

Environmental impact of mercury discharges in the navigation channel, Lake of Maracaibo

S. de Bautista*, **M. Bernard****, **M. Romero***, **F. Troncone****,
S. Segovia** and **J. Paredes****

* Universidad del Zulia. Maracaibo, Venezuela. e - mail: sherman @ luz.ve

** Instituto para el Control y Conservación de la Cuenca del Lago de Maracaibo. ICLAM.
Maracaibo, Venezuela. E-mail : iclam@telcel.net.ve

Abstract

For more than twenty years the strait of Maracaibo and El Tablazo Bay, in the Lake of Maracaibo, have been used as discharge sites for industrial and domestic waters. Annually, the Instituto de Canalizaciones dredges the channel, activity that produces dispersion of contaminants in the water column. In this paper the evaluation of Mercury concentration in interstitial water and sediments from the channel (resuspended material) and water column and sediments in the navigation channel and from nearby ports is done. The results were analyzed in accordance to Venezuela's legislation and international legislation for dredging activities. There is a legal gap in Venezuela's regulation for disposal of dredged material. The Hg concentration on sediments is higher on some points than EPA's regulation for open disposal. The Hg concentration on fish tissues indicate the influence on the trophic chain, that could develop in a health problem in the future.

Key words: Environmental impact, mercury, dredging.

Impacto ambiental de las descargas de mercurio en el canal de navegación del Lago de Maracaibo

Resumen

La zona del estrecho de Maracaibo y la Bahía del Tablazo del Sistema Maracaibo, ha sido contaminada durante años por las descargas directas de las aguas residuales (domésticas e industriales). Aunado a este hecho, anualmente se realizan labores de dragado para el mantenimiento del canal de navegación, produciendo dispersión hacia la columna de agua de los contaminantes que se encuentran en los sedimentos. En este trabajo se evalúan las concentraciones de mercurio en la columna de agua, agua intersticial y sedimento, en el área del canal de navegación (material dragado resuspendido) y en zonas adyacentes. Los resultados fueron analizados con respecto a la normativa venezolana vigente y normativa internacional relacionada a la actividad de dragado. Se concluyó que existe un vacío en la legislación venezolana que regule la disposición de material dragado, los valores de concentración de mercurio en sedimentos en algunos puntos excede los límites de la EPA para descargas abiertas del material. La concentración de Mercurio en tejidos de peces y moluscos evidencian la incorporación del metal a la cadena trófica, convirtiéndose en un futuro en un problema de salud pública.

Palabras clave: Impacto ambiental, mercurio, dragado.

Introducción

Durante los años 1976-1992, la Planta de Cloro Soda I de la industria petroquímica ubicada en la costa oriental del Estrecho del Sistema del Lago de Maracaibo, generó efluentes mercuriales que aunque dispuestos en lagunas de evaporación, lograron llegar al Estrecho y Bahía El Tablazo por percolación y desborde. Así mismo las aguas residuales domésticas de la ciudad de Maracaibo se descargan al Sistema en la costa occidental del Estrecho, con un contenido de mercurio en concentraciones entre 10,5 a 15,5 µg Hg/l [1]. Se han realizado numerosos estudios para analizar las concentraciones de mercurio en muestras de agua, sedimentos y tejidos de peces y almejas provenientes de las zonas del Estrecho y Bahía El Tablazo.

En el caso del Estrecho - Bahía la presencia de mercurio de origen industrial en sedimentos y agua es afectada por la continua actividad de dragado que realiza el Instituto Nacional de Canalizaciones -INC- con el fin de mantener una profundidad de 12,8 m en el canal de Navegación. En el presente trabajo se evalúa el impacto ambiental de las descargas de mercurio en el canal de navegación asociado a las actividades de dragado y a los sistemas de disposición del material. Los resultados fueron analizados con respecto a la normativa venezolana vigente y normativa internacional relacionada a la actividad de dragado.

1. Antecedentes

Ortega [2] reporta valores de 0,011 mg/kg en sedimentos de la zona frontal al Complejo Petroquímico. Barco [3], en muestras de sedimentos y agua provenientes de la rada de la petroquímica, canal de navegación y la costa oeste del Estrecho, reportó valores de concentraciones de Hg en agua entre 0,53-17,67 µg/lit y valores entre 0,273-10,388 mg/kg en sedimentos, con variaciones en diferentes meses de muestreo. Colina y Romero [4,5], en trabajos vinculados a la técnica de determinación de mercurio utilizando muestras de tejidos de peces capturados en las zonas del Estrecho y Bahía reportan consistentemente la presencia de Mercurio y un aumento de las concentraciones entre 1979 y 1986 (Tabla 1).

Tabla 1
Concentración de Hg (mg/Kg)

Año	Curvina	Palometa	Camarón	Almeja
1979	0,056	0,256	0,117	0,081
1986	0,429	0,567	0,254	0,177

Las mayores concentraciones fueron medidas en tejidos cerebral de curvina en las costas de Maracaibo, con concentraciones de 0,524 mg Hg/Kg.

Efecto de las actividades de dragado

Los sedimentos se consideran receptáculos de una variedad de contaminantes químicos. Éstos pueden ser liberados cuando los sedimentos son resuspendidos por operaciones de dragado y disposición de material. Las principales reacciones que remueven o transforman contaminantes son la sorción y desorción, cuyo equilibrio se alcanza más rápidamente comparados con otros mecanismos de reacción [6]. La movilización del mercurio desde los sedimentos está influenciada por la composición química del agua y los sedimentos: pH, redox, composición orgánica [7], así mismo influye el tamaño del grano y el contenido de sólidos volátiles. Los sedimentos con mayor porcentaje de finos (arcilla y limo) tienen mayor capacidad de adsorción y a su vez al ser removidos se mantienen mayor tiempo en fase disuelta, pudiendo ser arrastrados a mayor distancia [6]. El valor óptimo de pH para la transferencia del Metil-B12 al ion mercurio es de 4,5 [8]. Las pruebas de elutriado han permitido establecer que al remover los sedimentos se produce una liberación de metales pesados que son incorporados en primera instancia al agua intersticial y luego a la columna de agua [6]. Una vez allí pueden incorporarse a la cadena alimenticia, acumulándose en peces y otras especies.

Legislación

La contaminación por mercurio se convirtió en asunto público en 1970, vinculándolo muy estrechamente al dragado de puertos y calidad de sedimentos. En 1972 se modifica el Federal Water Pollution Act de Estados Unidos prohibiendo

la descarga de material de dragado en aguas norteamericanas a menos que fuera expedido un permiso por el Cuerpo de Ingenieros [6]. La EPA en 1974 [9] establece que sedimentos con más de 1 mg Hg/Kg no serían aceptables para ser dispuestos en medios acuáticos en forma abierta. Fija como límites permisibles para la vida acuática en agua dulce 0,05 µg/l. y 0,10 µg/l. para vida acuática en medio marino [10]. El Cuerpo de Ingenieros de Estados Unidos, USACE, estableció un diagrama de flujo para gerenciar los procesos de disposición de material de dragado, el primer paso consiste en establecer si los sedimentos están contaminados y luego decidir si se disponen en forma abierta o confinada [11]. Holanda diseñó un sistema de clasificación de la calidad de los sedimentos y asoció condiciones de control para la disposición. Bélgica diseñó un proceso de toma de decisión que incorpora pruebas biológicas y consideraciones económicas, sociales y políticas [12].

En Venezuela no existe una normativa técnica directamente vinculada al proceso de dragado y disposición de sedimentos. Con respecto al Mercurio, el decreto N° 2.211, Normas para el Control de la Generación y Manejo de Desechos Peligrosos, establece dos criterios para la consideración de desechos peligrosos: por corrientes de desechos- Lista N° 1 y por constituyentes -Lista N° 2. El material de dragado con contenido de Mercurio entraría en esa clasificación. La Lista N° 3 ubica desechos con efecto ecotóxicos. El Artículo 4to. establece una concentración máxima permisible de mercurio en lixiviados de 0,2 mg/lit. El Decreto 883 establece que las aguas Tipo 3 y 4, aguas marinas o de medios costeros y destinadas a balnearios deben contener una concentración de Mercurio menor al límite permisible de la técnica, que en este caso es de 0,2 µg/l. [13]. En cuanto a los límites de las descargas, lo establece en 0,01 mg/l para el mercurio total.

Métodos de disposición de sedimentos dragados

Cuando se habla sobre disposición de material dragado normalmente se consideran tres opciones: en la masa de agua, en las orillas y en tierra. Cada una puede ser o no confinada. La opción confinada es mas segura y permite la posibilidad de tratamiento posterior. Al evaluar el material dragado se distinguen cuatro categorías:

Tabla 2
Características del Canal de Navegación

Tramo	Ancho (m)	Longitud (Km.)	Profundidad (m)
Exterior	305	26,5	12,8
Interior	244	22,5	12,8

sedimentos marinos normalmente no contaminados, sedimentos estuarinos normalmente un poco contaminados por las descargas de los ríos, sedimentos de ríos relativamente contaminados dependiendo de las condiciones del río aguas arriba y los sedimentos de zonas altamente afectadas. En base a la calidad de los sedimentos se procede de la siguiente manera: el material no contaminado es dispuesto directamente al agua, tomando las debidas precauciones. El material ligeramente contaminado es dispuesto en zonas confinadas en tierra o agua. El material altamente contaminado, cuya toxicidad es preocupante, se dispone en tierra, confinado para prevenir la movilización del contaminante [14].

Area de estudio

El Lago de Maracaibo está ubicado al Norte de América del Sur en la zona Oeste de Venezuela. Se comunica con el Mar Caribe-Golfo de Venezuela, a través de un estrecho de 40 Km. y una bahía caracterizada por bajas profundidades. Para asegurar la navegación se construyó entre 1957 y 1963 un canal de navegación con dos tramos principales y las características presentadas en la Tabla 2.

El Canal se comunica con varios Terminales Petroleros entre ellos el de la Industria Petroquímica, cuya área de influencia abarca desde Punta de Palma Norte hasta los Puertos de Altigracia.

Es una zona cuya hidrodinámica es gobernada por las mareas (componentes Semidiurna) y el caudal de los ríos. El Instituto Nacional de Canalizaciones realiza trabajos casi continuos de dragado de unos 8,5 millones de m³/año, utilizando dragas de tolva, por agitación y de cortados [15]. Los sedimentos removidos son depositados dentro del Golfo de Venezuela y en el Estrecho de Maracaibo al este del canal (zona colmatada), así

mismo en las Islas de Pescadores y Pájaros [16]. La mayor parte del sedimento, predominantemente arena fina hasta una mezcla de limo y arcilla, viene del Golfo de Venezuela, donde se origina por erosión costanera, intenso transporte de arena litoral y resuspensión de material fino por ac-

ción de las olas. Este sedimento es arrastrado al Lago por las corrientes subalvea de agua salada [17]. Esta zona recibe las descargas de aguas servidas urbanas e industriales de la ciudad de Maracaibo y Costa Oriental del Lago (Figura 1).

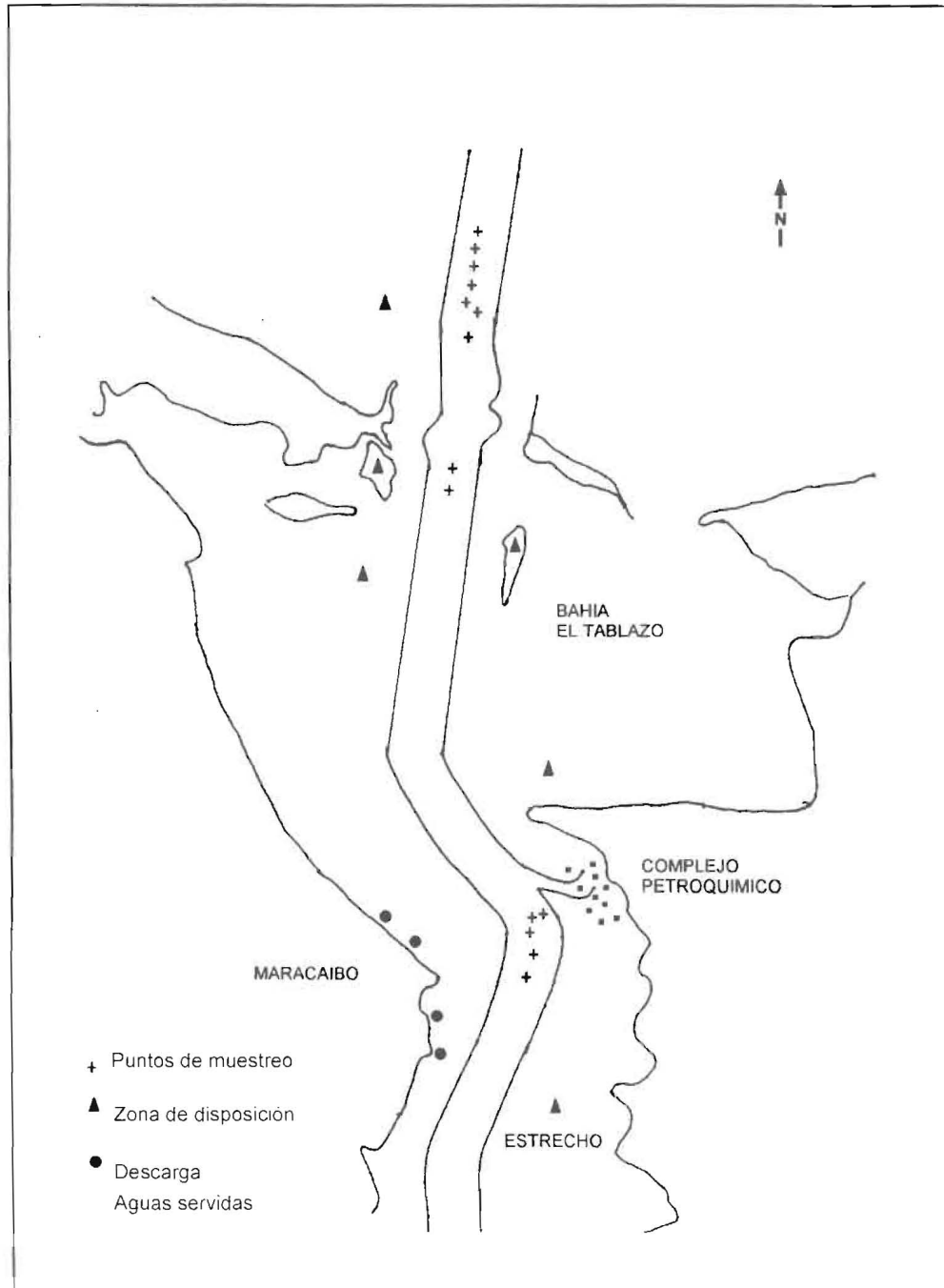


Figura 1. Área de estudio bahía y estrecho del Lago de Maracaibo.

Materiales y Métodos

Método de Análisis de las muestras

La metodología para determinar mercurio en sedimento fue probada con una muestra certificada NIST SRM 2704 de sedimento del río Buffalo. Todos los reactivos químicos fueron de grado analítico. Todas las soluciones fueron preparadas con agua doblemente destilada y deionizada grado II ASTM. El mercurio fue determinado por espectrometría de absorción atómica por vapor frío en un Varian Spectraa 400 plus con un accesorio de generación de vapor VGA-95 usando una solución de borohidruro de sodio, 3% v/v (Fisher Scientific) en una solución de Hidróxido de Sodio al 1% v/v como agente reductor y ácido nítrico 1,5% v/v.

Muestras

Para el trabajo se analizaron dos tipos de muestras:

Muestras Tipo A: Se ubicaron catorce puntos a lo largo del canal: siete en el canal exterior, dos en la Boca y cinco en el canal interior, frente a la Petroquímica. Se recogieron las muestras en cada sitio con una draga de tolva autopropulsadora con succión a través de cabezales de rastra. Los sedimentos corresponden a la zona de mezcla durante el trabajo de dragado entre mayo y agosto 1995. El número de muestras se estimó basándose en el volumen dragado.

Muestra Tipo B: Corresponde a muestras de agua y sedimento de la zona frente a la Empresa Petroquímica donde se ubicaron 10 estaciones de muestreo y las muestras se colectaron mediante una bomba sumergible, en la superficie, a un 1 metro de profundidad y a 0,5 metros del fondo. Además se recolectaron muestras de sedimentos en el Canal interno frente a la entrada al canal de acceso a la Petroquímica y en la zona de la boca del Canal. Las muestras de sedimento se capturaron mediante el empleo de una draga Ekman. Los datos corresponden a Junio 1996.

Resultados

Muestras Tipo A. El sedimento recogido de la zona de mezcla del Canal estaba constituido por arenas medias 18,5%, arena fina 34,2% y ar-

Tabla 3
Concentración de Mercurio
en las Muestras Tipo A

Zona del Canal	Agua Intersticial µg/l	Sedimento mgHg/Kg
Exterior	2,50	0,345
	4,51	0,729
	0,91	0,481
	3,41	0,358
	5,82	0,451
Boca	2,09	0,112
	1,64	0,624
	1,94	0,440
Interior	2,58	0,497
	5,97	0,236
	3,90	0,059
	1,35	0,0553
	5,90	0,171
	0,78	0,575

cilla /limo 47,5%. Los valores de concentración de mercurio en agua y de sedimento se presentan en la Tabla 3.

Muestras Tipo B. En la Tabla 4a se presentan los resultados de las muestras de agua y sedimento de la rada de la petroquímica. En la Tabla 4b se presentan los promedios por rango de profundidad de los parámetros de agua y coeficientes de correlación entre los parámetros y la concentración de Hg en agua. En la Tabla 4c se presentan los valores de las muestras de agua y sedimentos en la zona del canal cercana a la zona de la petroquímica y en la Tabla 4d se presentan los valores de concentración de Hg en muestras de sedimentos en la zona de la boca del canal de entrada a la petroquímica. En todos los casos corresponden a muestras de sedimentos no removidos.

Discusión de Resultados

Los valores de concentración de Mercurio en agua intersticial y sedimentos de las Muestras Tipo A correspondientes a material sometido a la acción de remoción del dragado, son menores a

Tabla 4a
Valores de los parámetros de las muestras de agua y sedimento
de la rada de la petroquímica

Estación	pH	OD mg/l	Salinidad mg/l	DQO mg/l	Profundidad m	Hg en agua mg/l	Hg en sedimento mg/Kg
1	8,49	5,77	4,6	65,89	superficie	3,18	1,66
2	8,4	6,01	5,3	127,79		2,8	1,185
3	8,51	5,25	4,4	87,03		3,06	0,641
4	8,54	5,54	4,7	93,07		4,15	0,357
5	8,35	5,03	4,7	105,15		10,26	0,734
6	8,42	5,6	4,6	80,99		10,08	0,515
7	8,38	5,74	4,5	111,19		12,18	0,688
8	8,47	5,61	4,7	68,91		13,39	0,393
9	8,5	5,8	4,6	114,22		6,65	0,6
10	8,36	5,82	5,2	120,24		7,8	0,724
1	8,42	5,46	4,6	141,38	a 1 m	7,53	Media
2	8,33	5,76	5,3	108,16		5,71	0,7497
3	8,39	4,92	4,8	99,11		5,56	D.S.
4	8,55	5,34	4,7	74,95		7,74	0,39
5	8,2	4,5	5,4	74,94		9,66	
6	8,43	5,34	4,7	90,05		10,19	
7	8,29	4,93	5,2	74,95		11,85	
8	8,33	5,1	4,9	65,89		8,92	
9	8,42	5,61	4,7	102,12		6,46	
10	8,32	5,62	5,3	94,57		17,9	
1	7,66	3,54	9,4	106,66	fondo	12,08	
2	7,52	3,43	10,8	77,97		11,36	
3	7,62	3,32	10,7	138,38		17,47	
4	8,35	5,03	4,7	97,59		17,52	
5	7,36	3,12	10,2	174,6		19,76	
6	7,29	3,45	19,2	56,83		14,24	
7	7,59	3,44	10,5	130,82		19,18	
8	7,68	3,42	10,5	87,03		18,36	
9	8,28	5,33	4,8	114,21		17,9	
10	7,67	3,45	11	84,01		18,24	

Tabla 4b
Coeficientes de Correlación y promedios por profundidad

Parámetro	Coef. Corr	Profundidad	pH	OD	Salinidad	Hg en agua
pH vs Hg en agua	-0,66	m		mg/l	mg/l	mg/l
OD vs. Hg en agua	-0,65	0,1	8,44	5,62	4,73	7,36
Salin vs. Hg en agua	0,52	1,00	8,37	5,26	4,96	9,15
		<7	7,91	4,26	7,28	16,82
		>7 - 14	7,56	3,42	12,12	16,48

Tabla 4c
Valores de concentración de Hg en las muestras de agua y sedimentos de la zona del canal, cercano a la entrada de la petroquímica

		E1	E2	E3	E4	Media
Hg en Sedimento	(mg/Kg)	2,51	7,01	4,16	1,18	3,715
Hg en agua	Superficie	19,7	32,83	61,07	17,43	32,76
	(mg/l) Fondo	75,58	66,99	23,36	95,22	65,29

Tabla 4d
Valores de concentración de Mercurio en las muestras de sedimento de la zona de la boca de entrada al canal de acceso a la petroquímica

		E1	E2	E3	Media
Hg en Sedimento	mg/Kg	3,36	4,01	2,21	3,19

los valores encontrados en las muestras Tipo B tomadas en zonas no sometidas en el periodo a la actividad de dragado.

En la zona de la petroquímica los valores de pH varían con la profundidad, pero con valores por encima de 7, lo cual restringe la transformación de Mercurio a metil mercurio. Los valores de Oxígeno Disuelto disminuyen con la profundidad, desde 6,01 hasta 3,12 mg/l en las zonas más profundas. Así mismo la salinidad aumenta con la profundidad. Se obtuvieron correlaciones negativas significativas entre el Mercurio y el pH, Mercurio y Oxígeno Disuelto, es decir, a mayor profundidad menor concentración lo cual coincide con el comportamiento reportado en la bibliografía revisada. (Tabla 4b). Los valores de concentración de Mercurio en sedimentos en la zona de la rada oscilaron entre 0,357 y 1,660 mg Hg/kg. De 10 puntos de muestreo, sólo dos pre-

sentaron valores por encima de 1 mg Hg/Kg, valor límite establecido por la EPA para disposición abierta.

En las muestras recolectadas en la zona del Canal y en la boca de entrada a la petroquímica los valores de concentración en sedimento sobrepasan los valores establecidos por la EPA para disposición de material en forma abierta.

Los valores encontrados en sedimentos resuspendidos son menores a los valores del sedimento normal, lo cual pudiera indicar la dilución de los metales pesados durante el proceso de dragado y su incorporación a la columna de agua.

En todos los casos la concentración en agua sobrepasa los valores establecidos en la normativa venezolana y de la EPA, en cuanto a los valores que requieren las aguas para el desarrollo de vida acuática.

Algunos de los valores de concentración de Hg en tejidos de peces presentados por Colina y Romero[4,5] y Sánquiz [18], sobrepasan los límites de 0,5 mg/Kg establecidos por la FDA.

Conclusiones

Los sedimentos del Lago poseen un elevado porcentaje de finos lo cual ayuda a la fijación del mercurio en los sedimentos y su transporte hacia otras zonas. En cuanto a la calidad del agua, los valores de pH por encima de 7 inhiben la metilación. Pero en algunas zonas anóxicas, producto del exceso de descarga de nutrientes, ésta se verá favorecida.

Las actividades de dragado contribuyen a liberar el Mercurio atrapado en el sedimento del Lago. Los niveles de concentración de Mercurio en los sedimentos, en algunos casos por encima de 1 mg/Kg, indican que debe estudiarse rápidamente la forma de disposición del material dragado.

Los valores de Mercurio en las aguas residuales de la Ciudad de Maracaibo indican que persiste una fuente de contaminación de Mercurio al Lago. Estos niveles de concentración pueden afectar los sedimentos y lodos que producirán las Plantas de Tratamiento Residuales y limitará su reutilización.

La Legislación venezolana vigente no establece valores límites de concentración de metales pesados en sedimentos para su disposición abierta en aguas costeras y marinas, por lo tanto, existe un vacío legal al evaluar el impacto de las actividades de dragado y disposición de material.

Referencias Bibliográficas

1. FLSTP- LUZ. Universidad del Zulia, Caracterización de las aguas servidas de un sector de la zona norte de la ciudad de Maracaibo. Proyecto Caragua. 1996.
2. Ortega, J., Evaluación del contenido de Mercurio en especies marinas y sedimentos en el Sistema lago de Maracaibo. Informe Técnico. Facultad de Ingeniería. Dpto. Química. LUZ. Maracaibo. 1977.
3. Barco, L., Determinación de Mercurio, Plomo y Zinc en aguas y sedimento en el Estrecho de Maracaibo. Tesis de Post-Grado en Ingeniería Ambiental. LUZ. 1989.
4. Colina de Vargas, M. and Romero, R.A. March. Mercury determination by Cold Vapour Atomic Absorption Spectrometry in several biological indicators from Lake Maracaibo, Venezuela. *Analyst*. Volume 117. 1992
5. Colina de Vargas, M. and Romero, R.A., Mercury Levels in Fish Samples from Lake Maracaibo by CVAAS. XIV FACSS. 1987.
6. Schnoor, J.L, Giaquinte, A.R., Sato, C., Refinement and Verification of Predictive Models of Suspended Sediment and Dispersion and Desorption of toxics from dredged sediments. Iowa Institute of Hydraulics Research. IIHR Report No. 249. 1982.
7. Muller H.W., Heavy metal contents river sediment. *Water, Air and Soil Pollution*. 72(1994), 191-203.
8. Wood, J.M., Metabolic Cycles for toxic elements in the environment. *Science* 183, 41291 (1974), 1049-1052.
9. Gambrell, R.P., Reddy C.N. Characterization of trace and toxic materials in sediment of a lake being restored. *Journal WPCF*. Volume 55. Number 9. 1983.
10. EPA. Water Quality Standard. 1986.
11. Lee, C.R., General Decision Making Framework for Management of Dredged Material. D-91-1. U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station. 1991.
12. Csiti, A., Land Disposal of Contaminated Dredged Materials and Related Issues: State of the Art Review. *Terra et Aqua*. Number 53. 1993.
13. Mugan, T., Quantification of Total mercury discharges from publicly owned treatment works to Wisconsin surface waters. *Water Environment Research*, Volume 68, Number 2. (1996), 229-234.
14. Mullock, J.A., Disposal of Dredge: a general review. *Terra et Aqua*. Number 53. 1993.
15. I.N.C. Programa de Dragado. Publicación interna-Gerencia Maracaibo. 1994.
16. Rodríguez G., Feragotto W., Linero G., Diagnóstico Ambiental Preliminar del Man-

- tenimiento del Canal de Navegación del Lago de Maracaibo. Fundación Terramar. Informe técnico para el INC. 1995.
17. Partheniades E., Kennedy, J., Fuentes y Movimiento de Sedimento depositado en el Canal de Navegación de Maracaibo, Venezuela. II Congreso Latinoamericano de Hidráulica. Volumen I. 1966.
18. Sánquiz, M., Evaluación de la concentración de sustancias tóxicas en peces, moluscos, crustáceos y aves presentes en el Lago de Maracaibo. ICLAM. Documento C-97-07-41-0. 1997.

Recibido el 19 de Marzo de 1998

En forma revisada el 24 de Febrero de 1999