfer 11, Golden Software's.

Los gráficos de barra se realizaron usando la hoja de cálculo Microsoft EXCEL 2010.

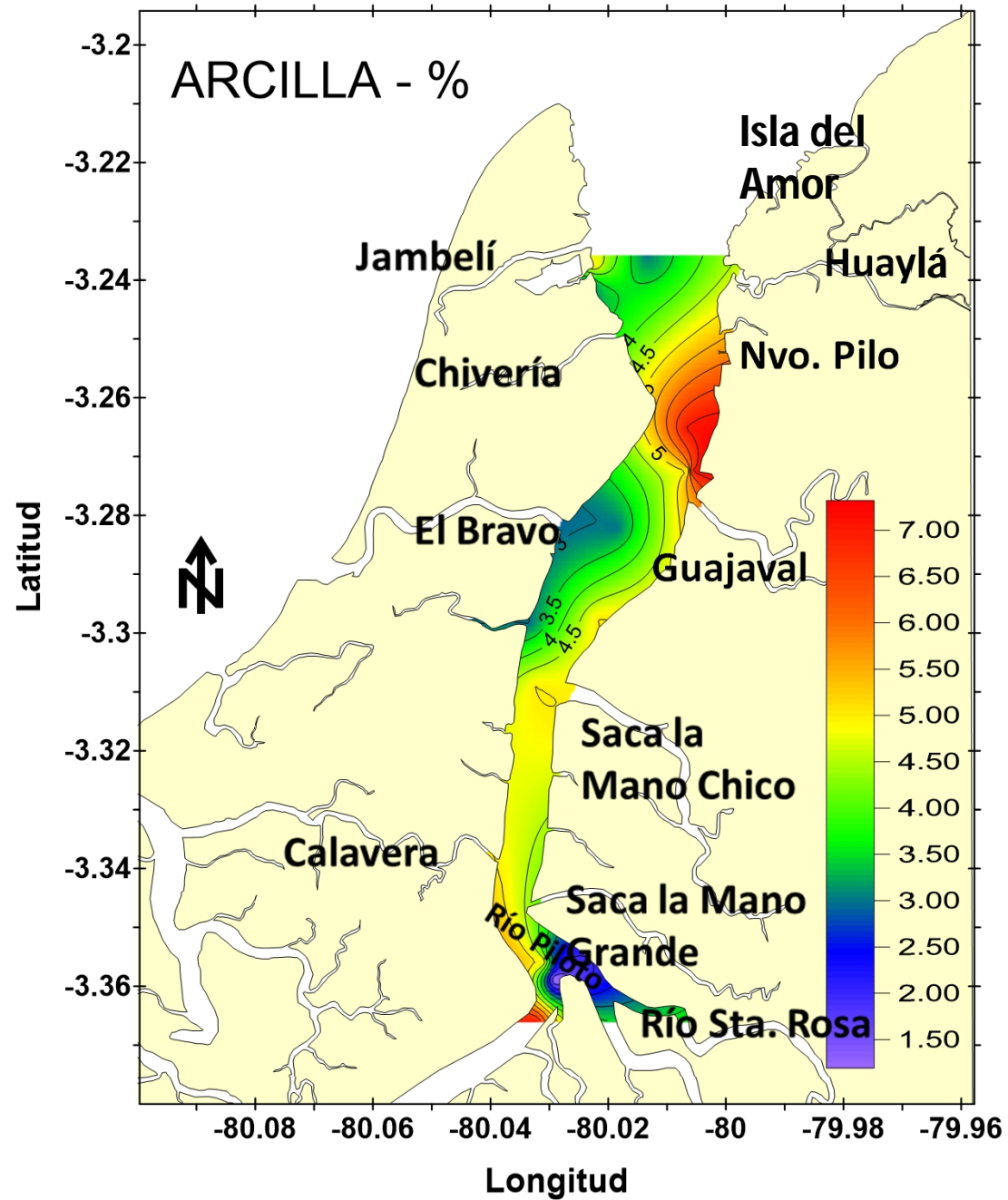
Para los análisis estadísticos se utilizó el programa SPSS Statistics 20 y la hoja de cálculo Microsoft EXCEL 2010.

Las correlaciones se realizaron con el programa estadístico Statgraphics Plus 5.1.

Estación	Coordenadas	Temperatura	Salinidad	pH	Sitio
1	S 03 16 193 W 080 00 278	24.81	30.61	8.24	Estero Santa Rosa
2	S 03 21 53.1 W 080 01 74.6	24.92	31.68	8.48	Estero Santa Rosa
3	S 03 21 25.1 W 080 01 75.8	24.60	31.68	8.01	Estero Santa Rosa
4	S 03 21 03.5 W 080 01 86.2	24.86	30.98	7.87	Estero Santa Rosa
5	S 03 20 97.8 W 080 01 93.7	24.70	31.02	7.92	Estero Sac a Mano
6	S 03 20 56.4 W 080 02 27.2	24.86	31.23	7.94	Estero Santa Rosa
7	S 03 20 32.1 W 080 02 34.1	24.94	31.03	8.32	Estero La Calavera
8	S 03 18 69.7 W 080 01 72.5	25.49	28.33	8.15	Estero Guajaval
9	S 03 18 53.0 W 080 01 99.0	24.98	31.59	8.38	Estero Guajaval Centro)
10	S 03 17 90.3 W 080 02 00.5	24.93	31.70	8.58	Estero Chivería
11	S 03 17 90.8 W 080 01 99.2	24.97	32.50	8.56	Estero Bravito
12	S 03 16 91.6 W 080 01 10.1	24.97	31.73	8.39	Estero Pilo
13	S 03 17 08.4 W 080 00 57.1	24.29	27.77	8.03	Estero Pilo (Centro)
14	S 03 16 34.3 W 080 00 37.1	25.29	31.75	8.54	Entrada Estero Huaylá
15	S 03 16 36.1 W 080 00 35.3	24.97	32.06	8.60	Frente Muelle Cultural
16	S 03 15 90.8 W 080 00 48.8	25.38	32.09	8.35	Frente a Puerto Bolivar
17	S 03 14 04.0 W 080 01 39.6	25.43	32.68	8.70	Entrada Estero Jambeli
18	S 03 14 26.1 W 080 00 00.3	25.70	24.62	8.20	Jambeli y Cocoviche
19	S 03 14 14.6 W 080 00 80.8	25.10	32.45	8.64	Isla del Amor

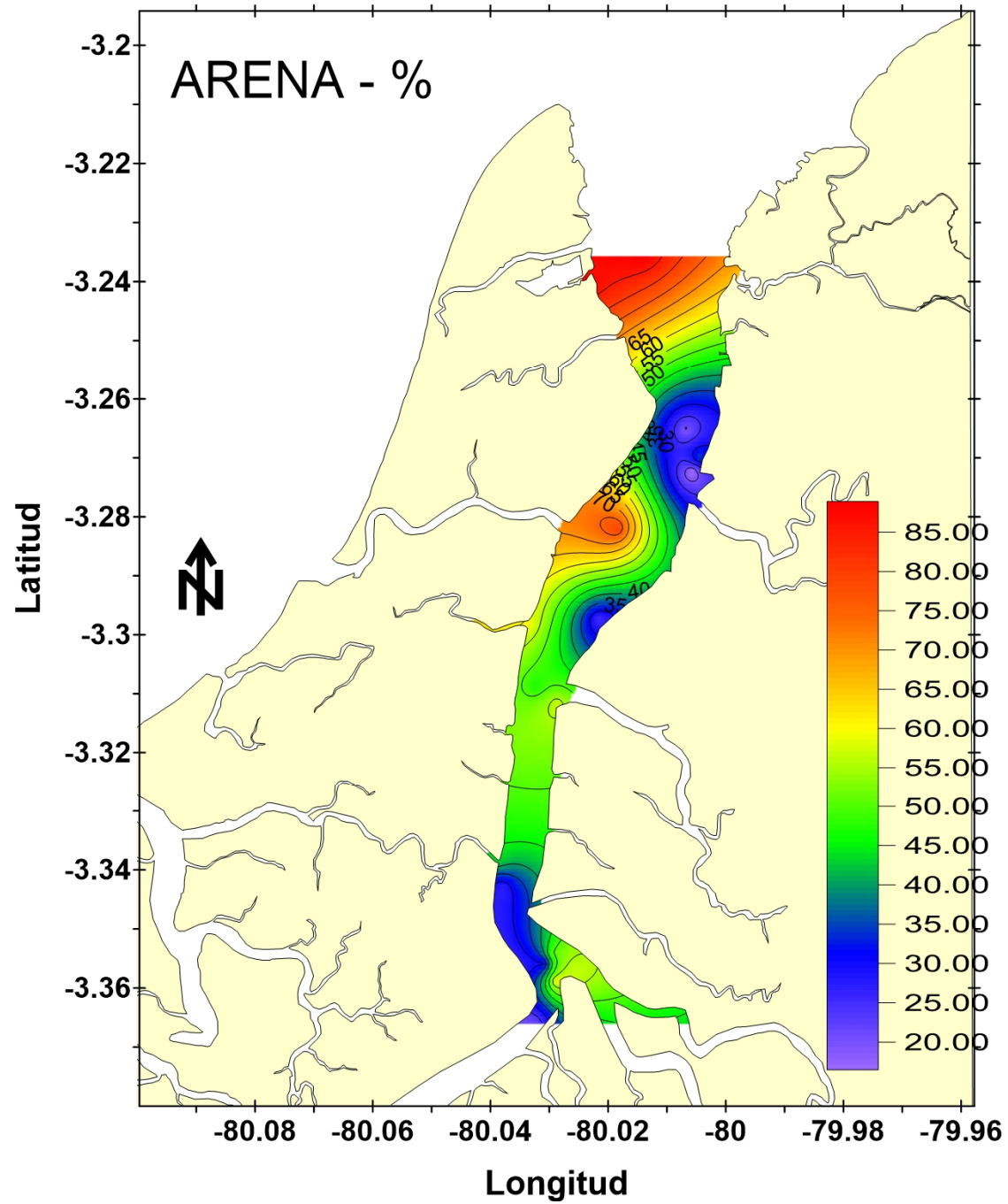
Distribución Espacial del Parámetro ARCILLA, Sedimentos

1% - 7%
4.58%



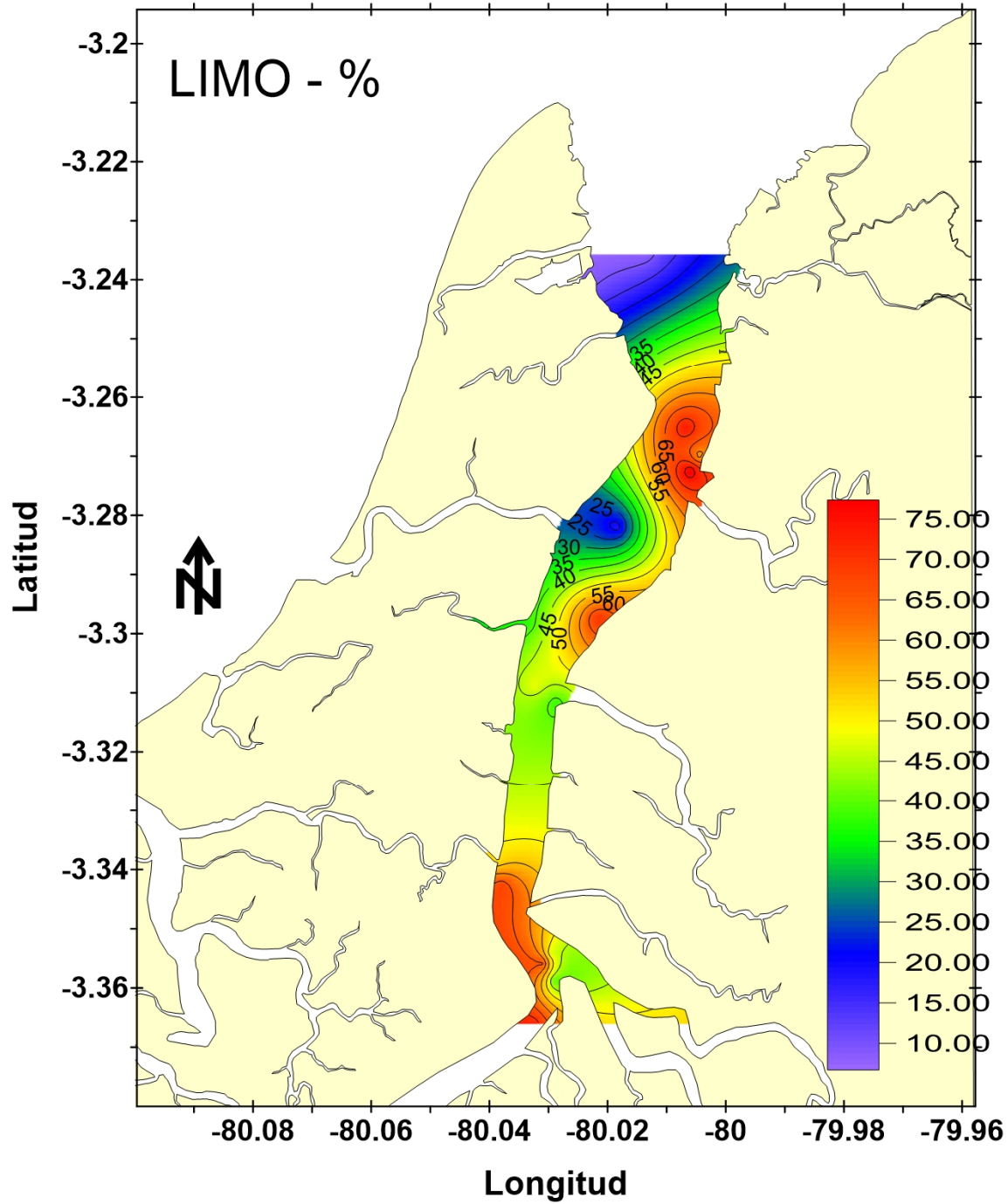
Distribución Espacial del Parámetro ARENA, Sedimentos

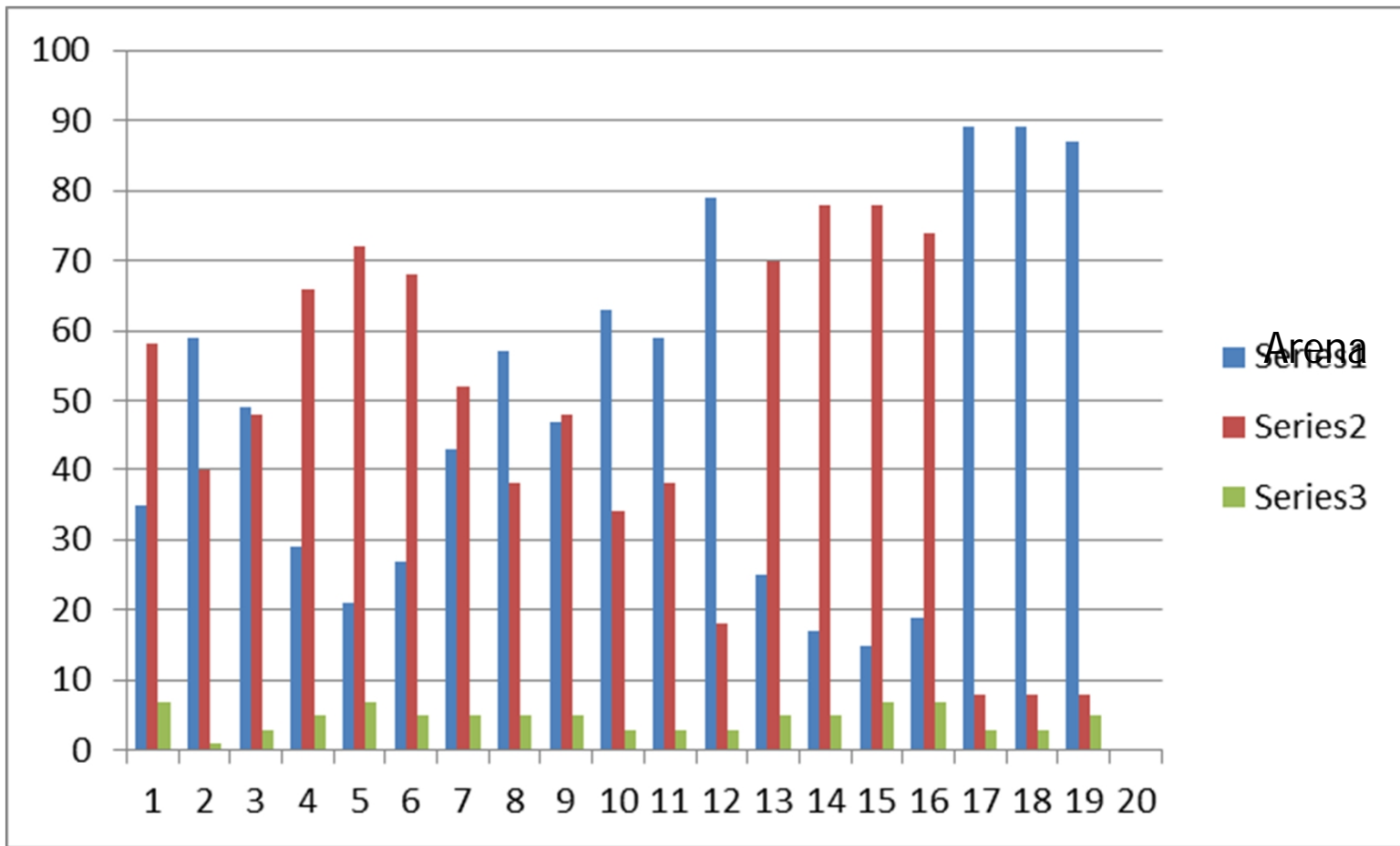
15% - 89%
47.84%



Distribución Espacial del Parámetro LIMO, Sedimentos

8% -78%
47.58%



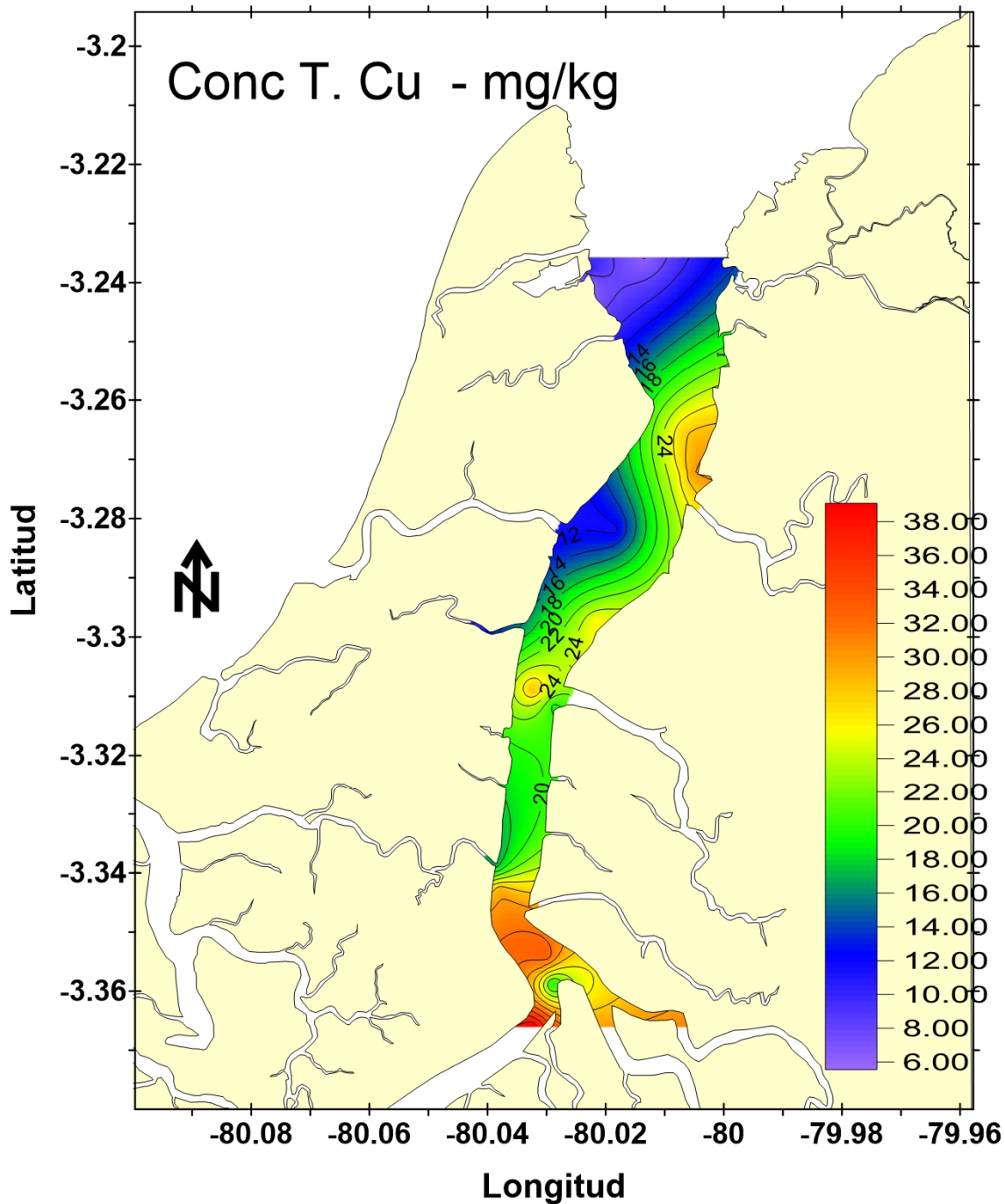


Porcentaje de Arena, Limo y Arcilla en los sedimentos superficiales del estero Santa Rosa.

Distribución Espacial del Parámetro Conc T. Cu , Sedimentos

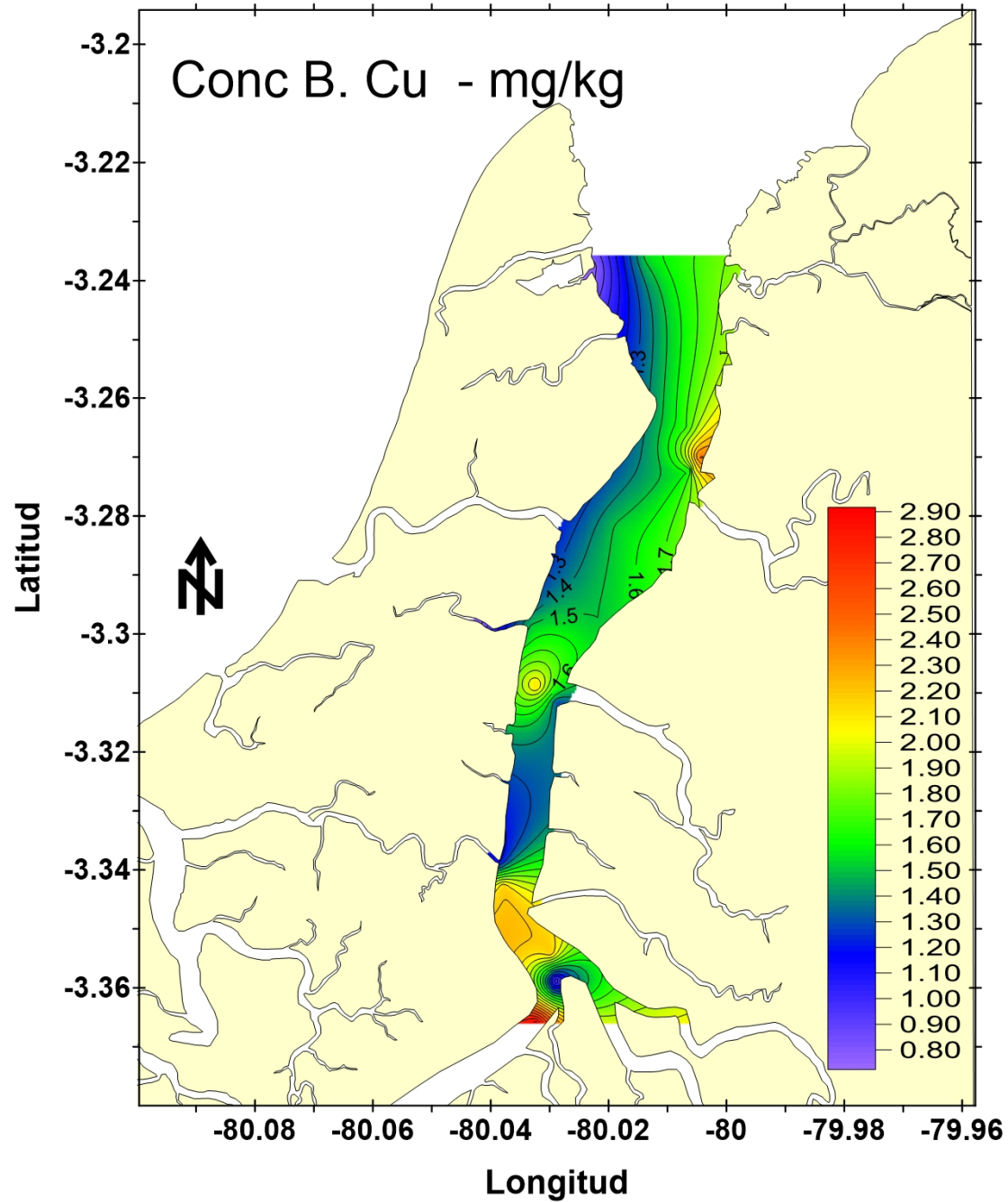
5.42-39.17 mg/kg
21.85 mg/kg

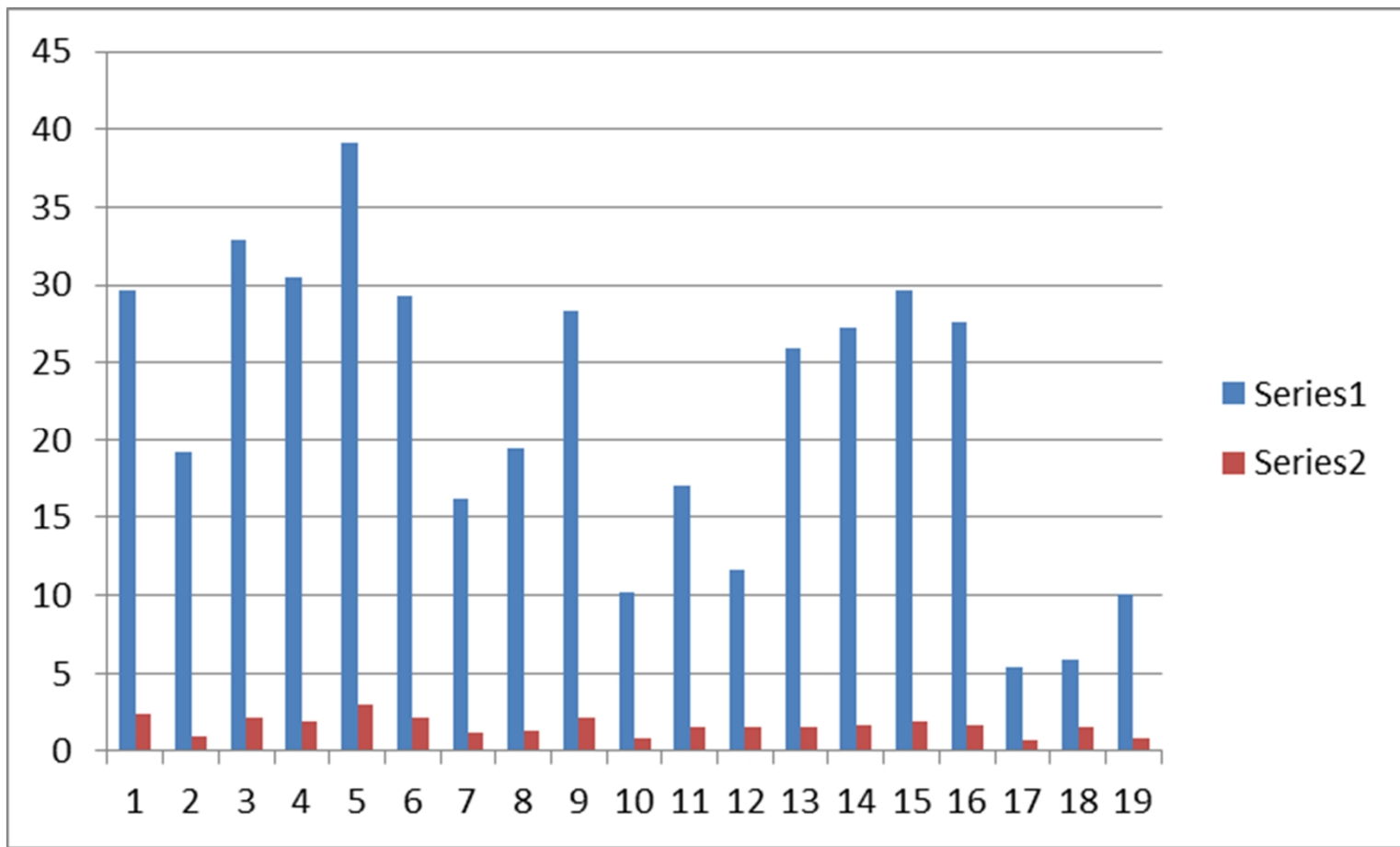
Sadiq (1992)
establece como
el valor máximo
de Cu de 10
mg/kg.



Distribución Espacial del Parámetro Conc B. Cu , Sedimentos

0.75-2.92 mg/kg
1.61 mg/kg
10 %



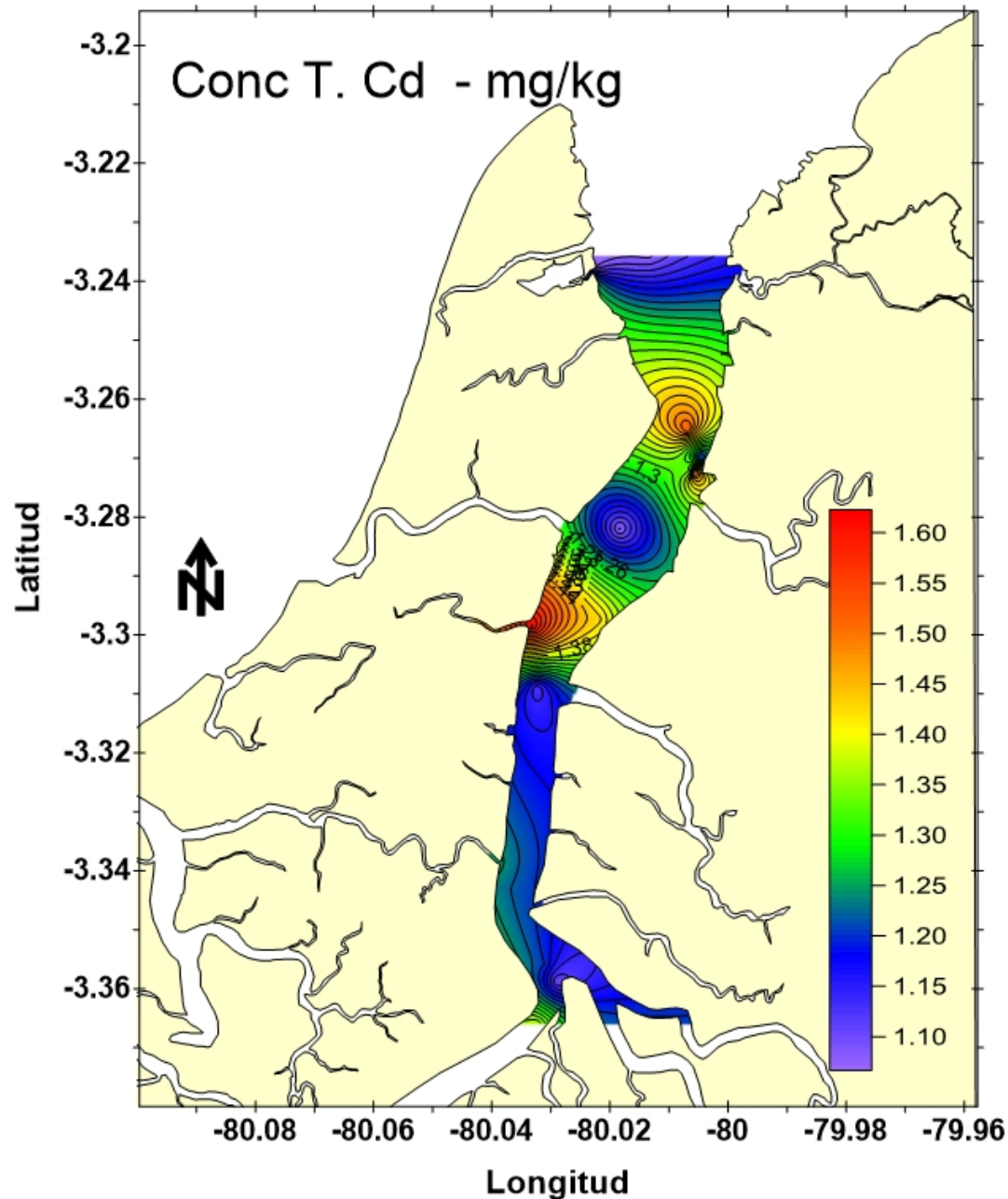


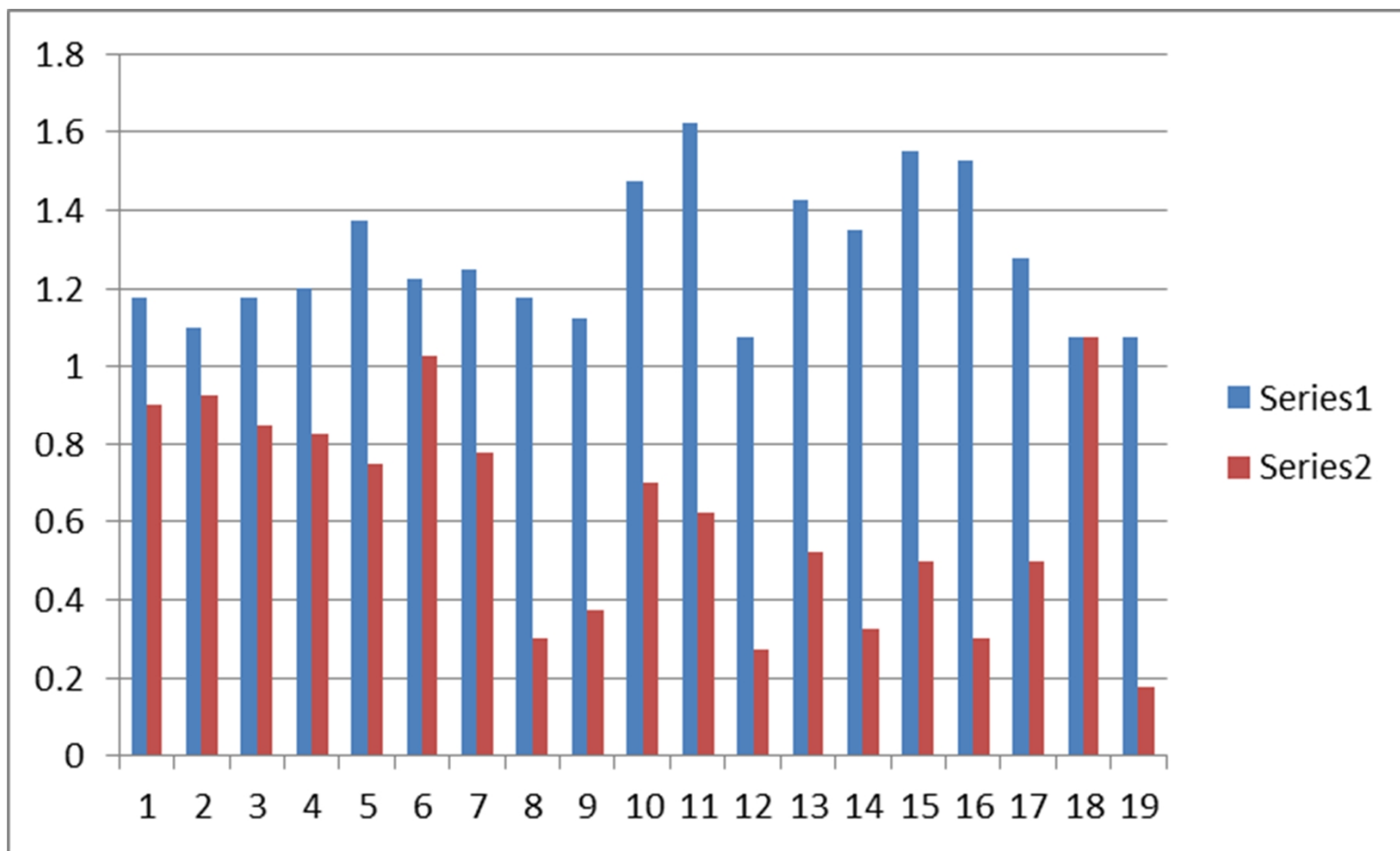
Concentración del Cu total y biodisponible en los sedimentos superficiales

Distribución Espacial del Parámetro Conc T. Cd , Sedimentos

1.07-1.62 mg/kg
1.28 mg/kg

Fergusson (1990) indica que las concentraciones en sedimentos no contaminados con Cd están en un margen <0,1-0,5 mg/kg. Sadiq (1992) señala que los valores naturales de Cd se encuentran por debajo de 1 mg/kg .



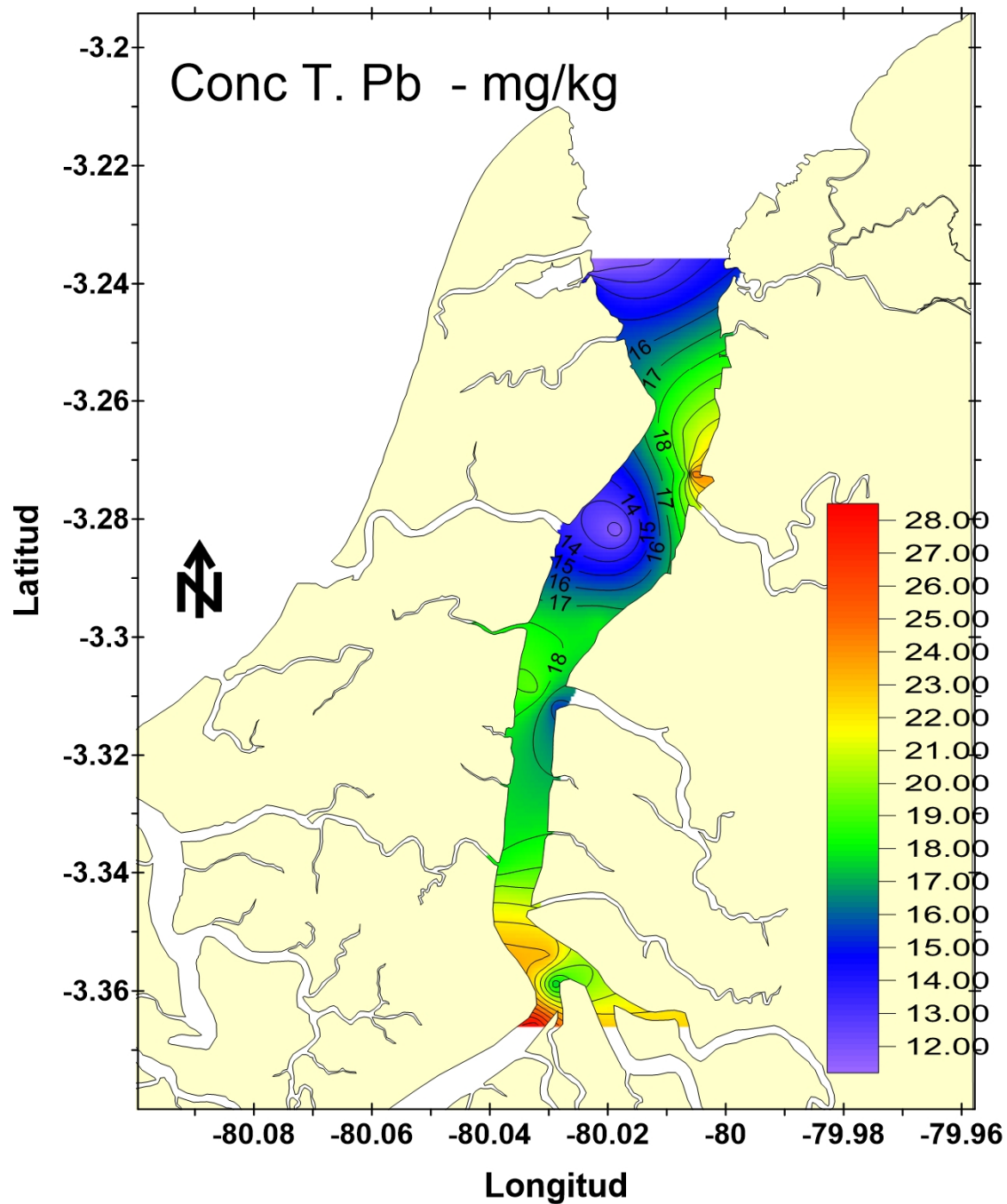


Concentración del Cd total y biodisponible en los sedimentos superficiales

Distribución Espacial del Parámetro Conc T. Pb , Sedimentos

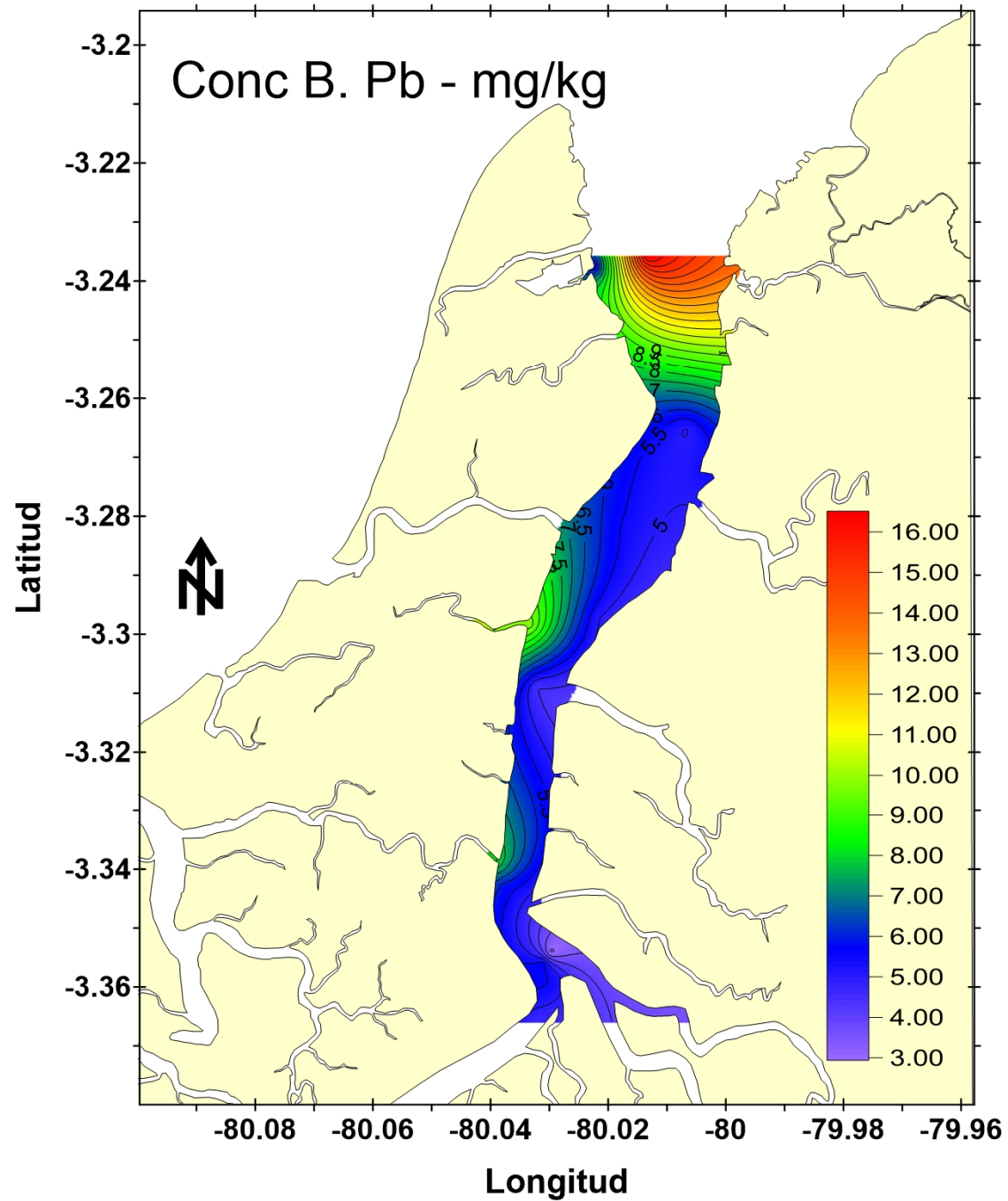
11.33 - 28.55
mg/kg
18.66 mg/kg

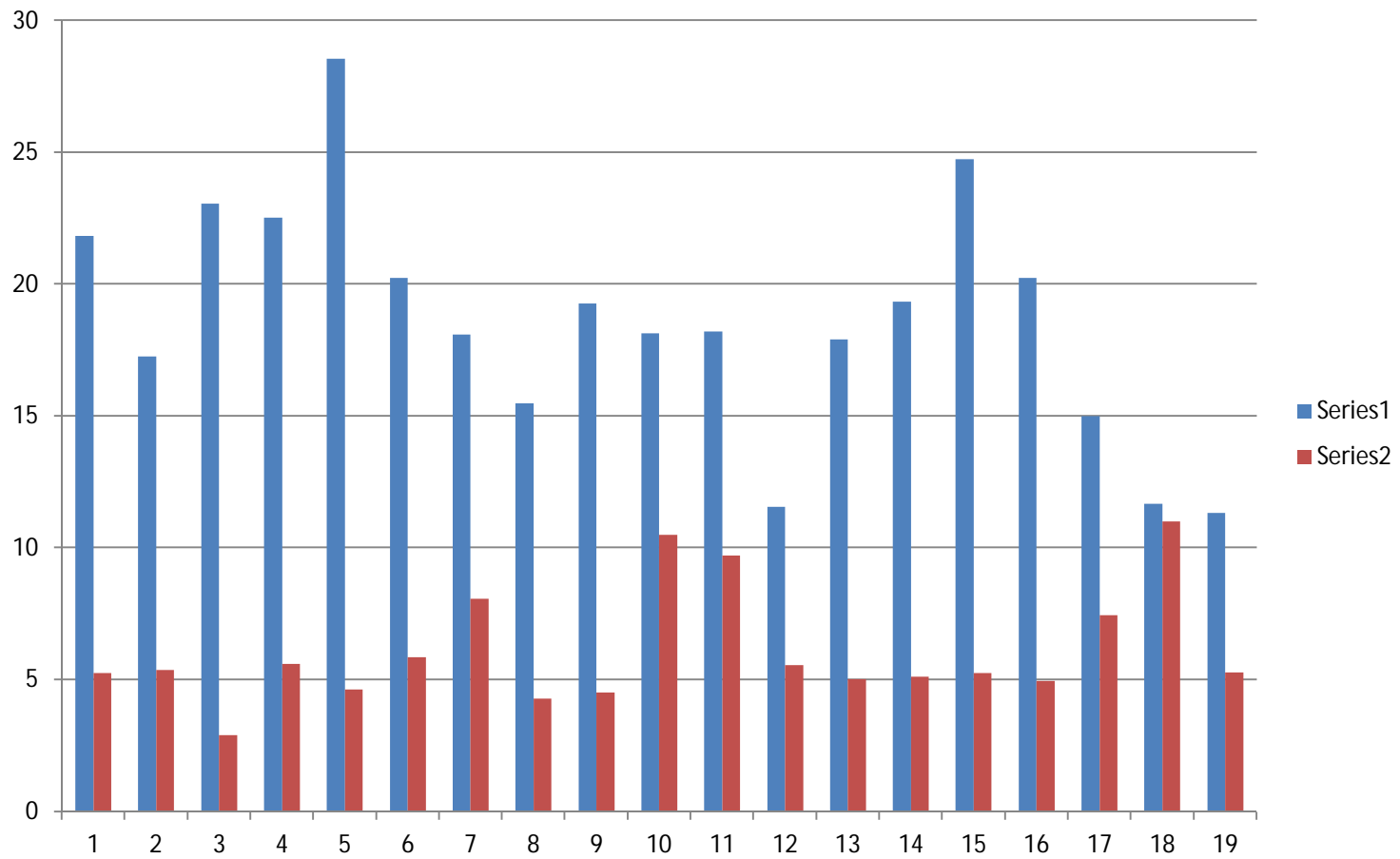
Sadiq (1992)
señala que los
valores de Pb
Total en los
sedimentos no
deben ser
mayores a 5
mg/kg



Distribución Espacial del Parámetro Conc B. Pb, Sedimentos

2.90 - 16.55
mg/kg.
6.41 mg/kg



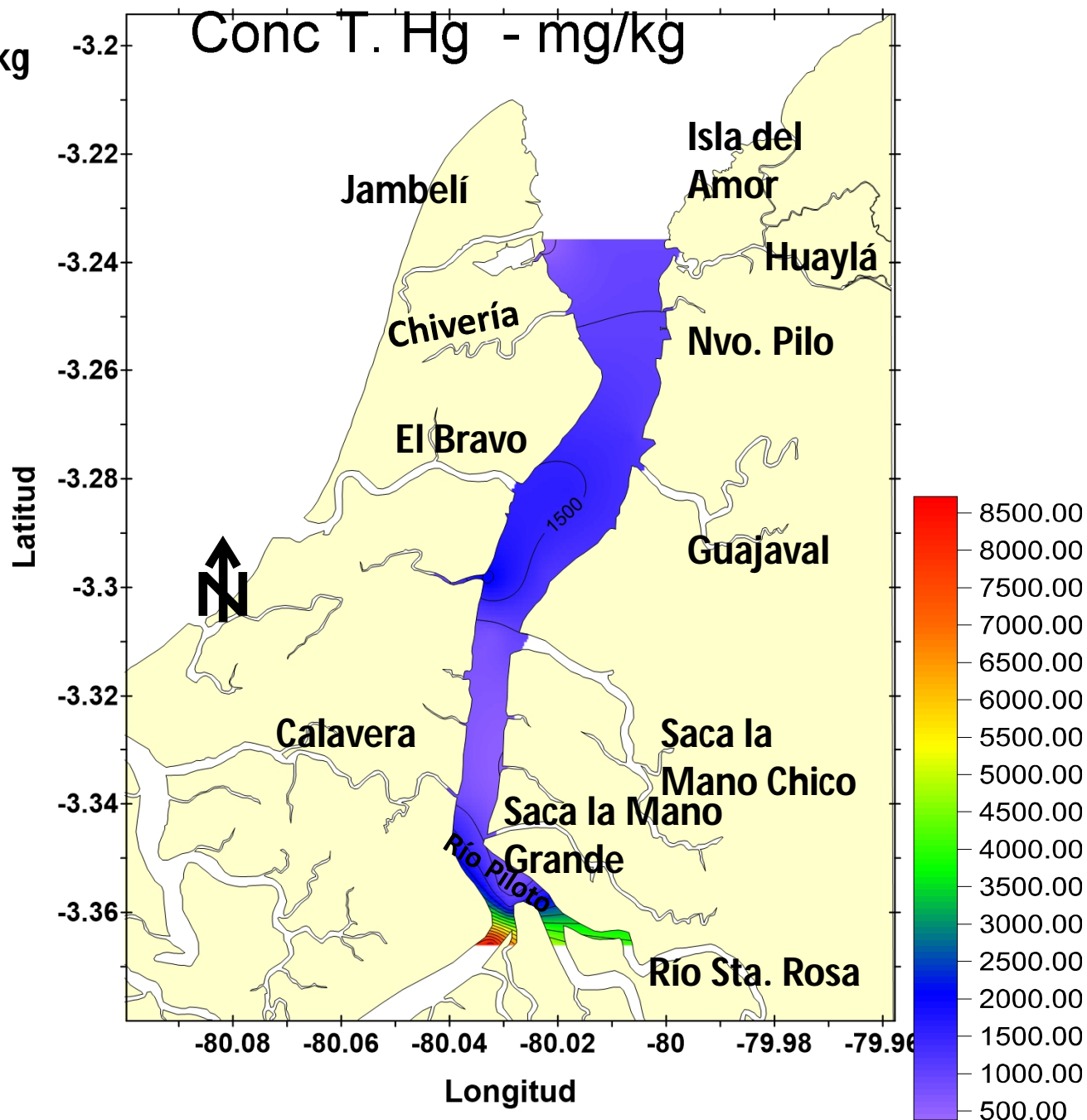


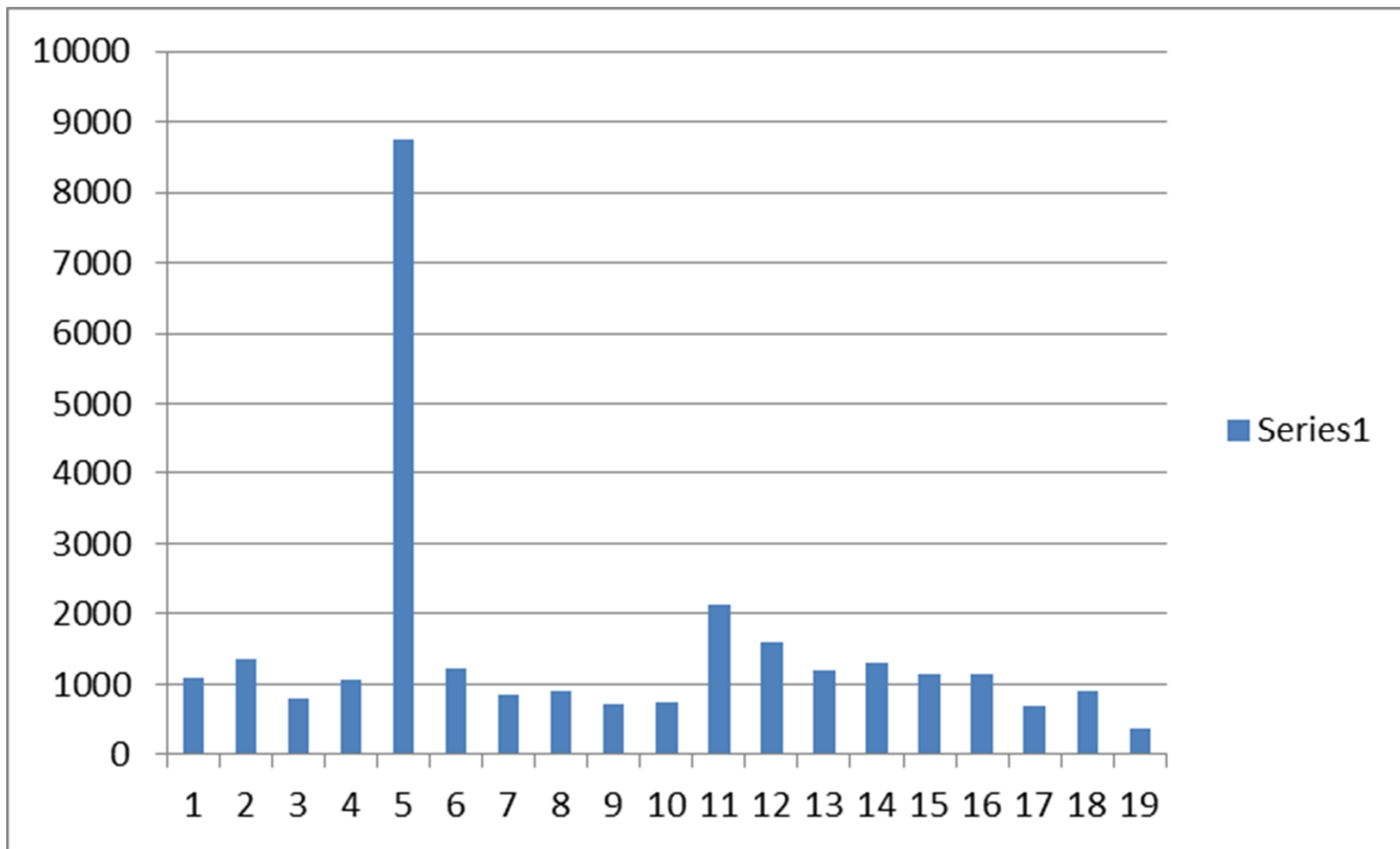
Concentración del Pb total y biodisponible en los sedimentos superficiales

Distribución Espacial del Parámetro Conc T. Hg , Sedimentos

367.5- 8755 mg/kg
1471.05 mg/kg

0,17 (norma canadiense) y 0,48 mg/Kg (concentración de efecto probable - PEL). 0,3 mg/Kg (referencia en norma Holandesa) (IADC/CEDA, 1997) y 0,5 mg.Kg-1 (PEL norma EEUU de Norteamérica) mg/kg. (MacDonald et al., 2000) indican concentraciones entre 0,17 y 0,5 mg/Kg.





Concentración de Mercurio en los sedimentos superficiales del estero Santa Rosa

La Organización Mundial de la Salud establece como concentración límite de mercurio, en peces para consumo humano, 1 mg/kg, y para mujeres embarazadas este valor no debe sobrepasar 0,5 mg/kg (WHO, 1989). En humanos, concentraciones subletales de 5 a 10 mg/kg produce alteraciones del sistema nervioso y malformaciones fetales (EPA, 1995).

El Código Alimentario Nacional de Argentina establece como dosis máxima de mercurio 0,01 mg/l, en alimentos para consumo humano (Dandan, 2001) y la FAO estima que en peces para consumo humano la concentración máxima de mercurio no debe exceder a 0,5 mg/kg (FAO, 2002).

Organismo	Hg mg/kg
Conchas M1	367.5
Conchas M2	870
Conchas M3	495
Conchas M4	285
Conchas M5	352.5
Conchas M6	325
Sardina M1	367.5
M1 Chaparra Pequeña	800
M2 Chaparra Mediana	620
M2 Chaparra Grande	2142.5
Cangrejo 1	112.5
Cangrejo 2	32.5
Patrón	0.225

Patron 407 IAEA Trace metals and methyl mercury in fish

Recommended Value [mg/kg]

95% Confidence Interval *[mg/kg]

0.222 0.216-0.228

Sin embargo, Adam (1990) y Williams et al. (1994) comentan que aunque a veces se han registrado altísimos niveles de iones de metales pesados en los sedimentos de marismas, no han sido advertidos síntomas de toxicidad aguda en plantas. Así, a pesar del alto contenido de metales pesados y su vasta distribución en el estero Santa Rosa, no se han observado evidencias que reflejen alteraciones en la comunidad vegetal, ni en otros organismos, aunque no se descarta que pudieran existir algunos ecotipos vegetales originados por procesos selectivos, capaces de soportar estas altas concentraciones.

Sitio	Cu mg/kg
Bajo Alto 1	3795
Bajo Alto 2	2812.5
Bajo Alto 3	2420
Bajo Alto 4	3515.0
Bajo Alto 5	4070

Fergunsson (1990) señaló que las variaciones observadas en el contenido de metales trazas biodisponibles en sedimentos superficiales pueden ser producto de la disolución de los sedimentos al mezclarse con sedimentos marinos menos contaminados; al efecto de la acción de masa que puede incrementar la concentración de cationes en el agua salada; la producción de ligandos orgánicos, los cuales pueden movilizar los metales desde los sedimentos hasta la solución cuando ocurre el decaimiento de la materia orgánica; la alteración de la mezcla de especies sólidas (arcillas y materia orgánica) y por cambios en la distribución del grano o partículas, dependiente de la batimetría y las corrientes superficiales y profundas.

Existen numerosos estudios que demuestran la contaminación en sedimentos de sistemas de agua dulce producto de las actividades mineras (Moore & Luoma, 1990; Lacerda, 1997; Artaxo et al., 2000; Santos et al., 2002; Shuhaimi-Othman, 2008). La actividad minera es un ejemplo claro de contaminación, principalmente por metales pesados. Los metales que se encuentran en los desechos (arsénico, cadmio, cobre, plomo, zinc y plata) ingresan a los arroyos y ríos como solutos y en suspensión, y contaminan sedimentos del río aguas abajo de la zona de producción minera (Moore & Luoma, 1990). Por ejemplo, las extracciones de oro, al utilizar mercurio y cianuro como métodos de separación, han producido contaminación en sistemas de agua dulce.

El río Amazonas es una de las regiones más estudiadas en relación a la contaminación por mercurio producto de dicha actividad (Lacerda, 1997; Artaxo et al., 2000; Santos et al., 2002).

	Pb_total	Pb_bio	Cd_total	Cd_bio	Cu_tot	Cu_bio	Ni_total	Ni_bio	Co_total	Co_bio	Mn_total	Mn_bio	Cr_total	Cr_bio	Zn_total	Zn_bio	Hg_total	AyG	Hid_Total	COT	MOT	arena	limo	arcilla	
Pb_total	1	-.432	.450	.290	.878(**)	.730(**)	.242	.153	.817(**)	.114	.003	.541(*)	.808(**)	.490(*)	.518(*)	.067	.543(*)	.738(**)	.550(*)	.811(**)	.811(**)	.808(**)	.808(**)	.546(*)	
Pb_bio	-.432	1	.038	.395	-.645(**)	-.325	-.368	.660(**)	-.497(*)	.479(*)	-.052	-.003	-.529(*)	-.104	-.329	-.201	-.127	-.464(*)	-.521(*)	-.529(*)	-.530(*)	.490(*)	-.487(*)	-.373	
Cd_total	.450	.038	1	-.145	.221	.067	.142	.089	.172	-.297	.276	.122	.348	.257	.285	.221	.222	.514(*)	.250	.384	.382	-.490(*)	.491(*)	.308	
Cd_bio	.038	.395	-.145	1	.142	.280	.123	.709(**)	.309	.745(**)	-.274	.375	.386	.306	.234	-.080	.131	-.071	-.080	.213	.214	-.062	.081	-.224	
Cu_tot	.290	.395	.221	.142	1	.812(**)	.344	.016	.861(**)	.077	.103	.621(**)	.898(**)	.416	.585(**)	.228	.444	.762(**)	.651(**)	.891(**)	.892(**)	-.870(**)	.867(**)	.605(**)	
Cu_bio	.067	-.325	.067	.280	.832(**)	1	.012	.318	.675(**)	.435	-.175	.753(**)	.706(**)	.559(*)	.378	.073	.556(*)	.803(**)	.400	.671(**)	.671(**)	-.619(**)	.603(**)	.582(**)	
Ni_total	.242	-.368	.142	.123	.344	.012	1	-.065	.374	-.140	.572(**)	-.078	.495(*)	.010	.196	.088	-.473(*)	.028	.086	.448	.447	-.419	.446	-.107	
Ni_bio	.153	.660(**)	.089	.709(**)	.016	.318	-.065	1	.119	.806(**)	-.119	.439	.361	.263	.004	-.131	.273	-.126	-.314	-.003	-.004	.064	-.057	-.143	
Co_total	.114	.003	.541(*)	.808(**)	.490(*)	.518(*)	.067	.543(*)	.738(**)	.550(*)	.811(**)	.811(**)	.808(**)	.546(*)	.373	.067	.543(*)	.738(**)	.550(*)	.811(**)	.811(**)	.808(**)	.546(*)	.368	
Co_bio	.003	.541(*)	.808(**)	.490(*)	.518(*)	.067	.543(*)	.738(**)	.550(*)	.811(**)	.811(**)	.808(**)	.546(*)	.373	.067	.543(*)	.738(**)	.550(*)	.811(**)	.811(**)	.808(**)	.546(*)	.368	.121	
Mn_total	.003	-.052	.276	.122	.348	.257	.285	.221	.222	.514(*)	.250	.384	.382	-.490(*)	.491(*)	.308	.384	.228	.847	.845	.772	.782	.702	.033	
Mn_bio	.003	-.052	.276	.122	.348	.257	.285	.221	.222	.514(*)	.250	.384	.382	-.490(*)	.491(*)	.308	.384	.228	.847	.845	.772	.782	.702	.033	
Cr_total	.490(*)	-.104	-.329	-.201	-.127	-.464(*)	-.521(*)	-.529(*)	-.530(*)	.490(*)	-.487(*)	-.373	.000	.020	.546	.102	.000	.001	.031	.511	.000	.491	.620	.013	.093
Cr_bio	.490(*)	-.104	-.329	-.201	-.127	-.464(*)	-.521(*)	-.529(*)	-.530(*)	.490(*)	-.487(*)	-.373	.000	.020	.546	.102	.000	.001	.031	.511	.000	.491	.620	.013	.093
Zn_total	.518(*)	.067	.285	.221	.222	.514(*)	.250	.384	.382	-.490(*)	.491(*)	.308	.384	.228	.847	.845	.772	.782	.702	.033	.093	.000	.000	.000	.093
Zn_bio	.067	.285	.221	.222	.514(*)	.250	.384	.382	-.490(*)	.491(*)	.308	.384	.228	.847	.845	.772	.782	.702	.033	.093	.000	.000	.000	.000	.093
Hg_total	.543(*)	.738(**)	.550(*)	.811(**)	.811(**)	.808(**)	.546(*)	.373	.067	.543(*)	.738(**)	.550(*)	.811(**)	.811(**)	.808(**)	.546(*)	.373	.067	.543(*)	.738(**)	.550(*)	.811(**)	.811(**)	.808(**)	.546(*)
AyG	.738(**)	-.464(*)	.514(*)	-.071	.762(**)	.803(**)	.028	-.126	.592(**)	-.212	.188	.532(*)	.589(**)	.373	.688(**)	.417	.449	1	.810(**)	.766(**)	.766(**)	.803(**)	.794(**)	.665(**)	.002
Hid_Total	.550(*)	-.521(*)	.250	-.080	.651(**)	.400	.086	-.314	.447	-.290	.131	.466(*)	.479(*)	-.030	.708(**)	.457(*)	.354	.810(**)	1	.652(**)	.652(**)	.755(**)	.746(**)	.633(**)	.004
COT	.811(**)	-.529(*)	.384	.213	.891(**)	.671(**)	.448	-.003	.796(**)	.047	.162	.509(*)	.832(**)	.528(*)	.656(**)	.315	.281	.766(**)	.652(**)	1	1.000(**)	.891(**)	.895(**)	.539(*)	
MOT	.811(**)	-.530(*)	.382	.210	.892(**)	.671(**)	.447	-.004	.797(**)	.048	.160	.508(*)	.832(**)	.530(*)	.657(*)	.316	.282	.766(**)	.652(**)	1.000(**)	1	.891(**)	.895(**)	.538(*)	
arena	.808(**)	.490(*)	-.490(*)	-.062	-.870(**)	-.615(**)	-.419	.064	.759(**)	.071	-.308	-.626(**)	-.768(**)	-.258	.636(**)	-.331	-.302	.803(**)	-.755(**)	.892(**)	.891(**)	1	.999(**)	-.679(**)	
limo	.808(**)	-.487(*)	.491(*)	.081	.867(**)	.803(**)	.446	-.057	.768(**)	-.068	.320	.811(**)	.776(**)	.265	.842(**)	.335	.295	.794(**)	.746(**)	.895(**)	.895(**)	-.999(**)	1	.640(**)	
arcilla	.546(*)	-.373	.308	-.224	.605(**)	.582(**)	-.107	-.143	.368	-.094	.033	.616(**)	.397	.063	.331	.155	.305	.665(**)	.633(**)	.539(*)	.538(*)	.679(**)	.640(**)	1	
	.015	.115	.199	.358	.006	.009	.662	.559	.121	.702	.892	.005	.093	.796	.167	.527	.205	.002	.004	.017	.017	.001	.003	.003	

** La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral). * La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).

Las correlaciones altamente significativas que presentan entre sí Pb, Cu, Zn, Co, Cr, sugiere que estos metales tienen orígenes similares o una misma fuente de origen. Por otra parte estos metales presentan correlación con la materia orgánica y el COT y con el menor tamaño de la partícula, caso de limos y arcillas. Esta última asociación es debida al enlazamiento de los cationes metálicos con las cargas negativas de los grupos funcionales presentes en la materia orgánica y con las cargas negativas presentes en las arcillas. Estas dos últimas asociaciones también son originadas por las mayores áreas superficiales que presentan las arcillas y la materia inorgánica en comparación con otros tipos de compuestos y partículas.

Los hidrocarburos también muestran este tipo de asociación con MO, COT, limos y arcillas por las mismas condiciones descritas anteriormente. De la tabla de desprenden 3 observaciones interesantes con 3 metales como lo son el Cd, Hg, y Ni. Estos tres metales no muestran correlaciones entre si, ni con la MOT, COT, y tamaño de la partícula, por lo que es evidente que estos metales tienen una fuente diferente a los otros metales, estas fuentes podrían ser las antropogénicas derivadas de los procesos de minería. El Ni por mostrar asociación con el Mn, podría estar asociado a los oxihidroxidos de Mn.

Los metales son fácilmente acumulables en los sistemas de marismas, y su impacto ambiental es, en algunos casos, complejo de prever. Este trabajo pone de manifiesto un potencial y grave problema ambiental, debido al elevado contenido total de metales pesados en los sedimentos, de donde pueden ser capturados por parte de la vegetación (Luque, 1996), y posteriormente ser transmitidos a herbívoros, además de ser incorporados directamente por los numerosos organismos sedimentófagos presentes en este hábitat. El mayor peligro reside no sólo en la contaminación por metales pesados en sí, sino en su incorporación a la productiva red trófica estuarina, en su magnificación y bioacumulación en los organismos, y en la dificultad para su eliminación. Además hay que indicar que algunos recursos pesqueros y marisqueros, especialmente a lo largo del estero, son explotados actualmente.

Nos encontramos ante un ecosistema cuyos sedimentos presentan una contaminación elevada y que puede afectar o está afectando a la biota que habita.

Senior W¹., Valarezo C¹., Sánchez O¹., Jacome N. C¹., Tobar-Ordoñez J. A²., Collaguazo-Yaguachi A. F³, Hernández D⁴., Rodríguez G⁴., Benítez A⁴., Fermín I⁴., De La Cruz R⁴. y Márquez A⁴. 2014.- Evaluación de la distribución del contenido total y biodisponibles de los metales pesados, Cu, Cd, Pb y Hg en sedimentos superficiales del estero de Santa Rosa, Provincia de El Oro, Ecuador.

AGRADECIMIENTOS

Al Programa **PROMETEO**

A la **UTMACH** y sus Directivos

A la **FCA** y sus Autoridades

A los **profesores de la Escuela de Acuicultura**

Al Ing. **César Valarezo**

Al Ing. **Omar Sánchez**

A la Ing. **Norma Cruz**

Al profesor **Hugo Romero Bonilla** (Facultad de Ciencias Químicas y de la Salud)

A **Johny Tobar Ordoñez** (Facultad de Ciencias Químicas y de la Salud)

A **Felipe Collaguazo** (Gestion Ambiental)

