

# EVALUACION DE COBRE Y PLOMO EN SEDIMENTOS SUPERFICIALES DE DOS BAHIAS DE LA COSTA PACIFICA COLOMBIANA

por

Luis Enrique Lesmes\* y Lorenzo Panizzo\*\*

## Resumen

**Lesmes, L.E., & L. Panizzo:** Evaluación de Cobre y Plomo en sedimentos superficiales de dos bahías de la Costa Pacífica Colombiana. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* 18 (69): 239-246, 1991. ISSN 0370-3908.

Mediante el estudio de sedimentos en fracciones sucesivas o selectivas se estableció el grado de contaminación por Cu y Pb en las bahías de Buenaventura y Bahía Solano. El contenido de Cu en materia orgánica varía en Buenaventura entre 27.7% y 44.8% del total del sedimento, lo cual indica acumulación por contaminación moderada; en Bahía Solano varía entre 3.41% y 7.35% presentándose más del 80% del contenido en la fase inmóvil. En ambos casos el Pb sólo aparece en la fracción silicatada, lo que permite concluir que no hay contaminación.

## Abstract

This paper presents the results of the contamination degree by copper and lead in Buenaventura Bay and Solano Bay as reference zone. The presence of this two metals is investigated in five sediment fractions by selective extractions. Its contents are related with environmental variables and with characterization parameters of the sediment. Copper associated with organic matter is between 27.7 and 44.8 percent of the total in the sediment in Buenaventura Bay and 3.41 to 7.35 percent in Solano Bay. These results are indicating an accumulation of copper in the organic phase. This metal in Solano Bay is mainly in the silicated fraction (above 80% of the total in the sediment). Lead was only found in the residual phase. The enrichment factors of Buenaventura Bay referred to Solano Bay, are indicating a moderate degree of contamination by copper and absent for lead.

## Introducción

La Costa Pacífica Colombiana tiene una longitud de 1300 Km, predominando los climas de tierras bajas ecuatoriales muy húmedas con precipitaciones superiores a los 5000 mm. Constituye una

unidad económica, étnica y socio-cultural, como consecuencia de las características geográficas y ecológicas del entorno. El litoral pacífico es un sistema amplio y complejo donde actúan de manera ligada factores físicos, químicos, biológicos, geológicos y meteorológicos (DIMAR 1991). Estos factores pueden verse afectados por las actividades humanas, produciendo desequilibrios en los ciclos biogeoquímicos de los cuales depende la subsistencia de ecosistemas y recursos.

\* Ingeominas, Santafé de Bogotá, D.C., - Colombia.

\*\* Departamento de Química, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia, Santafé de Bogotá, D.C. - Colombia.

La Bahía de Buenaventura pertenece al departamento del Valle del Cauca y allí se encuentra enclavado el municipio del mismo nombre. Buenaventura cuenta con una población de 193.185 habitantes según censo de 1985 (DANE 1987). Es el puerto más importante de Colombia en el Pacífico y absorbe buena parte del comercio marítimo que se realiza entre el estrecho de Magallanes al sur del continente y el canal de Panamá al norte. La zona

franca industrial de esta ciudad muestra una vigorosa actividad comercial en torno a las exportaciones colombianas. Las descargas a la bahía procedentes de las industrias química, alimenticia, pesquera, maderera, petrolera y minera no tienen tratamiento (Panizzo, 1982); según (Escobar), las descargas domésticas son del orden de 7500 Ton DBO/año. El movimiento portuario del terminal fue de 3.182.119 toneladas en 1977 de las cuales al cabotaje corresponden 359.617 (IGAC 1982)

Bahía Solano está situada al norte en el departamento del Chocó; al fondo de la bahía se encuentra localizada la población de Bahía Solano o Ciudad Mutis con 5.674 habitantes según censo de 1985. La actividad principal es el turismo. El arribo a la población se hace por vía aérea o marítima, pero se tiene en proyecto la construcción de una carretera que la una con el interior del país. A excepción de una incipiente pesquería no existe desarrollo industrial.

El Plan Ambiental del Pacífico Sur, auspiciado por la Comisión Permanente del Pacífico Sur (CPPS 1984), afirma dentro del estudio colombiano referente a la calidad de aguas, sedimentos y organismos procedentes de la Ensenada de Tumaco y Bahía de Buenaventura, que las altas concentraciones de metales pesados en los sedimentos tienen probablemente origen geoquímico (Fernández, 1987). Por otra parte, (Escobar, 1983), en su diagnóstico sobre la contaminación de las zonas costeras colombianas, sostiene que existen limitantes en la profundidad y alcance de la información y concluye que en la actualidad solo amerita establecer programas tendientes a obtener información básica.

La evaluación de metales pesados en sedimentos marinos desempeña un papel importante en la detección de las fuentes de contaminación de los sistemas acuáticos, pudiéndose utilizar como indicadores en estudios ambientales, debido a que bajo ciertas condiciones la fuente del metal se puede identificar no obstante haber transcurrido algún tiempo después de la descarga (Forstner, 1979).

Los sedimentos actúan como sumidero de la mayor parte de los contaminantes y como resultado de esta circunstancia la concentración de los elementos en sedimentos es muchas veces mayor que la correspondiente a las aguas naturales. La química de los sedimentos da una medida de la calidad del agua y la potencialidad de los contaminantes.

La forma como está asociado el metal en el sedimento depende de las condiciones fisicoquímicas, la actividad biológica y las características geológicas del medio. Su conocimiento aporta información respecto a su origen, disponibilidad física, química, biológica y de impacto ambiental. La composición del sedimento depende de la clase de rocas que lo originaron, la erosión y meteorización, influencia del clima, condiciones hidrobiológicas, morfológicas y usos de la costa adyacente.

Según la forma de presentación del metal en el sedimento, el método de extracción para su análisis será específico. Con el objeto de cuantificar los metales traza contenidos en los sedimentos, los investigadores han empleado diferentes procedimientos de digestión y extracción; sin embargo, sus resultados no son comparables debido a que no se ha tenido en cuenta la forma en que los elementos en cuestión se asocian con los distintos componentes o fases del sedimento; este hecho constituye un problema para su interpretación geoquímica y ambiental. El uso del procedimiento de extracciones selectivas o secuenciales permite estimar el perfil de asociación, su disponibilidad y por consiguiente los riesgos potenciales que representan los metales en los sedimentos, ya que bajo determinadas condiciones pueden transferirse a la columna de agua o hacerse biológicamente disponibles (Brannon y col., 1977).

Uno de los esquemas de extracción secuencial más empleado es el de Tessier y col. (1979), quienes distinguen cinco fracciones: intercambiables; asociados a carbonatos; asociados con formas reducibles; con materia orgánica y compuestos oxidables; y la fracción residual o asociados con formas silicatadas.

Con base en el método de Tessier y la técnica de absorción atómica se proporciona información sobre el estado de contaminación por cobre y plomo en sedimentos pertenecientes a las Bahías de Buenaventura y Solano, como resultado de la influencia continental y las actividades culturales. Se estudia además, la distribución geoquímica de los citados elementos en sedimentos superficiales pertenecientes a estas bahías. Se investigan relaciones de causalidad entre las concentraciones de cobre y plomo en los sedimentos y algunas variables oceanográficas medidas y las que caracterizan estos materiales. En todos los casos Bahía Solano se toma como referencia debido a su calidad natural.

## Materiales y Métodos

### Toma de muestras y análisis de campo

En las áreas geográficas de las Bahías de Buenaventura y Solano se fijaron localidades y se establecieron estaciones conforme se indica en las Figs. 1 y 2.

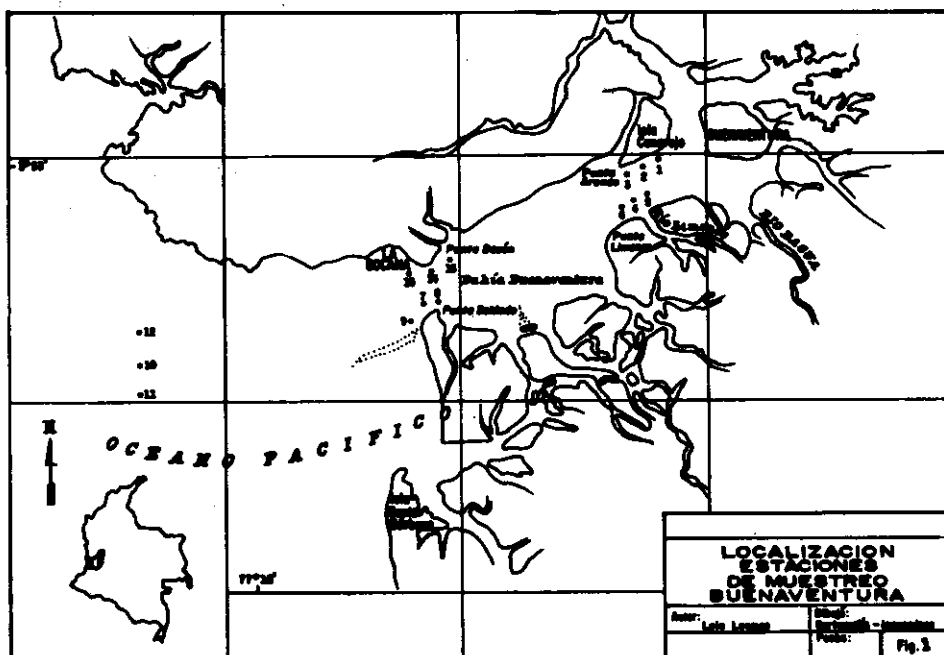


Figura 1

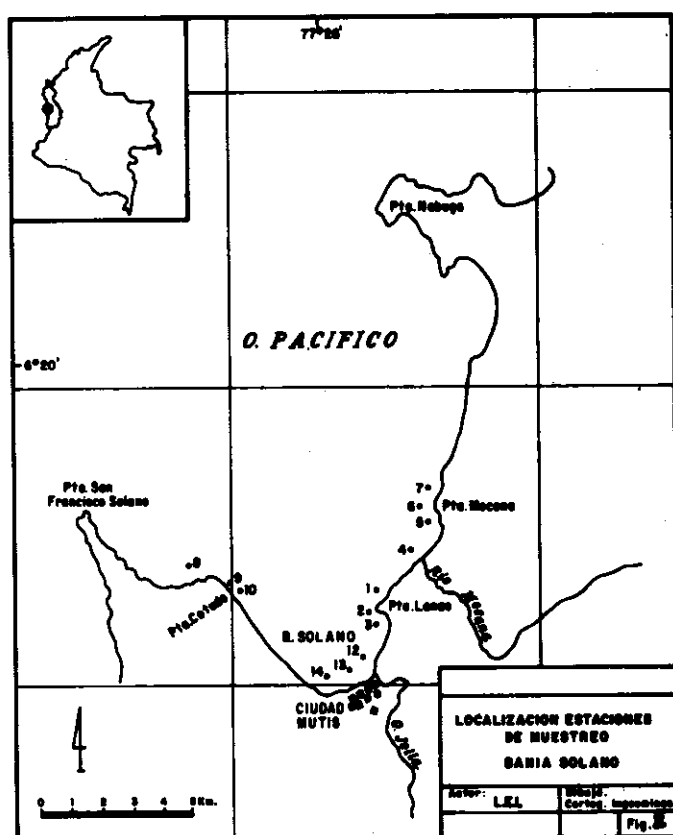


Figura 2

Se tomaron muestras en dos períodos siguiendo el concepto de las épocas de alta y baja escorrentía (Ramírez, 1986), en las siguientes fechas:

Bahía	Alta escorrentía	Baja escorrentía
Buenaventura	marzo 29/89	junio 15/89
B. Solano	abril 4/89	junio 19/89

Las muestras de sedimento fueron tomadas utilizando una draga Eckman; en cada muestra se extrajo la máxima cantidad de agua; las muestras se

congelaron, codificaron y empaclaron en bolsas plásticas para su transporte a los laboratorios.

**Muestras de agua.** En cada localidad se seleccionó una estación para la toma de muestra de agua, la botella de recolección se situó a aproximadamente 50 cm del fondo. A cada muestra se le midió el pH, la salinidad, el oxígeno disuelto (método modificado de Winkler) y la temperatura.

**Sedimentos.** Las muestras se secaron a 65°C durante 48 horas. Se tamizaron a través de malla plástica de 1 mm (ASTM 18). Después de las operaciones de homogenización y cuarteo se tamizaron por malla de material sintético de 0.075 mm (ASTM 200).

**Características del Sedimento.** En la fracción de tamaño menor de 0.075 mm, se determinaron las siguientes características: Materia orgánica, según el método de Walkley Black Jackson, (Jackson, 1967); contenido de Carbonatos por método gasométrico (Rader, 1961); textura por el método de Boyoucos (Vives, 1981).

**Contenido de metales en el sedimento.** En la muestra con tamaño de partícula menor que 0.075 mm, se determinaron los elementos cobre y plomo siguiendo el esquema de extracción secuencial de Tessier y col. (1978) (ver Diagrama 1). Las fracciones analizadas fueron: Intercambiable, metales asociados con carbonatos, con fracción reducible, con materia orgánica y compuestos oxidables y fracción residual o silicatada.

La cuantificación se llevó a cabo por espectrofotometría de absorción atómica en un equipo Per-

ESQUEMA DE EXTRACCIONES SELECTIVAS  
(© Tessier y Col 1979)

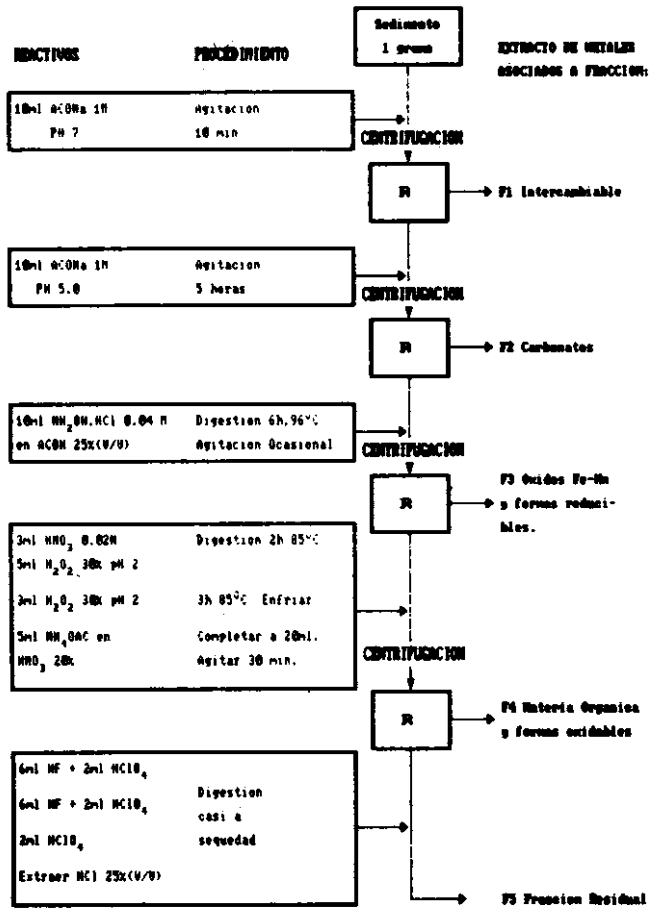


Diagrama 1

kin Elmer modelo 306. Todos los análisis se realizaron por duplicado y no se encontraron interferencias de tipo matricial. La calidad de los resultados se controló analizando la muestra de referencia

USGS Marine Mud MAG tomando los valores señalados por Tessier y col, (1980) como datos de comparación. Los resultados de precisión y exactitud se consignan en la Tabla 1.

Resultados y Discusión

Condiciones oceanográficas

**Salinidad.** Las variaciones de la salinidad en las distintas estaciones se ilustran en la Fig. 3. En Bahía Solano la menor salinidad se presenta en la estación de Punta Cotudo. Esta zona es el punto de convergencia de la deriva de litoral procedente del sur y la que viene de la bahía, asociadas a su vez con el transporte de aguas continentales de las quebradas Chadó, Jella y Río Mecana.

En Buenaventura se presenta un aumento de la salinidad a medida que se aleja de la influencia de las corrientes continentales. En esta localidad los valores de salinidad son los típicos de un sistema estuarino.

**pH.** Al igual que la salinidad los valores de pH son más bajos en Buenaventura que en Bahía So-

Tabla 1

Control de la exactitud. Extracciones selectivas. Patrón USGS MSG-1 Marine Mud.

Elemento	Fracción	Interconvertible		Carbonatos		Reducible		Materia Orgánica y Oxidables		Residual		Total	
		VALOR PROMEDIO	VE	VALOR PROMEDIO	VE	VALOR PROMEDIO	VE	VALOR PROMEDIO	VE	VALOR PROMEDIO	VE	VALOR PROMEDIO	VE
C	µg/g	10.20	0.3*0.1	0.37	<0.4	0.30	<0.4	6.5	7.2*0.7	16.2	19.0*1.7	29.0	27.1*1.2
	µg/g			0.05		0.02		0.30		1.5		2.3	
	CV %			13.5		5.2		4.6		9.2		7.7	
	Prueba t 5 %							tcal 4.34	ttab 4.300	tcal 4.15	ttab 4.300	tcal 2.60	ttab 4.300
								No diferencia		No diferencia		No diferencia	
P	µg/g	10.8	0.8	4.2	4.5*0.5	4.5	4.2*0.4	3.2	2.5*1.0	12.5	12.6*1.5	25.5	23.0*0.7
	µg/g			0.77		0.35		0.77		0.47		1.9	
	CV %			18.3		7.8		24.0		3.5		7.4	
	Prueba t 5 %			tcal 0.7	ttab 4.300	tcal 1.40	ttab 4.300	tcal 1.59	ttab 4.300	tcal 3.51	ttab 4.300	tcal 1.54	ttab 4.300
				No diferencia		No diferencia		No diferencia		No diferencia		No diferencia	

En todos los casos el contenido del elemento en cada fracción es el promedio de tres determinaciones.

S Desviación estándar obtenida a partir del Rango (DEAN R.D.1951)

CV Coeficiente de variación.

VE Valor reportado (Tessier, A. y Col 1980)

tcal Percentil de la distribución t calculado.

ttab Percentil de la distribución t tabulado.

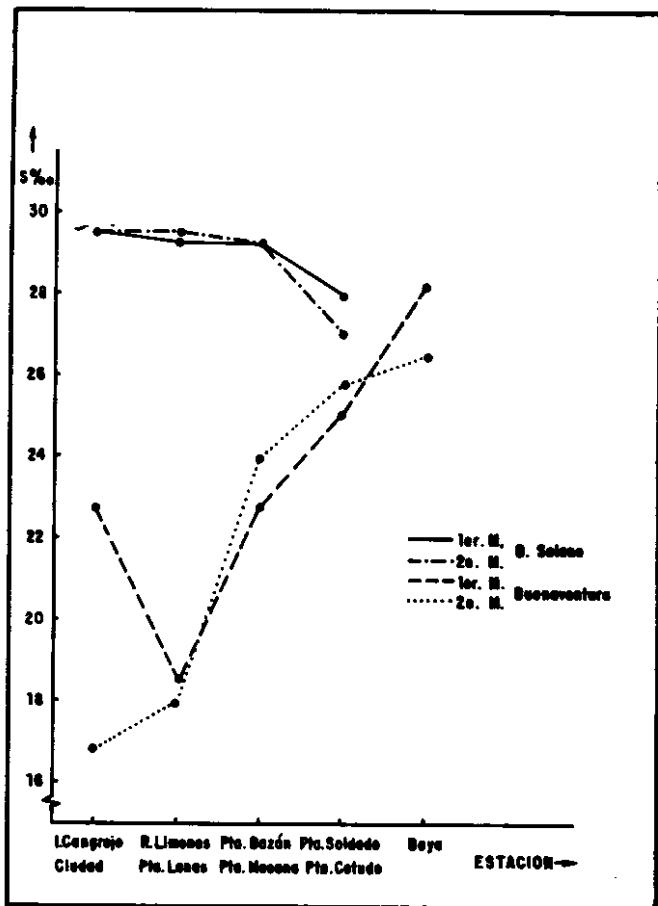


Figura 3. Variación de la salinidad

lano, debido a los aportes continentales. En ambas zonas el pH es menor para la época de mayor escorrentía. Los resultado se ilustran en la Fig. 4.

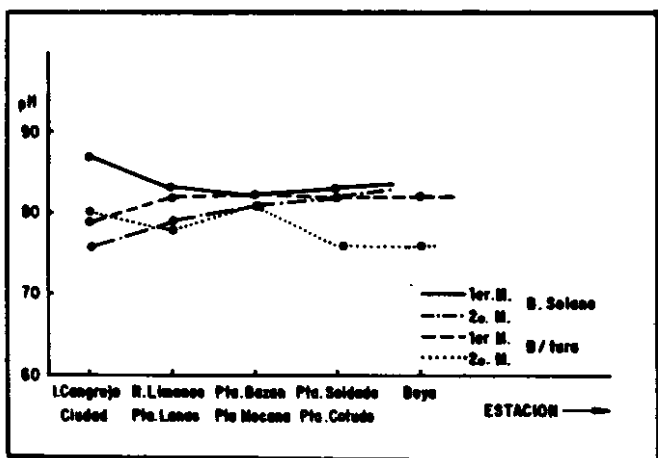


Figura 4. Variación del pH

**Oxígeno disuelto.** En Buenaventura el porcentaje de saturación de oxígeno más bajo se presentó en Punta Bazán (69%) como consecuencia de las descargas domésticas de la población de La Bocana. El valor relativamente bajo en la estación de La Boya (69%) está relacionado con la profundidad en la cual se efectuó la medida (14 m). En términos generales, las concentraciones de oxígeno son adecuadas para mantener la flora y la fauna.

En Bahía Solano las condiciones de saturación son excelentes; los valores varían de 100 a 87% para la baja esocorrentía y 86 a 79% en alta escorrentía. Los resultados se ilustran en la Fig. 5.

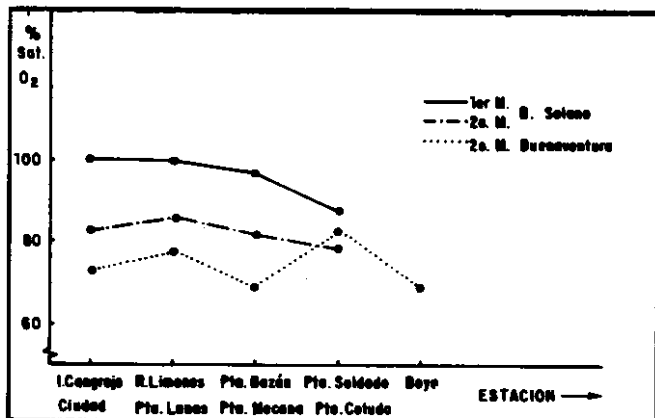


Figura 5. Variación % saturación O<sub>2</sub>

**Caracterización de los sedimentos**

**Tamaño de partícula.** Desde el punto de vista ambiental resulta importante tener en cuenta los tamaños de los limos y arcillas por ser los mayores retenedores de metales. En términos generales estos tamaños son más abundantes en Buenaventura que en Bahía Solano. La Tabla 2 resume los resultados obtenidos.

Tabla 2

**Los valores extremos de tamaños de partícula**

Buenaventura	Arena %	Limo %	Arcilla %
Baja escorrentía	20 - 88	7 - 66	5 - 27
Alta escorrentía	16 - 95	10 - 66	8 - 30
<b>Bahía Solano</b>			
Alta escorrentía	47 - 93	3 - 36	4 - 11
Baja escorrentía	60 - 93	1 - 56	4 - 17

En Buenaventura el contenido de limos depende de la ubicación geográfica, en esta zona la textura predominante es la franco-limosa y franca, mientras que en Bahía Solano la textura tiende a ser arenosa.

**Materia orgánica.** En Buenaventura los valores mínimos coinciden con la estación más alejada de la influencia continental. Los límites encontrados para la materia orgánica están entre 3.58 - 6.19% y 3.41 - 7.35% para la baja y alta escorrentía respectivamente. Se halló un aumento del contenido de materia orgánica en la segunda toma de muestras, poniéndose de manifiesto el efecto de la mayor escorrentía.

En Bahía Solano para la época de baja escorrentía, el máximo contenido de materia orgánica se registró en las estaciones cercanas a la población de Ciudad Mutis. Sólo se presentaron tres valores superiores a 1.5%, los demas son inferiores a 0.52%. Comparando las dos bahías se advierte contaminación orgánica en Buenaventura.

**Carbonatos.** En Buenaventura, en las dos oportunidades de toma de muestra, las concentraciones

de carbonatos estaban por debajo del límite de detección (0.04% como CO<sub>2</sub>). En Punta Cotudo, estación perteneciente a Bahía Solano se presentan contenidos que oscilan en ambas épocas entre 1.16 y 3.32% como CO<sub>2</sub>; en las demás estaciones no se detectaron carbonatos.

#### Elementos cobre y plomo en los sedimentos

**Fracción Intercambiable.** Desde el punto de vista ambiental esta fracción es muy importante. Los resultados encontrados indican que los elementos cobre y plomo no se presentan asociados con esta fracción.

**Metales asociados con la fracción de carbonatos.** El cobre se presenta en mayor proporción en los sedimentos de Buenaventura que en los de Bahía Solano.

Para la Bahía de Buenaventura el porcentaje de aporte de cobre a esta fracción con respecto al

contenido total está entre 5.3 – 2.5 % para baja escorrentía y 1.6 – 3.6 en alta escorrentía en el área de Buenaventura. En Bahía Solano estos límites están entre 1.9 – 8.0% en las dos oportunidades. Analizando todos los resultados se aprecia una tendencia hacia valores bajos en la época de alta escorrentía como consecuencia de la disminución del pH.

**Fracción reducible.** Los metales asociados con esta fracción son móviles; su estabilidad depende de las condiciones redox y de la actividad bacteriana. Bajo condiciones reductoras éstos se liberan hacia la columna de agua. En Bahía Solano, dadas las condiciones de saturación de oxígeno, esta fracción es el mayor sumidero de cobre móvil en los sedimentos, lo cual concuerda con los bajos contenidos de materia orgánica y las altas concentraciones de hierro y manganeso encontrados. En Buenaventura la relación es justamente opuesta como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3.

#### Cobre asociado con la fracción residual

VARIABLES AMBIENTALES Y DEL SEDIMENTO						
Bahía	Escorrentía	Límites % Cu del Total en el sedimento	Límites % Saturación O <sub>2</sub>	Límites % materia orgánica en sedimento	Límites %Fe sedimento	Límites % Mn en sedimento
Solano	Baja	4.5 – 12.7	100 – 87	0.24 – 2.94	8.6 – 15.0	0.14 – 0.33
	Alta	3.4 – 12.2	86 – 79	0.21 – 1.53	8.1 – 18.1	0.13 – 0.33
Buenaventura	Baja	2.9 – 4.4		3.53 – 6.19	6.1 – 7.3	0.09 – 0.18
	Alta	2.1 – 5.0	69 – 83	3.41 – 7.35	6.1 – 6.8	0.09 – 0.17

En las bahías investigadas, la fracción reducible de los sedimentos analizados no presentan concentraciones detectables de plomo.

**Fracción de metales asociados con materia orgánica y formas oxidables.** Es una fracción móvil y biodisponible; los sedimentos pertenecientes a la Bahía de Buenaventura poseen en ésta el mayor aporte de cobre, resultado que está en relación con las 7500 tonDBO/año señaladas por Escobar. Para el caso de Bahía Solano esta fracción contiene las concentraciones más bajas de cobre y están conectadas con las 250 tonDBO descargadas a la bahía por año según el mismo autor.

Los límites en términos del porcentaje de cobre asociado con esta fracción, respecto del contenido total y los valores de materia orgánica se presentan en la Tabla 4.

Los sedimentos procedentes de Bahía Solano, correspondientes al área de influencia de Ciudad Mutis muestran en esta fracción concentraciones

#### Contenidos de materia orgánica y Cu asociado con la fracción oxidable

Bahía	Límites en %Cu del total en el sedimento		Límites % de materia orgánica	
	Escorrentía		Escorrentía	
	Baja	Alta	Baja	Alta
B. Solano	1.5 – 12.7	1.4 – 4.9	0.24 – 2.94	0.21 – 1.53
Buenaventura	27.7 – 44.8	31.3 – 41.4	3.58 – 6.19	3.41 – 7.35

relativamente superiores a las halladas en las demás localidades.

El plomo asociado con esta fracción no presenta niveles de plomo detectables para los sedimentos pertenecientes a las bahías estudiadas.

**Fracción residual.** Esta fracción es la litogénica que junto con la oxidable constituyen los principales aportes de cobre a los sedimentos de la Bahía de Buenaventura; en los sedimentos procedentes de Bahía Solano esta fracción representa un alto por-

centaje del cobre total. Para el plomo es la fracción que determina el contenido total en los sedimentos de ambas bahías. Los límites obtenidos se pueden apreciar en la Tabla 5.

Tabla 5

	Cobre asociado con la fracción residual			
	Intervalo % del cobre total		Intervalo % del plomo total	
	Ecorrentía		Ecorrentía	
	Baja	Alta	Baja	Alta
B. Solano	77.7 - 91.5	81.9 - 91.7	70.5 - 100	61 - 100
Buenaventura	48.9 - 64.9	51.9 - 62.3	67.4 - 98.0	81.9 - 100

Los metales asociados con esta fracción no son biodisponibles y no representan peligro para la vida acuática. Hacen parte de la red silicatada como consecuencia de remplazos isomórficos.

**Factores de enriquecimiento.** El factor de enriquecimiento se debe obtener mediante relaciones geológicamente comparables. En este trabajo se propone una nueva relación que implica la concentración total del metal en el sedimento y su concentración en la fracción residual así: (Metal total/metal residual). Este cociente es un criterio que permite comparar el grado de contaminación de una zona sospechosa con otra estimada como no contaminada.

En los sedimentos de Buenaventura para el caso del cobre, el cociente fluctúa entre 1.5 y 2.0 en las dos oportunidades. En las condiciones de Bahía Solano estos límites son: 1.0 y 1.61. De todas maneras en esta última área se presentan algunos contenidos en la fracción móvil, especialmente en la reducible, por lo que la relación no es cercana a uno.

Para el plomo, en Buenaventura los límites de esta relación son: 1.0 - 1.48. En Bahía Solano son: 0.9 - 1.41.

El cociente promedio de la zona de referencia se comparó con los hallazgos para los sedimentos de Buenaventura con el objeto de establecer el grado de enriquecimiento de estos metales. Para el cobre fluctúa entre 1.22 y 1.67. Se presenta una tendencia a obtener mayores relaciones en las muestras correspondiente a la alta escorrentía; teniendo en cuenta el criterio de Hakanson, (1986), el grado de enriquecimiento es moderado.

Aplicando los mismos criterios para plomos se puede clasificar el grado de contaminación como inexistente.

### Conclusiones y Recomendaciones

Las condiciones oceanográficas en las bahías varían de acuerdo con la intensidad de la escorrentía, afectando la salinidad, el pH y la saturación de oxígeno.

Los resultados obtenidos para materia orgánica en los sedimentos aportan indicios de contaminación orgánica; sin embargo, las condiciones de saturación de oxígeno en la columna de agua no son críticas.

El elemento plomo está ausente o se encuentra por debajo de los límites de detección en las fracciones móviles de los sedimentos en las dos bahías estudiadas; se presenta principalmente en la fracción residual. En Buenaventura, durante las dos épocas analizadas, el mayor contenido de cobre en las fracciones móviles del sedimento se presenta preferencialmente asociado con materia orgánica; en Bahía Solano con las formas reducibles.

En las épocas de registro, las relaciones de enriquecimiento para cobre en la Bahía de Buenaventura con respecto a Bahía Solano indican que para este metal se tiene un grado de contaminación moderado; para el plomo, muestran que no existe contaminación.

Se recomienda utilizar el método de las extracciones selectivas por considerar que es conveniente para estudiar los sedimentos como indicadores de contaminación por metales pesados, puesto que origina información sobre disponibilidad, movilidad, forma de presentación del elemento en el sedimento y facilita su interpretación ambiental.

### Bibliografía

- Brannon, J.M., J. Rose, & R. Engler, 1977. The distribution of heavy metals in sediment fractions from Mobile Bay, Alabama. En: Chemistry of Marine Sediment. Yen, T.F., Editor. Ann Arbor Publishers Inc. Michigan, p. 125.
- Comisión Permanente del Pacífico Sur. CPFS, 1984. Unidad Regional de Coordinación. Caracterización y vigilancia de la contaminación a partir de fuentes industriales y mineras en áreas ecológicamente sensibles del Pacífico Sudeste. Quito. 13 p.
- Departamento Nacional de Planeación, COLCIENCIAS, Comisión Colombiana de Oceanografía, 1990. Plan de las Ciencias y Tecnologías del Mar en Colombia 1990-2000. Controles Administrativos Div. Arte e Impresos Bogotá, p. 25.
- Dimar. Armada Nacional. 1991. Boletín Científico Centro Control Contaminación del Pacífico. Sinopsis bio-ecológica de algunos sectores de la Costa Pacífica Nariñense, con énfasis en la calidad de agua. Tumaco, No. 2. pp. 3-93.
- Esoobar, J., 1983. Diagnóstico de la contaminación de las aguas costeras colombianas. INDERENA. Trabajo presentado al Seminario "Los Recursos Naturales y la Expedición Botánica", Bogotá, 16 p.
- . La contaminación marina en Colombia. Documento de diagnóstico de la Agenda Ambiental en Colombia. Estocolmo 10 años después ECOLOMBIA. INDERENA. Bogotá, 31 p.
- Fernández, T., A. Piñón, Fúlido, & O. Villareal, 1987. Calidad de las aguas, contenido de metales en aguas y sedimentos de la Ensenada de Tumaco y Bahía de Buenaventura. INDERENA, 21 p. En: Versiones reducidas de metales pesados y pesticidas en aguas, organismos y sedimentos marinos del Pacífico Sudeste. CPFS. PNUMA. Bogotá.

- Forstner, U., & G. Wittmann, 1979. Metal pollution in the aquatic environment. Springer Verlag, Berlin, N.Y., pp. 30-46.
- Golterman, H.L., P. SLY, & R.L. Thomas, 1983. Study of the relationship between Water Quality and sediment transporte. UNESCO. París, p. 35.
- Hakanson, L., 1986. Metal monitoring in coastal environments. En: Metal in Coastal Environments of Latin America. Editor: Seeliger, U.S., Springer Verlag, Berlín, pp. 242-249.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. IGAC. 1983. Atlas Regional del Pacífico. Sub. de Inv. y Divulgación Geográfica. Bogotá, pp. 73-76.
- Panizzo, L., 1982. Evaluación de los contaminantes que afectan los recursos hidrobiológicos de los países del Convenio Andrés Bello. Monografía Nacional. SECAP/PNUD/UNESCO. Proyecto RLA/78/017. Bogotá, p. 66.
- Ramírez, R.M., 1986. Estadísticas sobre el Recurso Agua. Ministerio de Agricultura. Instituto de Hidrología Meteorología y Adecuación de Tierras HIMAT, Bogotá, p. 220.
- Rader, L.F., & F.S. Grimaldi, 1961. Chemical análisis for selected minor elements in pierre shale, U.S. Geoverment Printing Office, Geological Survey. Professional Paper 391-A. Washington, pp. A33-A35.
- Tessier, A., P. Campbell, & A. Bisson, 1979. Secuential extraction proceduere for speciation of particulate trace Metal. Anal. Chem, 51 (7): 844-850.
- . 1980. Trace metal speciation of USGS reference sample MAG-1. Geostandars Newsletter. 4 (2): 145-148.
- Vives, J., 1981. Variación en la Determinación de la Textura por Boyoucos utilizando un hidrómetro común en cambio del original. INGEOMINAS. Sub. Inv. Químicas. Bogotá, 44 p.