DETERMINACIÓN DE ALGUNOS METALES PESADOS EN EL RÍO MEDELLÍN

Hilda B. Castaño Suaréz*

INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años el río Medellín ha sido una preocupación constante para los habitantes del Valle del Aburra. Cuando la ciudad empezó a crecer tomó el río como su eje y todos los desechos producidos por la acción doméstica, comercial e industrial se empezaron a verter de manera continua a sus aguas, lo que ha causado la degradación que hoy se observa. Las diversas industrias establecidasa lo largo del río Medellín, como son las metalmecánicas, las de curtimbres, de fotografías, pinturas y productos alimenticios, entre otras, descargan sus efluentes, sin ningún tipo de tratamiento, al río y a sus afluentes, convirtiéndose estos cuerpos lóticos en receptores de los efluentes líquidos industriales y domésticos de la ciudad.

En el presente estudio se buscó determinar la presencia de algunos metales en la masa de agua y en los sedimentos del río Medellín, tales como el **CADMIO, CROMO, COBRE Y ZINC,** ya que el contenido de estos metales juega un papel muy importante en la contaminación de los cuerpos de agua, al ocasionar gran impacto por su toxicidad y bioacumulación.

La investigación se realizó en el tramo localizado entre los municipios de Caldas y Copacabana, en cuatro estaciones de muestreo durante un período de cuatro meses, desde agosto hasta noviembre de 1996.

Desde épocas anteriores al río Medellín se le han realizado numerosos estudios para conocer su estado de contaminación. Una vez revisados, se observa que la mayoría de ellos se han dedicado a estudiar parámetros físico - químicos y biológicos, exceptuando quizá el realizado por INDERENA y publicado por Mi Río, el cual incluye en su estudio algunos metales.

Por ello, este trabajo de investigación pretende ser una contribución al conocimiento del estado actual del río Medellín mediante la búsqueda de algunos metales pesados, aún no estudiados, los cuales se sospecha que puedan estar presentes en nuestro sistema lótico.

MARCO TEÓRICO

CONTAMINACIÓN ACUÁTICA

En la mayoría de los usos que el hombre hace del agua, le cambia o afecta su calidad original.

* Ingeniera Civil. Magister Ingeniería Ambiental

Las fuentes de contaminación del agua pueden clasificarse en:

- Fuentes fijas (puntuales o localizadas) como, industrias, municipalidades, plantas de energía, etc.

- Fuentes difusas (no puntuales o distribuidas), como drenajes agrícolas, minería, escorrentia urbana etc.

La contaminación del agua puede clasificarse, según el tipo de agente contaminante en unas ocho categorías así .

- Desechos que demandan oxígeno disuelto en el agua para descomponerse.
- Agentes transmisores de enfermedades (microorganismos y patógenos)
- Nutrientes de plantas acuáticas como nitratos y fosfatos.
- Compuestos sintéticos
- Sustancias inorgánicas y minerales.
- Sedimentos.
- Sustancias radioactivas.
- Calor

LOS METALES EN LA NATURALEZA

Los metales se encuentran dentro de los materiales mas útiles que se conocen, fueron los primeros elementos que conocieron los seres humanos, y han sido de gran importancia en el desarrollo de las civilizaciones.

En el proceso de utilización de los metales, éstos son extraídos de las profundidades de la tierra, se funden y refinan para convertirlos en bienes de consumo que después de usados son botados e incorporados en el ambiente. Además de su uso directo, hay actividades humanas que causan contaminación ambiental por metales.

Los metales se mueven en el ambiente, independientemente de las actividades humanas, estando los organismos vivos expuestos a ligeras concentraciones naturales de estos elementos.

A pesar de la amplia variedad de fuentes, la mayoría de los contaminantes metálicos terminan por alcanzar las aguas superficiales y subterráneas. Los residuos de muchas operaciones industriales que contienen metales se encuentran en forma líquida, las cuales rápidamente alcanzan las fuentes de agua. Además de ello, la escorrentía agrícola, los residuos mineros, y los alcantarillados domésticos, contribuyen a las concentraciones de metales que se encuentran en las aguas superficiales.

Debido al gran crecimiento en la producción de sustancias químicas, para ser utilizadas en las formas mas diversas, éstas llegan en cantidades cada vez mayores a las corrientes de aguas naturales. Sus efectos sobre las plantas y animales no se conocen muy bien y muchas de ellas no se descomponen tan rápidamente como lo hacen las sustancias de origen biológico.

Sustancias como los iones metálicos suelen aparecer en los líquidos residuales industriales y pueden ser venenosos para la vida acuática en niveles bajos de concentración, como el cobre entre 1 y 3 ppm, el zinc entre 0.2 y 0.7 ppm (15). Los compuestos de estos iones pueden verse afectados por alteraciones secundarias debidas a cambios físicos o químicos tales como cambios en la temperatura y el pH, los cuales ejercen una influencia directa sobre la toxicidad, los sólidos en suspensión, generalmente acompañados de materia orgánica procedente de las aguas residuales domésticas e industriales, también son aportantes de iones metálicos, pueden causar grandes efectos sobre los ecosistemas acuáticos.

Los metales pesados, potencialmente presentes en el río Medellín, provienen de los diferentes procesos industriales que se realizan en la ciudad en los cuales se utilizan estos metales pesados como fuentes de materia prima.Tomado de Contaminación Ambiental, vol 9,p. 63, 1987.

LOS METALES TÓXICOS

La contaminación ambiental tiene lugar en muchas formas, tales como la presencia de plaguicidas, detergentes, y material particulado. Mas recientemente, sin embargo, los metales

tóxicos se han identificado como una clase nueva de contaminantes de más peligro para el ambiente que muchos otros, debido a que estos metales no presentan ningún tipo posible de degradación química o biológica. Los compuestos que contienen metales pueden alterarse, pero los metales indeseables permanecen y su estabilidad permite que sean transportados por las corrientes de agua a distancias considerables.

Los metales pesados pueden ser bioacumulados de diversas formas y permanecer en los organismos por largos períodos, situación diferente a la que se presenta en el caso de contaminación por compuestos orgánicos, los cuales son siempre y de alguna forma, biodegradables.

Los metales se han dividido en dos grandes listas: la primera, llamada «lista negra», incluye todas aquellas sustancias que por su persistencia, toxicidad o facilidad de ser bioacumuladas, son tan peligrosas que no pueden ser introducidas en ningún sistema o que requieren la toma de medidas de emergencia cuando se incorporan en los ecosistemas. En estas se incluyen los compuestos organo-clorados, los halogenados y las sustancias que contengan mercurio y cadmio.

Una segunda lista, llamada «lista gris», incluye sustancias que pueden ser descargadas en el medio acuático con extremas medidas de seguridad y ellas incluyen compuestos organo-fosforados, organo-silicatados, así como compuestos de cromo, cobre níquel y zinc.

ORIGEN DE OTROS INDICADORES DE INTERÉS SANITARIO

En la década de los 70, investigaciones realizadas por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos.(E.P.A), identificaron 129 compuestos y elementos, denominados prioritarios o sustancias de interés sanitario, los cuales incluyen 13 metales pesados y 114 compuestos orgánicos altamente tóxicos. Dichos compuestos fueron clasificados como xenobióticos y son incorporados al ambiente por acción del hombre, en concentraciones mayores que aquellas presentes en la naturaleza .

En los estudios realizados hasta la fecha sobre la contaminación del río Medellín se han estimado parámetros físico-químicos y biológicos. En solo una oportunidad se han tenido en cuenta algunos metales y compuestos orgánicos vertidos al río y catalogados como sustancias de interés sanitario, definidas así en el decreto 1594 de 1984, expedido por el ministerio de salud, sobre usos del agua y control de vertimientos.

El código sanitario nacional clasifica como sustancias de interés sanitario las definidas en el decreto 1594 de 1984

PROBLEMAS GENÉRICOS ASOCIADOS A LOS METALES PESADOS

Los metales son elementos químicos brillantes que conducen electricidad y que pueden ser moldeados de varias maneras.

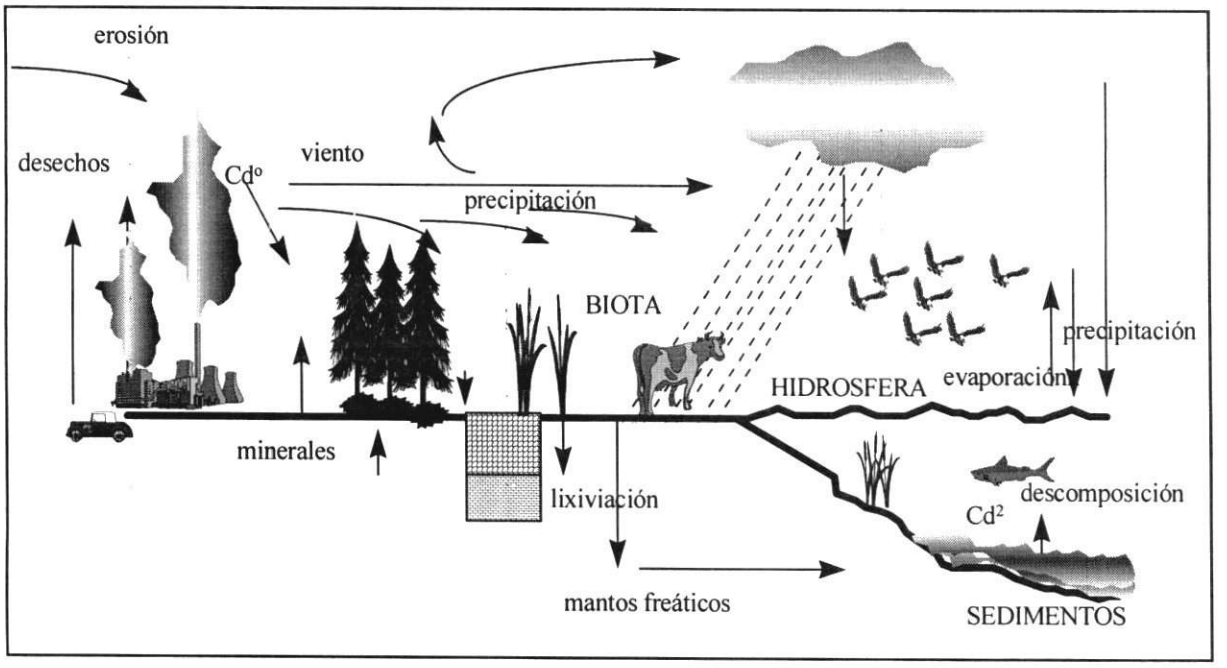
También forman compuestos con otros elementos, como el oxígeno y azufre. Los trabajadores pueden estar expuestos bien sea al metal puro o a sus humos.

Algunos metales no son peligrosos, pero muchos de ellos tienen efectos extremadamente graves, e incluso fatales, dado que los usos industriales de los metales son amplísimos y su destino final es el aire o los cuerpos de agua.

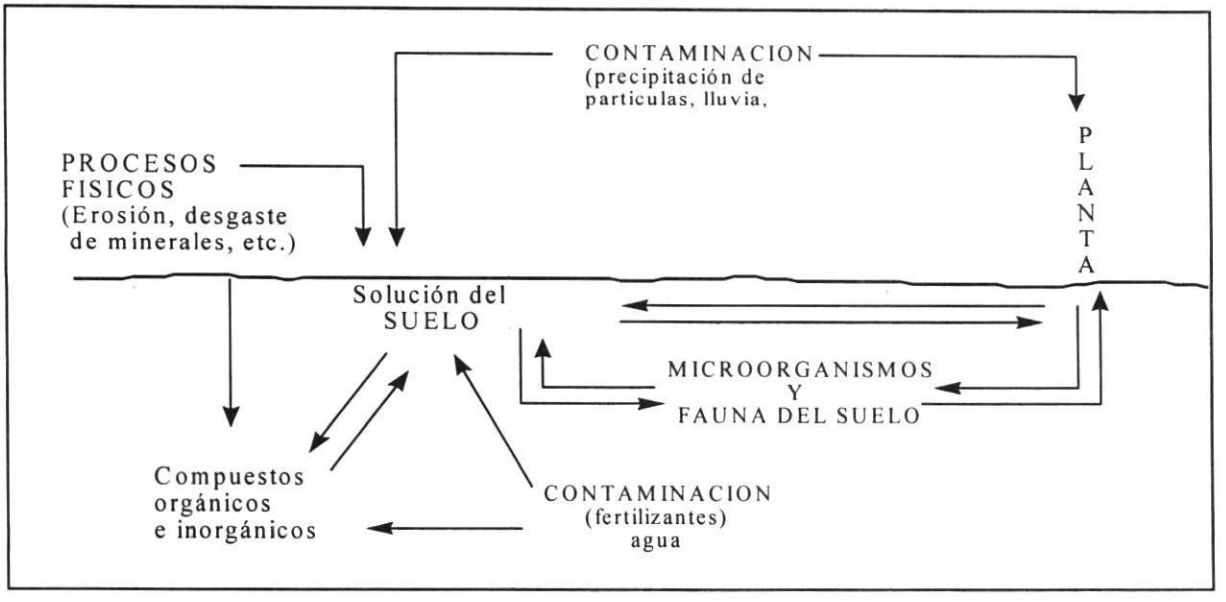
Los metales afectan el sistema nervioso y producen trastornos neurológicos, afectan también otros órganos y algunos producen fiebre por humos del metal.

De los cuatro metales escogido se tuvo en cuenta, su historia, fuentes naturales, fuentes antropogénicas, efectos en el medio abiótico, efectos en el medio biótico ,efectos en el hombre.

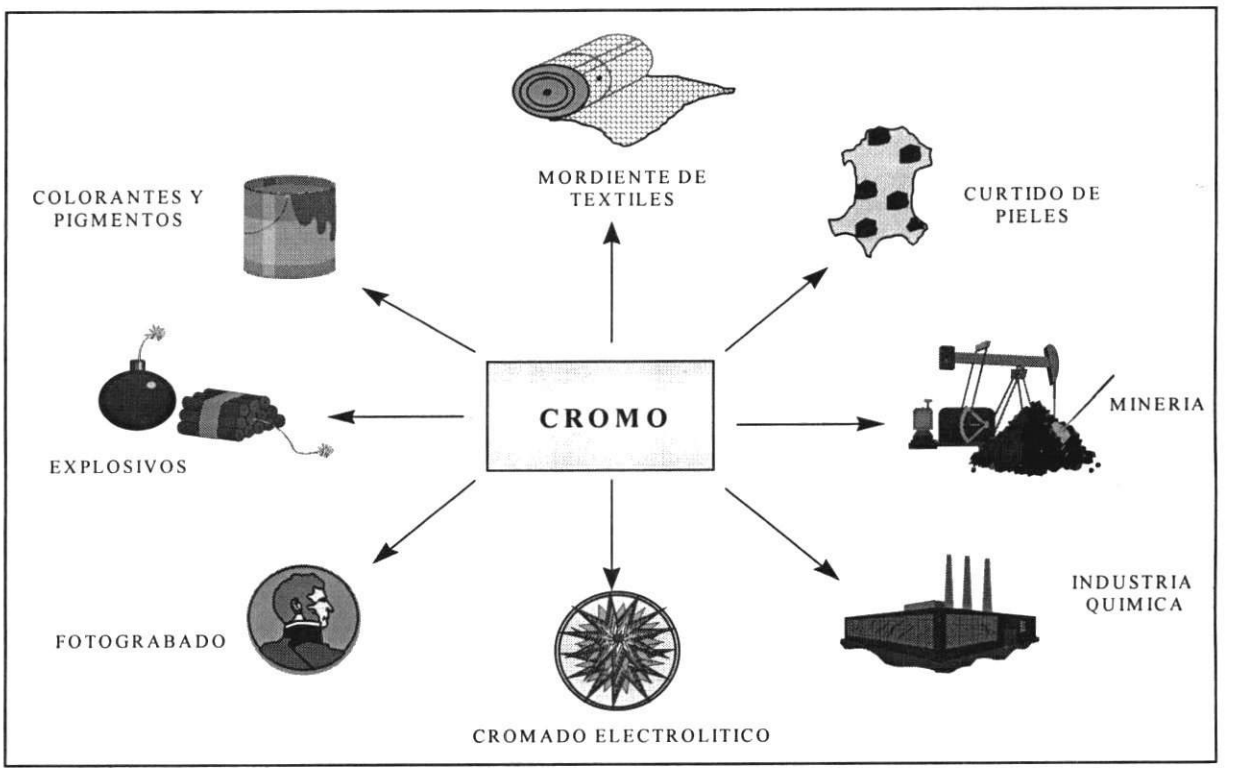
CADMIO EN EL AMBIENTE



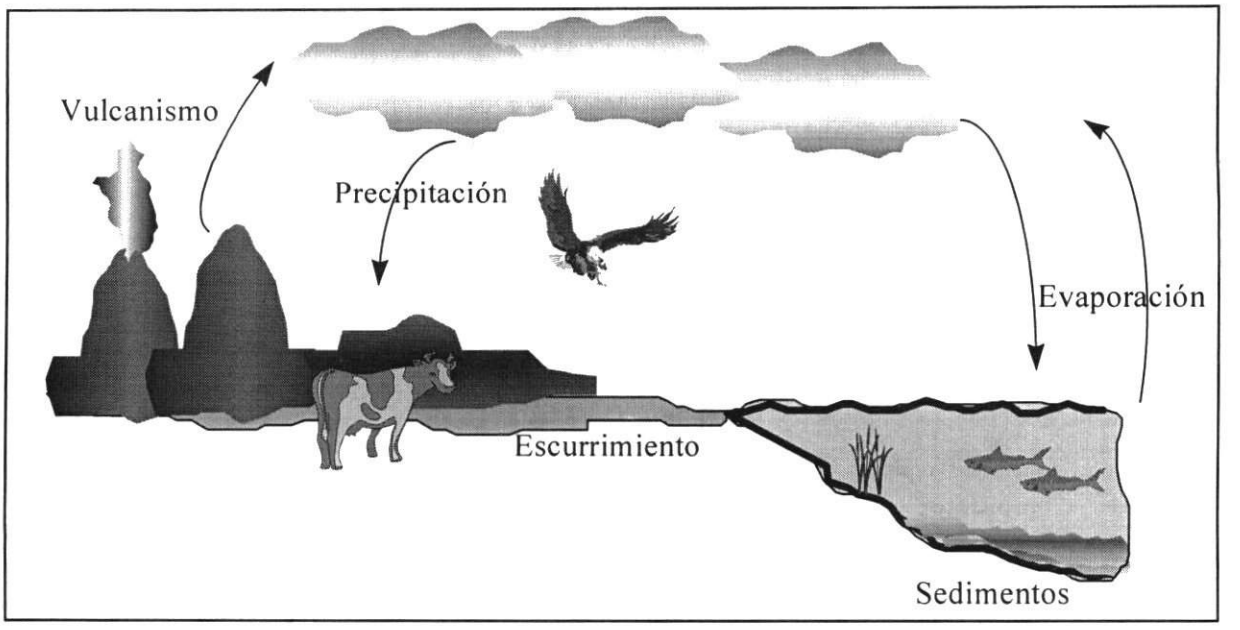
TRANSPORTE DE CADMIO EN EL SUELO



USOS DEL CROMO



FUENTES NATURALES DE CROMO



MATERIALES Y METODOS

DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La cuenca hidrográfica del río Medellín esta conformada por los ramales central y oriental antioqueños, los cuales pertenecen a la cordillera central de los Andes; se elevan a alturas entre los 2500 y 3000 metros sobre el nivel del mar, y están separados por el valle del río Medellín, que corre en dirección sur norte.

El río Medellín nace en el alto de san Miguel, al sur oriente del municipio de Caldas, a una altura de 2700 msnm. En esta misma cuchilla se encuentra el nacimiento de varias quebradas las cuales junto con las quebradas, La Mina, la Salada y La Clara dan origen al río Medellín, representando la cabecera o cuenca de recepción de la cuenca hidrográfica del río Medellín. Gran parte de este nacimiento está cubierto de bosque secundario, el cual tiene un buen grado de sucesión. Dicho bosque está localizado dentro de la zona de vida bosque muy húmedo montano bajo.

En esta hoya se distinguen algunas formaciones geológicas de diferente naturaleza las cuales hacen parte del complejo polimetamórfico de la cordillera central. Los materiales más resistentes a la meteorización forman las laderas de mayor inclinación, y los menos consolidados, los mas recientes, han sido acarreados por el río para finalmente depositarse en su lecho en los puntos de menor corriente.

La topografía de la cuenca comprende dos unidades geomorfológicas bien diferenciadas. Las laderas que tienen altas pendientes, algunas superiores al 50%, dan lugar a desprendimientos superficiales, ya que la cobertura del suelo es muy delgada y la llanura aluvial, un área relativamente plana que nace de la acumulación de sedimentos aportados por los torrentes de ladera, los cuales rellenan el lecho mayor del río.

La posición geográfica de la hoya, comprendida dentro de la región tropical, determina el régimen climático de la zona, caracterizado por poca variación en la temperatura y la presencia de dos épocas de invierno y dos de verano.

Desde su nacimiento y hasta la quebrada la Salada, en el sitio denominado primavera, el río recorre 7 km. y presenta una pendiente promedia del 2%. Entre Primavera y el Ancón Sur, el río recorre 16 km y cae 178 metros con una pendiente promedio de 1.95%.

Antes del puente de Envigado, donde se inicia su canalización, hasta el puente del mico, el río recorre 17.5 km con márgenes rectificadas, taludes uniformes y placas de concreto con una pendiente uniforme y menor del 1%. Entre el puente del mico y Copacabana la pendiente disminuye considerablemente del 1% al 0,06% en un trayecto de 11 km.

La zona comprendida entre Primavera y Copacabana es asiento de una gran acumulación de población e industrias, las aguas del río están altamente contaminadas con la desaparición completa de la vida acuática normal, su cauce esta convertido en una cloaca a cielo abierto, cuyos efectos se propagan aguas abajo.

Las características hidráulicas del río Medellín han sido alteradas considerablemente. En trayectos muy largos se han presentado grandes transformaciones como consecuencia de la explotación de material de playa, lo que ha hecho que la composición natural del lecho del río cambie, sus rocas y rápidos han ido desapareciendo, disminuyendo su capacidad de reaireación y formándose zonas de depositación de sedimentos por la pérdida de velocidad.

ESTACIONES DE MUESTREO.

LOCALIZACIÓN

Para el presente estudio del río Medellín, se localizaron cuatro estaciones de muestreo, la primera

en el municipio de Caldas, arriba del sitio donde el río cruza la variante de Caldas, la segunda frente a la estación Envigado del tren metropolitano, la tercera en el Barrio Caribe y la cuarta en el municipio de Copacabana antes del puente. Se trató de que las estaciones se localizaran lo mas separadas posible una de la otra y que no se presentaran descargas tanto industriales como domésticas cerca al sitio de muestreo.

DESCRIPCIÓN.

Estación Número Uno, localizada en el municipio de Caldas, en este sitio el río conserva su cauce natural y esta cubierto de vegetación, en la parte superior de este sitio se observan algunas viviendas y pequeñas industrias.

Estación Número Dos, frente a la estación envigado del metro, está localizada en el municipio de Envigado; en este sitio el río está canalizado y ya recibe las aguas industriales y domésticas de los municipios de Caldas, Sabaneta, La Estrella e Itagüi.

Estación Número Tres, frente a la Estación Caribe, localizada en el municipio de Medellín en el barrio Moravia, en este sitio el río se encuentra canalizado y recibe todas las aguas industriales y domésticas de la zona sur del Valle de Aburrá.

Estación Número Cuatro, localizada en el municipio de Copacabana; en este sitio el río no está canalizado, tiene algo de vegetación en sus riveras, y ha perdido en parte su cauce natural por la acción antropogénica que se presenta cerca al lugar de la toma de muestra. En este sitio el río recibe todas las aguas residuales, domésticas e industriales de la ciudad de Medellín y la parte sur del Valle de Aburrá.

TOMA DE MUESTRAS.

El muestreo se realizó manualmente, en el período comprendido de agosto a diciembre, época de invierno intenso en todo el territorio del área metropolitana. La muestra tomada fue puntual; se recogió en recipiente de plástico, una vez se tomó, la muestra se aciduló con HNO_3 concentrado para bajar el pH a 2 y se llevó al frigorífico a 4 grados centígrados para evitar cambios de volumen. En estas condiciones la muestra se mantiene estable hasta por seis meses.

Los sedimentos se extrajeron con pala draga manual para muestras a nivel de laboratorio, a una profundidad de 10 centímetros, se empacaron en bolsas plásticas y se llevaron al laboratorio para ser secados a temperatura ambiente.

Para la determinación de C.O.T. se recogió la muestra, se acidifico con HCL 2N, y se refrigeró a 4 grados centígrados con exposición mínima a la luz y al aire atmosférico para ser leídas lo mas pronto posible.

En los sitios de muestreo se realizaron mediciones de temperatura del agua, pH, conductividad, cianuro, y COT, lo cual se puede ver en la Tabla No 3.

METODOS DE ANÁLISIS EN EL LABORATORIO

Los metales se analizaron realizando dos extracciones una extracción fuerte.

Y otra debil para las tres fases determinadas las cuales son: **fase soluble, fase suspendida**,y **sedimentos** según el Standar Methods, edición 17 númerales 3111A y 3030B.

RESULTADOS

Tabla 3. Otras mediciones realizadas

	Estación 1	Estación 2	Estación 3	Estación 4
MUESTREO 1				
Temperatura °C	19	22	23.4	24
pH				
Conductividad				
Cianuro ppb	1.28	3.6	9.4	5
C.O.T: mg/lt	10.7	19.7	20.7	24.9
MUESTREO 2				
Temperatura °C	20	22.2	23.7	24.8
pH	7.1	7.4	7,4	7,6
Conductividad	92	210	317	308
Cianuro Ug/ml	1.0	1.8	2.8	3.8
C.O.T.mg/l	3.3	19.4	16.5	18.7
MUESTREO 3				
Temperatura °C	18.9	22	23.2	24
pH	7.3	7.4	7.41	7.2
Conductividad	51	174	348	304
Cianuro Ug/ml	1.34	3.64	9.4	5^{-3}
C.O.T.mg/l	5.2	18.5	28.9	43.6

Tabla 4. Resultados de metales pesados primer muestreo

ANALISIS		ESTACIONES				METAL
		CALDAS	ENVIGADO	CARIBE	COPACABANA	
Fase soluble ppb	E.F.	13	17	13	17	CADMIO
	E.D.	0.2	0.2	0.2	0.2	
Fase suspendida ppb	E.F.	9	13	9	9	
	E.D.	<2	<2	<2	<2	
Fase sedimentos ppb	E.F.	6000	7000	11000	5000	
	E.D.	3000	3000	4000	4000	
Fase soluble ppb	E.F.	<1	31	68	44	COBRE
	E.D.	<1	<1	<1	<1	
Fase suspendida ppb	E.F.	10	88	136	112	
	E.D.	10	64	88	88	
Fase sedimentos ppb	E,F.	78000	26000	121000	53000	
	E.D.	60000	17000	117000	50000	
Fase soluble ppb	E.F.	23	23	139	197	CROMO
	E.D.	<2	<2	46	46	
Fase suspendida ppb	E.F.	46	20	104	220	
	E.D.	46	20	46	47	
Fase sedimentos ppb	E.F:	42000	56000	35000	47000	
	E.D.	34000	6000	35000	49000	
Fase soluble ppb	E.F.	45	804	202	146	ZINC
	E.D.	19	28	32	13	
Fase suspendida ppb	E.F.	80	103	282	266	
	E.D.	54	92	23	230	
Fase sedimentos ppb	E.F.	74000	58000	139000	0.171	
	E.D.	51000	56000	83000	99000	

Tabla 5. Resultados de metales pesados segundo muestreo

ANALISIS		ESTACIONES				METAL
		CALDAS	ENVIGADO	CARIBE	COPACABANA	
Fase soluble ppb	E.F.	0.2	7	10	7	CADMIO
	E.D.	0.2	0.2	0.2	1	
Fase suspendida ppb	E.F.	4	7	53	14	
	E.D.	0.2	0.2	0.2	0.2	
Fase sedimentos ppb	E.F.	5000	5000	5000	6000	
	E.D.	2000	2000	2000	2000	
Fase soluble ppb	E.F.	33	1	1	1	COBRE
	E.D.	1	1	1	1	
Fase suspendida ppb	E.F.	41	17	17	17	
	E.D.	4	16	10	16	
Fase sedimentos ppb	E.F.	34000	37000	35000	546000	
	E.D.	34000	31000	32000	480000	
Fase soluble ppb	E.F.	<2	<2	<2	<2	CROMO
	E.D.	<2	<2	<2	<2	
Fase suspendida ppb	E.F.	20	18	88	111	
	E.D.	20	7	17	35	
Fase sedimentos ppb	E.F.	9000	9000	14000	18000	
	E.D.	4000	6000	11000	15000	
Fase soluble ppb	E.F.	68	100	192	86	ZINC
	E.D.	38	56	64	27	
Fase suspendida ppb	E.F.	22	61	265	69	
	E.D.	15	60	193	63	
Fase sedimentos ppb	E.F.	46000	53000	83000	197000	
	E.D.	6000	22000	27000	191000	

Tabla 6. Resultados de metales pesados tercer muestreo

ANALISIS		ESTACIONES				METAL
		CALDAS	ENVIGADO	CARIBE	COPACABANA	
Fase soluble ppb	E.F.	< 0.2	< 0.2	1	< 0.2	CADMIO
	E.D.	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	
Fase suspendida ppb	E.F.	17	8	12	2	
	E.D.	2	2	2	2	
Fase sedimentos ppb	E.F.	12000	14000	14000	15000	
	E.D.	2000	2000	2000	2000	
Fase soluble ppb	E.F.	< 1	< 1	< 1	<1	COBRE
	E.D.	< 1	<1	< 1	< 1	
Fase suspendida ppb	E.F.	170	150	170	189	
	E.D.	10	71	130	110	
Fase sedimentos ppb	E.F.	42000	32000	77000	92000	
	E.D.	13000	12000	32000	57000	
Fase soluble ppb	E.F.	<2	< 2	41	< 2	CROMO
	E.D.	<2	<2	15	< 2	
Fase suspendida ppb	E.F.	67	80	92	120	
	E.D.	2	40	67	80	
Fase sedimentos ppb	E.F.	7000	10000	13000	17000	
	E.D.	2000	2000	11000	6000	
Fase soluble ppb	E.F.	72	36	136	36	ZINC
	E.D.	< 0.5	<0.5	<0.5	< 0.5	
Fase suspendida ppb	E.F.	44	140	970	752	
	E.D.	6	120	960	744	
Fase sedimentos ppb	E.F.	74000	200000	223000	240000	
	E.D.	47000	70000	152000	120000	

CADMIO

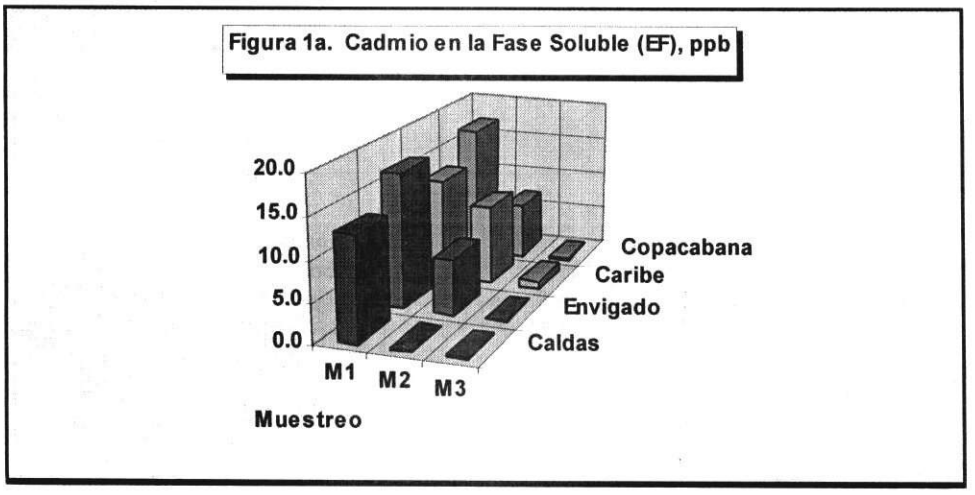


Figura 1a. Cadmio en la Fase Soluble (EF), ppb
20.0
15.0
10.0
5.0
0.0
M1
M2
M3
Muestreo
Copacabana
Caribe
Envigado
Caldas

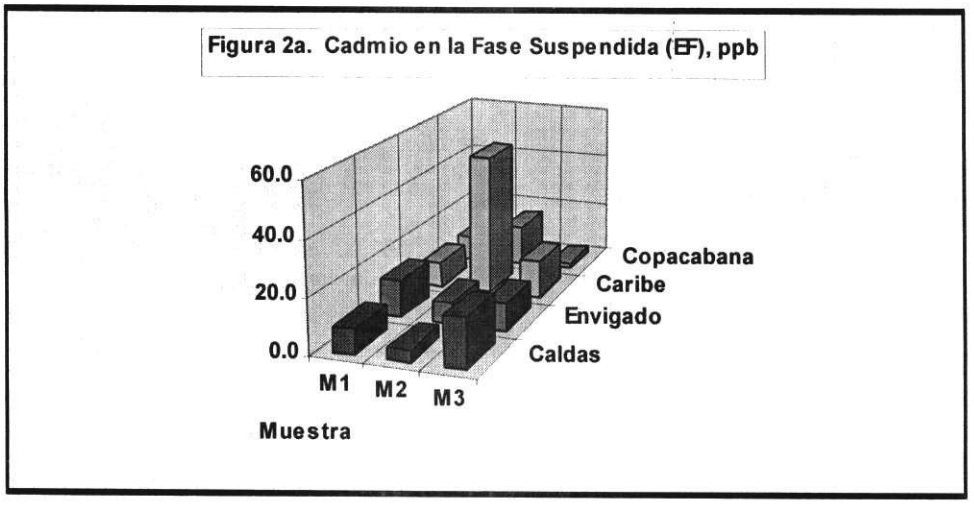


Figura 2a. Cadmio en la Fase Suspendida (EF), ppb
60.0
40.0
20.0
0.0
M1
M2
M3
Muestra
Copacabana
Caribe
Envigado
Caldas

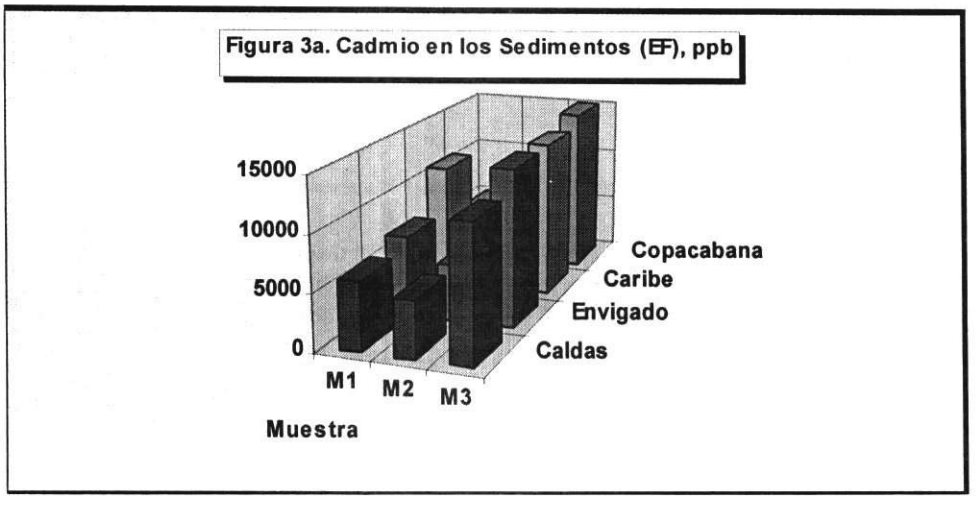


Figura 3a. Cadmio en los Sedimentos (EF), ppb
15000
10000
5000
0
M1
M2
M3
Muestra
Copacabana
Caribe
Envigado
Caldas

Figura 1b. Cadmio en la Fase Soluble (ED), ppb

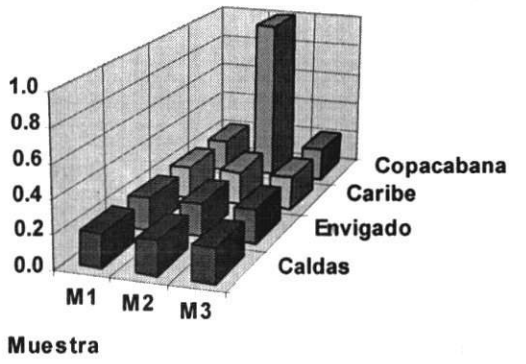


Figura 2b. Cadmio en la Fase Suspendida (ED), ppb

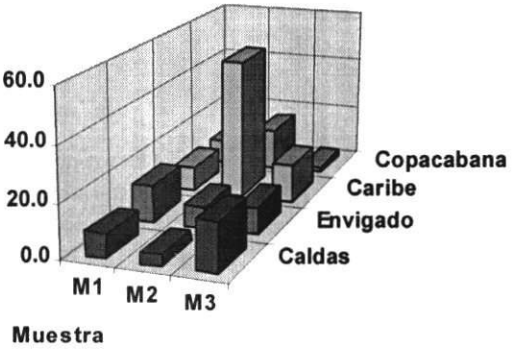
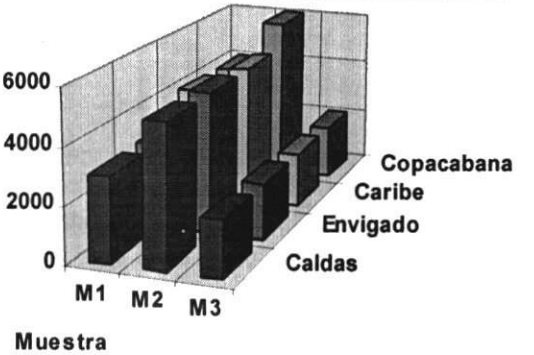


Figura 3b. Cadmio en los Sedimentos (ED), ppb



COBRE

Figura 4a. Cobre en la Fase Soluble (EF), ppb

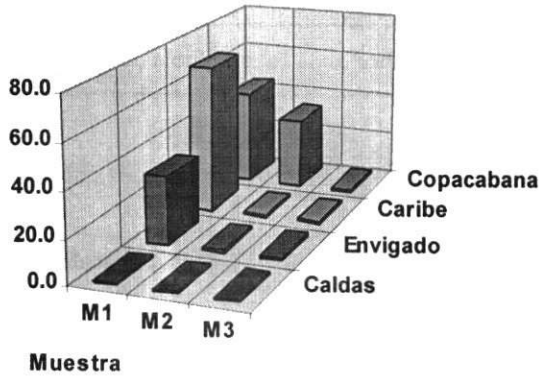


Figura 5a. Cobre en la Fase Suspendida (EF), ppb

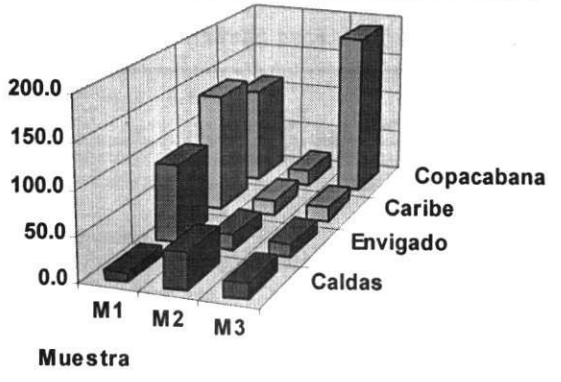


Figura 6a. Cobre en los Sedimentos (EF), ppb

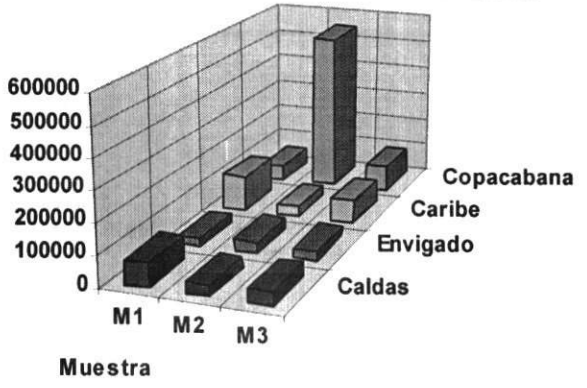


Figura 4b. Cobre en la Fase Soluble (ED), ppb

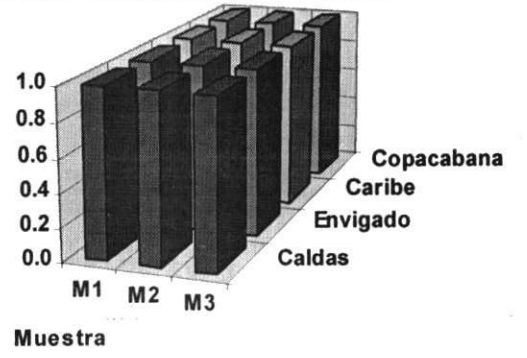


Figura 5b. Cobre en la Fase Suspendida (ED), ppb

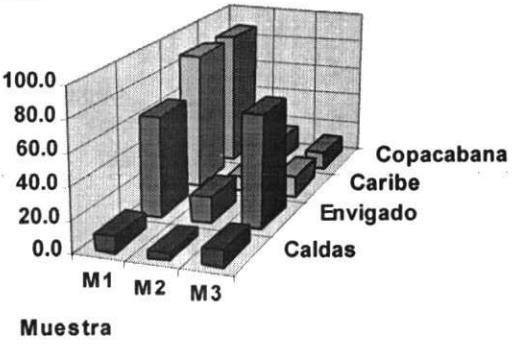
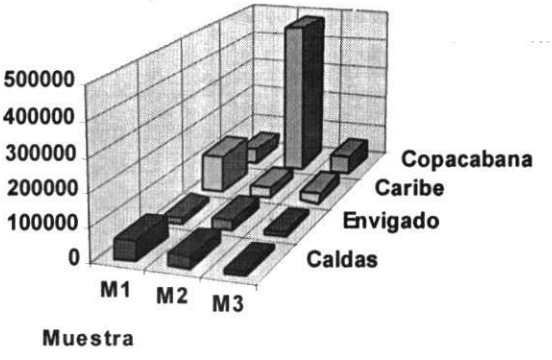


Figura 6b. Cobre en los Sedimentos (ED), ppb



CROMO

Figura 7a. Cromo en la Fase Soluble (EF), ppb

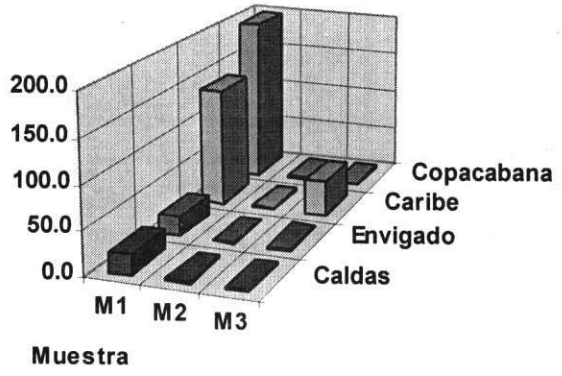


Figura 8a. Cromo en la Fase Suspendida (EF), ppb

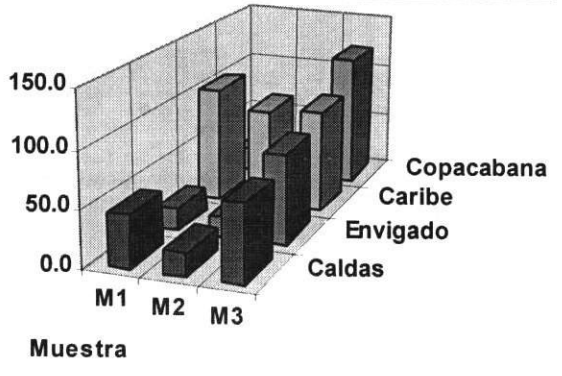


Figura 9a. Cromo en los Sedimentos (EF), ppb

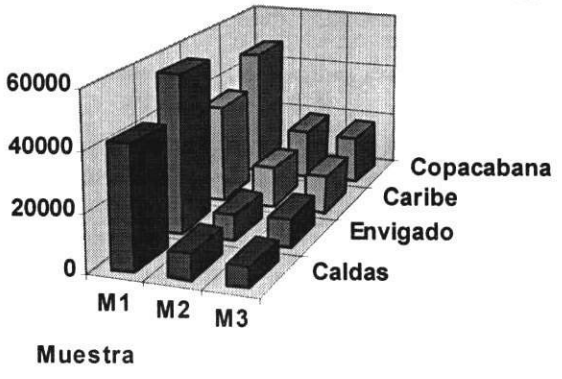


Figura 7b. Cromo en la Fase Soluble (ED), ppb

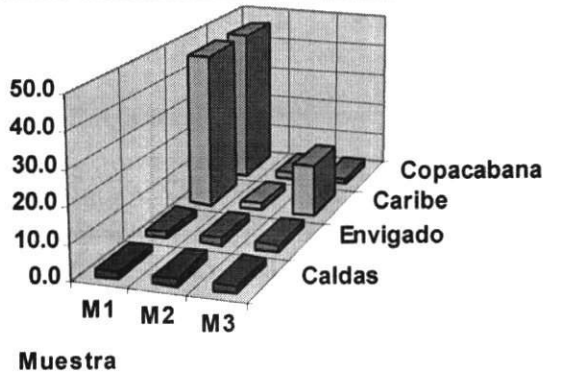


Figura 8b. Cromo en la Fase Suspendida (ED), ppb

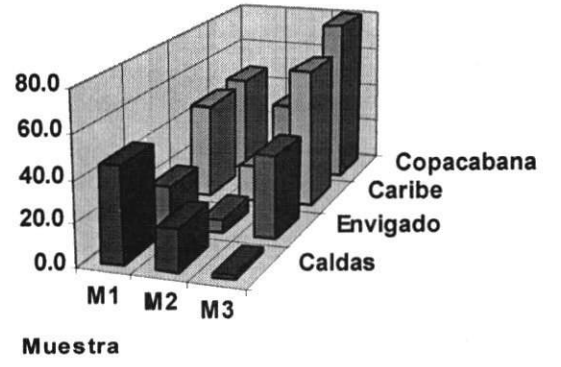
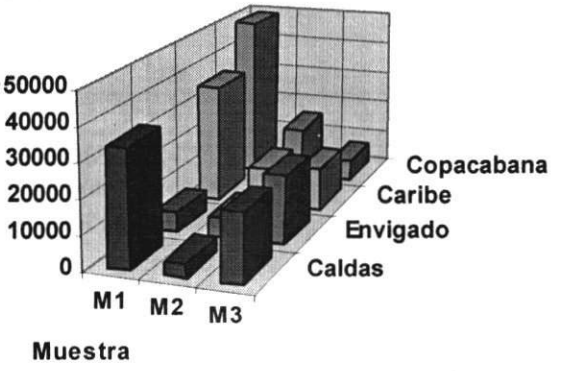


Figura 9b. Cromo en los Sedimentos (ED), ppb



CINC

Figura 10a. Cinc en la Fase Soluble (EF), ppb

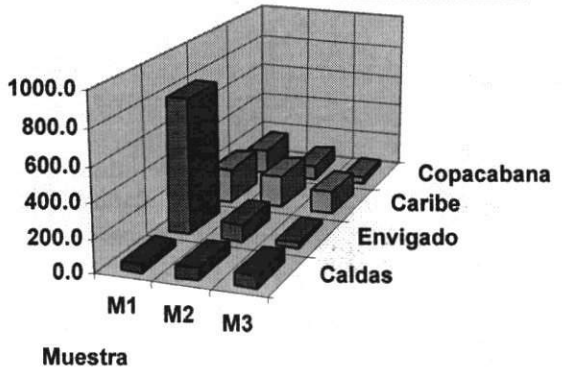


Figura 11a. Cinc en la Fase Suspendida (EF), ppb

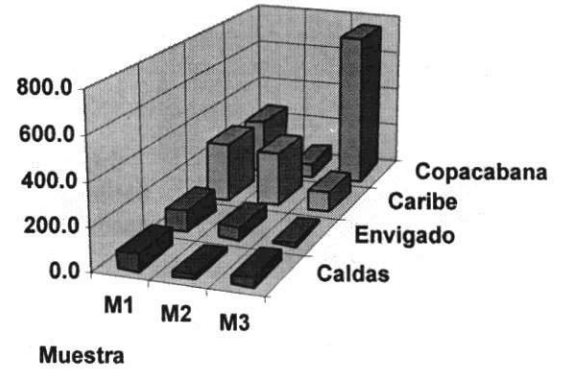


Figura 12a. Cinc en los Sedimentos (EF), ppb

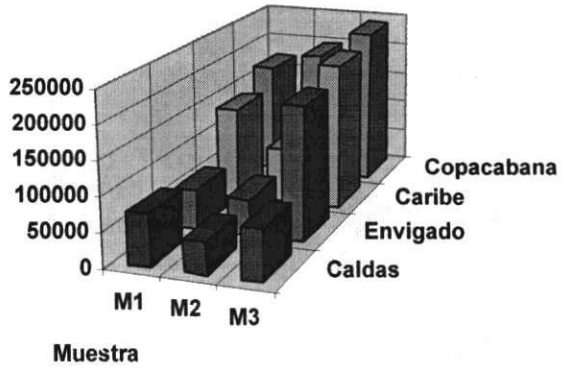


Figura 10b. Cinc en la Fase Soluble (ED),ppb

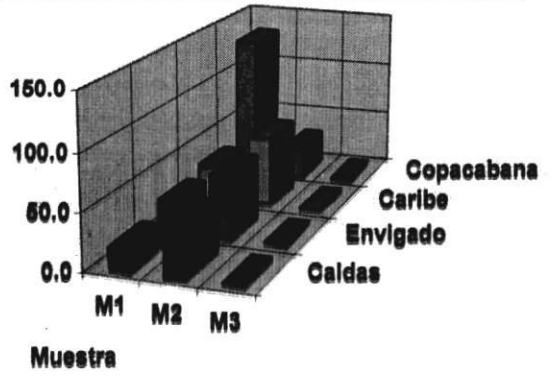


Figura 11b. Cinc en la Fase Suspendida (ED), ppb

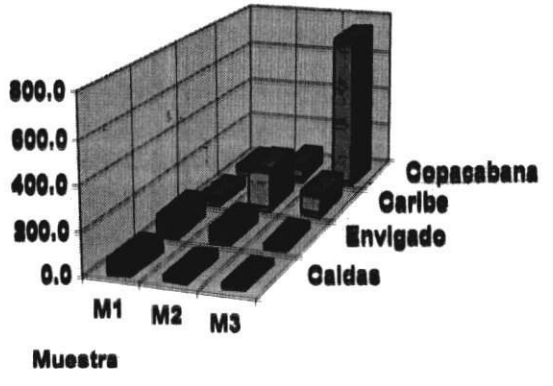
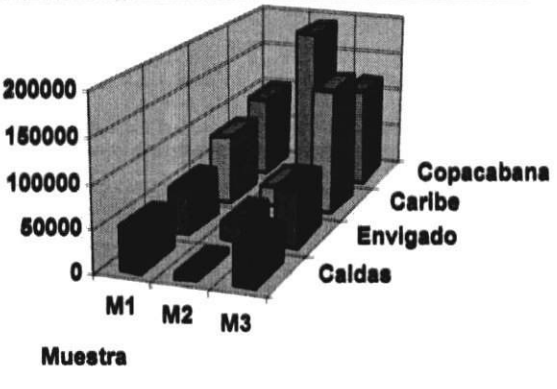


Figura 12b. Cinc en los Sedimentos (ED), ppb



ANÁLISIS DE RESULTADOS

Cadmio

Las gráficas 1a, 2a, y 3a, muestran los resultados obtenidos para el Cadmio en las aguas del río Medellín, luego de haber sido extraído por el método de extracción fuerte, EF (ver Materiales y Métodos).

Como puede verse allí, las concentraciones fueron muy bajas para la fase soluble (la columna de agua), alcanzando en todo momento valores inferiores a los 20 ppb. De otra parte, para la fase suspendida, el Cadmio hallado en los SS fue también bajo, pero con valores siempre superiores a los observados en la fase soluble, alcanzando valores de hasta 60 ppb.

Cosa totalmente diferente se observó con la concentración de este metal en los sedimentos tomados del río. Los valores obtenidos allí fueron del orden de varios miles de ppb, alcanzando valores de 15,000 ppb (o 15 mg de Cadmio por cada kg. de sedimento analizado), corroborando hipótesis anteriores sobre el efecto de concentración de los metales pesados en los sedimentos del río.

Las gráficas 1b, 2b, y 3b, muestran los resultados obtenidos para el Cadmio en las aguas del río Medellín, luego de haber sido extraído por el método débil, ED (ver Materiales y Métodos).

De manera similar a lo observado con la extracción fuerte, las concentraciones fueron bajas tanto para la fase soluble (la columna de agua), como para la fase suspendida (siendo superiores los valores hallados en la fase suspendida).

Igualmente a lo obtenido con la extracción fuerte, luego de efectuar la extracción débil se observa como la concentración de este metal en los sedimentos tomados del río es extremadamente alta si se le compara con las concentraciones obtenidas en la columna de agua. Los valores registrados allí alcanzaron la cifra de los 40,000 ppb (o 40 mg de Cadmio por cada kg. de sedimento seco).

No se apreció ningún tipo de tendencia en cuanto a la presencia de Cadmio, a medida que se desplazó el sitio de muestreo a lo largo del río. La posible presencia de fuentes puntuales de Cadmio cerca a algunos de los sitios de muestreo puede explicar dicho comportamiento.

Parece existir algún tipo de correlación inversa entre la concentración del metal en la fase soluble y los sedimentos; en otras palabras, cuando se detectó poco metal en la columna de agua (muestreo No. 3) se encontró su máxima concentración en los sedimentos.

Cobre

En el caso del Cobre se presentaron bastante similitudes con lo observado para el Cadmio.

Las gráficas 4a, 5a, y 6a, muestran los resultados obtenidos en las muestras de columna de agua (fase soluble), sólidos en suspensión (fase suspendida), y sedimentos del río, al ser extraído el Cobre usando el método de extracción fuerte, EF (ver Materiales y Métodos).

Las gráficas 4b, 5b, y 6b, muestran los resultados obtenidos en las muestras de columna de agua (fase soluble), sólidos en suspensión (fase suspendida), y sedimentos del río, al ser extraído el Cobre usando el método de extracción débil, ED (ver Materiales y Métodos).

La extracción fuerte del metal arrojó el siguiente comportamiento. En primer lugar se observaron las mas bajas concentraciones en la fase soluble (columna de agua), con valores de hasta 70 ppb, mientras que en los sólidos suspendidos se observaron valores de hasta 200 ppb.

Estos valores fueron indudablemente bajos, especialmente al compararlos con los valores obtenidos en los sedimentos del río. Con extracción fuerte se detectaron valores de 540,000 ppb de Cobre (540 mg de Cobre por cada kg. seco de sedimento analizado) en el lecho del río.

La extracción débil del metal mostró igual comportamiento. Inicialmente muy bajas concentraciones en la fase soluble (por debajo de 1 ppb, límite de detección del método empleado), mientras que se observaron valores de hasta 100 ppb en los sólidos suspendidos.

Para los sedimentos se observaron valores de hasta 450,000 ppb (450 mg de Cobre por cada kg. seco de sedimento analizado), mostrando en todos los casos valores muy superiores a los detectados para las fases soluble y suspendida, corroborando de nuevo la hipótesis planteada del efecto de concentración de metales en los sedimentos del río.

Al igual que para el Cadmio, no se apreció ningún tipo de tendencia en cuanto a la presencia de Cobre, a medida que se desplazó el sitio de muestreo a lo largo del río. La posible presencia de fuentes puntuales de Cobre cerca a algunos de los sitios de muestreo puede explicar dicho comportamiento

Cromo

Lo primero que se debe aclarar es que los resultados obtenidos se refieren al contenido de Cromo total (el método no diferencia Cromo hexavalente de cromo trivalente, los incluye a ambos) en las muestras analizadas.

En el caso del Cromo se presentaron similitudes con lo antes observado y descrito tanto para el Cadmio como para el Cobre. Las gráficas 7a, 8a, y 9a, muestran los resultados obtenidos en las muestras de columna de agua (fase soluble), sólidos en suspensión (fase suspendida), y sedimentos del río, al ser extraído el Cromo usando el método de extracción fuerte, EF (ver Materiales y Métodos).

Las gráficas 7b, 8b, y 9b, muestran los resultados obtenidos en las muestras de columna de agua (fase soluble), sólidos en suspensión (fase suspendida), y sedimentos del río, al ser extraído el Cromo usando el método de extracción débil, ED (ver Materiales y Métodos).

La extracción fuerte del metal arrojó el siguiente comportamiento. En primer lugar se observaron concentraciones bajas en la fase soluble (columna de agua), con valores de hasta 200 ppb, mientras que en los sólidos suspendidos se observaron valores de hasta 120 ppb. Este comportamiento, muy claramente observado en el Cadmio y en el Cobre, no se observó que siguiese un patrón fijo en el caso del Cromo.

Sin embargo, estos valores siguen siendo indudablemente bajos, especialmente al compararlos con los valores obtenidos en los sedimentos del río. Con extracción fuerte se detectaron valores de 55,000 ppb de Cromo (55 mg de Cromo total por cada kg. seco de sedimento analizado) en el lecho del río.

La extracción débil del metal mostró igual comportamiento. Inicialmente muy bajas concentraciones en la fase soluble (con valores de hasta 50 ppb), mientras que se observaron valores de hasta 80 ppb en los sólidos suspendidos.

Para los sedimentos se observaron valores de hasta 45,000 ppb (45 mg de Cromo total por cada kg. seco de sedimento analizado), mostrando en todos los casos valores muy superiores a los detectados en las fases soluble y suspendida, corroborando otra vez mas la hipótesis planteada sobre el efecto de concentración de metales en los sedimentos del río.

A diferencia de lo que se sucedió con el Cadmio y el Cobre, se observó un incremento en los valores encontrados de Cromo a medida que se desplazó el sitio de muestreo a lo largo del río. La posible presencia de fuentes puntuales de Cromo a lo largo del río (Curtiembres, por ejemplo) puede explicar dicho comportamiento.

Cinc

En el caso del Cinc se presentaron similitudes con lo antes observado y descrito para el Cadmio, el Cobre, y el Cromo.

Las gráficas 10a, 11a, y 12a, muestran los resultados obtenidos en las muestras de columna de agua (fase soluble), sólidos en suspensión (fase suspendida), y sedimentos del río, al ser extraído el Cinc usando el método de extracción fuerte, EF (ver Materiales y Métodos).

Las gráficas 10b, 11b, y 12b, muestran los resultados obtenidos en las muestras de columna de agua (fase soluble), sólidos en suspensión (fase suspendida), y sedimentos del río, al ser extraído el Cinc usando el método de extracción débil, ED (ver Materiales y Métodos).

La extracción fuerte del metal arrojó el siguiente comportamiento. En primer lugar se observaron concentraciones un poco mas altas en la fase soluble (columna de agua), con valores de hasta 1,000 ppb, mientras que en los sólidos suspendidos se observaron valores de hasta 800 ppb. Al igual que para el Cromo, este comportamiento, muy claramente observado en el Cadmio y en el Cobre, no se observó que siguiese un patrón fijo en el caso del Cinc. En ocasiones se halló mas Cinc en la fase soluble, mientras que en otras se halló mas Cinc en los sólidos suspendidos.

Sin embargo, estos valores continúan siendo bajos, mas aún al compararlos con los valores obtenidos en los sedimentos del río. Con extracción fuerte se detectaron valores de 250,000 ppb de Cinc (250 mg de Cinc por cada kg. seco de sedimento analizado) en el lecho del río.

La extracción débil del metal mostró similar comportamiento. Inicialmente muy bajas concentraciones en la fase solubie (con valores de hasta 140 ppb), mientras que se observaron valores de hasta 800 ppb en los sólidos suspendidos.

Para los sedimentos se observaron valores de hasta 200,000 ppb (200 mg de Cinc por cada kg. seco de sedimento analizado), mostrando en todos los casos valores muy superiores a los detectados en las fases soluble y suspendida, corroborando una vez mas la hipótesis planteada sobre el efecto de concentración de metales en los sedimentos del río.

Aun cuando la primera estación de muestreo (Caldas) mostró las mas bajas concentraciones de Cinc, no se observó una tendencia definida en los valores encontrados de Cinc a medida que se desplazó el sitio de muestreo a lo largo del río.

CONCLUSIONES

En todas las muestras analizadas se observó la misma tendencia. Los metales pesados analizados (Cadmio, Cobre, Cromo, y Cinc) se encuentran concentrados en los sedimentos del río Medellín, afectando de manera directa los organismos bénticos del río.

Si bien la concentración de los metales pesados estudiados no superan de manera importante los límites establecidos para ellos en los diversos usos potenciales del agua del río, establecidos en el decreto 1594 de 1984, su uso debe restringirse hasta que se conozca mas acerca de estos y otros metales pesados (caso el Mercurio) y su concentración en el lecho del río.

Debe tenerse especial precaución en el uso que se le de al futuro lodo originado en las plantas de tratamiento de aguas residuales que se instalen en la ciudad (caso San Fernando, EEPP de Medellín), ya que puede esperarse que dichos lodos estén enriquecidos en metales pesados.

Futuros estudios de la calidad del río Medellín deben incluir muestreos y análisis cuidadosos de sustancias de interés sanitario presentes en los sedimentos. La calidad del agua del río no es un indicativo claro de lo que sucede con todo el recurso.

Debe controlarse la disposición final de lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales industriales, pues puede esperarse allí una gran concentración de metales pesados.

Para los metales estudiados en el río Medellín se encontraron factores de concentración, es decir la relación entre la concentración del metal en el sedimento y la concentración del metal total en

la columna de agua (disuelto mas suspendido) que van desde 100 hasta 10,000. Por esa razón, cualquier muestreo futuro del río deberá incluir, por lo menos, análisis de metales pesados en los sedimentos del río.

RECOMENDACIONES

Estudiar los mecanismos de deposición de los metales pesados en los sedimentos de forma que se pueda tratar de revertir la situación o evitar que se presente en el futuro, especialmente en los lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales, las cuales disponen sus lodos en el Relleno Sanitario de la ciudad, aumentando así su carga tóxica potencial.

Incluir siempre en el futuro, en estudios a realizarse sobre la calidad del río Medellín, un análisis detallado de metales pesados en los sedimentos del río.

Se deben realizar estudios sobre "desintoxicación" de lodos (remoción de los metales pesados allí presentes).

Se debe continuar con el empleo de "bio-indicadores", especialmente de organismos bénticos, para seguir de una manera continua la calidad del recurso.

Es importante que las Autoridades Ambientales actualicen y publiquen el inventario de fuentes potenciales de contaminación por metales pesados y otras sustancias de interés sanitario aun existentes en la cuenca del río Medellín.

Se debe estudiar la presencia de cromo Hexavalente (Cr+6) en la cuenca del río Medellín. El presente estudio midió Cromo total, pero se conoce que el riesgo ambiental del cromo es debido a su forma hexavalente y no a la trivalente (Cr+3).

BIBLIOGRAFÍA.

ALBER A. Lilia. Curso básico de toxicología ambiental. Editorial Limusa. Segunda edición. Mexico 1988

APEA; AWWA, WPCF. Standard métodos for the examinaron of water and wasterwate. Por City pres. Baltimore 1989. Decima septima edición

AZEVEDO Nieto I.M. Manual de hidráulica. Editorial Tec - Cien. Mexico 1975. sexta edición.

BROWING, Eduardo. Toxity of industrial metals.Ed Butterworths. 2 de. Londres 1969.

CAMPOS HERNANDO. Descarga de material susupendido en la cienaga Grande de santa Marta. Revista Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga. Vol 5. No 2

COH, J.M. Taste threshold concentration of metals in drinking water. Journal of the American Water Works Association. 1960.

Cyanides. Encyclopedia of Chemical Technologia. John Wiley and Sons.segunda ediccion. Nueva York.vol 6. 1965

EHRLICH, Paul. Population, resourses, Enviroment. Insues in human ecologia. De. W.H. freeman and company. san Francisco. 1985.

FEAL, Mejia Alvaro, Tecnologías medioambientales para residuos tóxicos, Revista ingeniería Química, pags. 93 a 100, abril, 1996.

FREELAND, J.H. y Cousin,R.J. Zinc content of selected foods.Journal of the American Dietectic Association.1976.

Guidelines for Canadian Drinking Water Quality. Ministry of Supply and services. Quebec. 1979.

Instituto Mi Río. Levantamiento integrado de cuencas hidrograficas del municipio de Medellín. Medellin. 1996.

KEAR, BERNARD H., Nuevos metales, Investigación y ciencia, Barcelona (123), 1986.

LEARDA DANIEL Water mutagenicity and toxicology in rio Tercero (Córdoba Argentina), Water Res., Volumen 30, No 4, Pags 819 a 824, 1996.

LÓPEZ Mateo, Revista Ingeniería Química, Madrid, Volumen 17 , No 195, pags 41 - 49, Junio de 1985.

LUND, Herbert F., Manual para el control de la contaminación industrial, Ingeniería ambiental urbana, instituto de estudios de la administración local, Gráficas Malvar S.A., San Valeriano, 6 Madrid, pag. 1042.

MANCY and WEBER Jr, Analysis de industrial Wastewaters, by John Wiley and sons,1971.

MORERA María Teresa y Juan María Lema, Planta de tratamiento de aguas de mina, Universidad de Santiago de Compostela, Revista ingeniería química, pags 129 a 132, Enero de 1995.

MONOGRAFÍA DEL RÍO MEDELLÍN. Revista Empresas Públicas De Medellín. Vol 3. Nos 3 y 4 . Julio/diciembre. 1981.

National Interim Primary Drinking Water Regulatio. Environmental Protection Agency. Washington, D.C. 1976.

NEMEROW Nelson, Aguas residuales industriales, teorías, aplicaciones y tratamiento, segunda edición, Madrid, Ed. Blum.

PASAMORE, R y Robson. Companion to Medical Studies. Scientific Publications. Vol 2. Oxford. 1970.

PÉREZ OLIVEROS Jaime, Estudio técnico de tratamiento de aguas, Centro de investigaciones ambientales, Facultad de ciencias exactas y naturales, Departamento de química, Universidad de Antioquia.

POSADA Garcia, Liliana. Transporte de Sedimentos. Posgrado en apr ovechamiento de los recursos hidráulicos. Universidad Nacional de Colombia, Seccional Medellín. Medellín. 1994.

POVEDA RAMOS Gabriel, Segundo seminario ciudad y medio ambiente, notas sobre metales tóxicos y cancerígenos, pags 27 a 32.

PRASAD,A.S. y Oberleas. Trace elements in human health and disease. Vol 1.Nueva York. Academic Pres. 1976

Quality Criteria for Water. Washinton ,D:C: Us Eviromental Protectioon Agency. Publicacion Cientifica No 440. 1976

RAMÍREZ José Miguel, Estudio sobre contenido de metales pesados en los ríos del área metropolitana de Costa rica, Biocenosis, volumen 2, octubre de 1985.

Riesgos del ambiente humano para la salud. Organización Panamericana de la Salud Publicación cientifica No 329.Editorial Limusa. Washington.1976.

ROLDAN Gabriel, Efectos de la contaminación industrial y domestica sobre la fauna béntica del río Medellín, actualidades biológicas, Volumen 2, No 5, julio - septiembre de 1973..

Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water, second edition, united states goverment printing office, Washington: 1970.

S. krishnamurthy. Biometilación y transporte de metales pesados en el ambiente. Journal of the chemical education. Vol 62. No 5. 1992

TARIQ Jaleel, Pollution status of the Indus River, Pakistan, Through heavy metal and macronutrient contents of the fish, sediment and water, Water Res. volumen 30, No 6, pags 1337 a 1344, 1996.

UNDERWOOD, E.J. Trace elements in human and animal nutrition. 4de. Nueva York.Academic Press. 1977.

VEGA JACOME Eduardo, Aspectos ecológicos de la contaminación de corrientes de agua en el valle de aburra, Revista facultad nacional de agronomía, Medellín, Volumen 30, No 2, pags. 9 a 21, 1975.

.Standar Methods, For Water and Waster Water, 17 edition