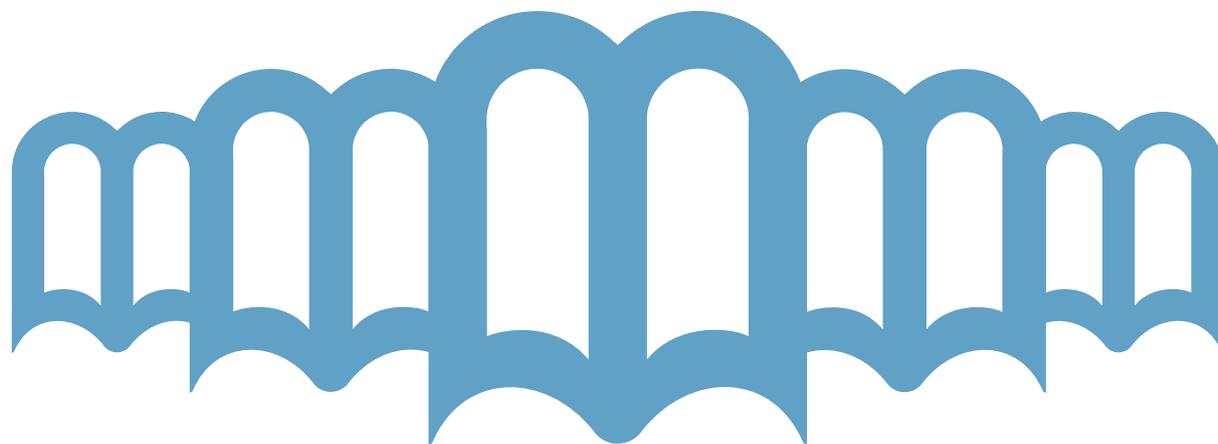


**TESIS**



**Estudio de la Contaminación por Metales Pesados  
en Sedimentos en el Campo Urdaneta del Lago de  
Maracaibo, Estado Zulia, Venezuela**

**Persis Dulce Milagros González Maza**

## Página legal

Título de la obra: Estudio de la Contaminación por Metales Pesados en Sedimentos en el Campo Urdaneta del Lago de Maracaibo, Estado Zulia, Venezuela, 62 pp. Editorial Digital Universitaria de Moa, año.2015 -- ISBN:

1. Autor: Persis Dulce Milagros González Maza
2. Institución: Instituto Superior Minero Metalúrgico " Dr. Antonio Núñez Jiménez"

Edición: Lic. Liliana Rojas Hidalgo

Corrección: Lic. Liliana Rojas Hidalgo

Digitalización. Miguel Ángel Barrera Fernández



Institución de los autores: ISMM " Dr. Antonio Núñez Jiménez"  
Editorial Digital Universitaria de Moa, año 2015

La Editorial Digital Universitaria de Moa publica bajo licencia Creative Commons de tipo Reconocimiento No Comercial Sin Obra Derivada, se permite su copia y distribución por cualquier medio siempre que mantenga el reconocimiento de sus autores, no haga uso comercial de las obras y no realice ninguna modificación de ellas.

La licencia completa puede consultarse en:

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/ar/legalcode>

Editorial Digital Universitaria

Instituto Superior Minero Metalúrgico

Ave Calixto García Iñiguez # 75, Rpto Caribe Moa 83329, Holguín Cuba

e-mail: [edum@ismm.edu.cu](mailto:edum@ismm.edu.cu)

Sitio Web: <http://www.ismm.edu.cu/edum>



**Instituto Superior Minero Metalúrgico**  
**“Dr. Antonio Núñez Jiménez”**

**Facultad de Geología y Minería**  
**Departamento de Geología**

**Título: Estudio de la Contaminación por Metales Pesados en Sedimentos en el  
Campo Urdaneta del Lago de Maracaibo, Estado Zulia, Venezuela**

Tesis en opción al título académico de Máster en Geología

**Autora: Ing. Persis Dulce Milagros González Maza. Esp.**

**Mayo, 2015**



**Instituto Superior Minero Metalúrgico**  
**“Dr. Antonio Núñez Jiménez”**

**Facultad de Geología y Minería**  
**Departamento de Geología**

**Título: Estudio de la Contaminación por Metales Pesados en Sedimentos en el  
Campo Urdaneta del Lago de Maracaibo, Estado Zulia, Venezuela**

Tesis en opción al título académico de Máster en Geología

**Autora: Ing. Persis Dulce Milagros González Maza. Esp.**

**Tutor: DrC. Gerardo Orozco**

**Mayo, 2015**

# Estudio de la Contaminación por Metales Pesados en Sedimentos en el Campo Urdaneta del Lago de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela.

## ÍNDICE

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I- CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS Y AMBIENTALES DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	8
1.1. Introducción.....	8
1.2. Basamento teórico.....	8
1.2.1. Contaminantes.....	9
1.2.2. Ciclo de metales pesados.....	10
1.2.3. Origen de los metales en el medio acuático.....	12
1.2.4. Circulación de metales en ecosistemas estuariales.....	13
1.2.5. Interacción metal-sedimento.....	15
1.2.6. Eutrofización.....	17
1.2.7. Estuarios como ambiente adecuado para realizar estudios de contaminación.....	17
1.3. Investigaciones precedentes.....	20
1.4. Aspectos geológicos regional.....	30
1.4.1. Marco fisiográfico.....	30
1.4.2. Marco geológico estructural.....	31
1.4.3. Aspectos geológicos locales.....	31
1.4.4. Marco sedimentológico actual.....	32
1.4.5. Marco geológico ambiental por metales pesados.....	32
CAPITULO II. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	34
2.1. Introducción.....	34
2.2. Metodología de la investigación utilizada para la realización del trabajo de investigación.....	35
2.2.1. Recopilación y análisis de la información existente sobre el tema en estudio.....	35
2.2.2. Levantamiento de información geológica y ambiental del área de estudio.....	35
2.2.3. Monitoreo de las muestras de sedimentos: Técnicas de monitoreo utilizadas.....	36
2.2.4. Análisis y determinaciones químicas: Método analítico e Instrumentos de medición.....	37
2.2.5. Análisis y determinaciones físicas: Método analítico e Instrumentos de medición.....	39
2.2.6. Cartografía geológica: mapas de distribución de elementos pesados	
2.2.7. Evaluar los niveles de concentración de metales.....	41
CAPÍTULO III. RESULTADOS.....	43
3.1. Características geológicas ambientales del área de estudio.....	43
3.1.1. Factores Geológicos.....	43

## **Estudio de la Contaminación por Metales Pesados en Sedimentos en el Campo Urdaneta del Lago de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela.**

3.1.2. Factores Humanos.....	46
3.1.3. Descripción de los Sedimentos superficiales del área de estudio.....	49
3.2. Identificación de la variedad y concentraciones de elementos metálicos pesados existentes en los sedimentos del área de estudio y el factor de concentración.....	51
3.2.1. Variedad de metales pesados y sus concentraciones.....	51
3.2.2. Elaborar mapas de distribución del contenido de los metales pesados contaminantes en sedimentos en el Campo Urdaneta de la cuenca del Lago de Maracaibo.....	57
3.3. Evaluar los niveles de toxicidad que producen esos elementos.....	59
CONCLUSIONES.....	62
RECOMENDACIONES.....	63
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	64
ANEXOS.....	75

# Estudio de la Contaminación por Metales Pesados en Sedimentos en el Campo Urdaneta del Lago de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela.

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. El sistema biológico de los elementos para plantas terrestres (Glicofitas).....	12
Figura 2. Ciclo de metales entre los diferentes compartimientos de un ambiente estuarino.....	15
Figura 3. Diagrama que representa un Sistema Natural Integral.....	20
Figura 4. Ubicación geográfica del Lago de Maracaibo, Estado Zulia Venezuela.....	30
Figura 5. Metodología de trabajo empleada para el desarrollo de este estudio.....	34
Figura 6. Ubicación de los puntos muestreados en la zona de estudio.....	37
Figura 7. Espectrómetro de absorción atómica.....	38
Figura 8. Estereomicroscopio Zeiss, Discovery V12.....	40
Figura 9. Mapa geológico de la Cuenca del Lago de Maracaibo.....	44
Figura 10. Ríos que drenan a la Cuenca del Lago de Maracaibo.....	45
Figura 11. Imagen Satelital del área de estudio que refleja factores antropogénicos y litogénico al 2001.....	48
Figura 12. Gráfico de la distribución granulométrica de los sedimentos superficiales de la zona de estudio.....	50
Figura 13. Fotografía de la Muestra CU-1.....	51
Figura 14. Gráfico que muestra la comparación del resultado de As (Evaluado por EAA) vs valores de riesgo relativo (ER-L, NOAA).....	54
Figura 15. Gráfico que muestra la comparación del resultado de Hg (Evaluado por EAA) vs Valores de Riesgo Relativo (ER-L y EM-L, NOAA).....	55
Figura 16. Mapa de Distribución del Metal Arsénico en el área de estudio.....	58
Figura 17. Mapa de Distribución del Metal Mercurio en el área de estudio.....	59

# Estudio de la Contaminación por Metales Pesados en Sedimentos en el Campo Urdaneta del Lago de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela.

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Métodos analíticos empleados en la evaluación de los parámetros físicos y químicos en los sedimentos superficiales del Campo Urdaneta.....	35
Tabla 2. Ubicación de los puntos muestreados.....	36
Tabla 3. Numeración y abertura de tamices.....	40
Tabla 4. Límites máximos permisibles según la guía de calidad para metales (ppm).....	42
Tabla 5. Resultados del tamizado.....	49
Tabla 6. Metales presentes en la zona de estudio.....	52
Tabla 7. Comparación de la concentración de los metales obtenidos vs ER-L y EM-L NOAA (1995).....	53
Tabla 8. Grado de contaminación.....	60
Tabla 9. Grado de contaminación por Arsénico en el área de estudio.....	60
Tabla 10. Grado de contaminación por Mercurio en el área de estudio...	60

# **Estudio de la Contaminación por Metales Pesados en Sedimentos en el Campo Urdaneta del Lago de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela.**

## **INTRODUCCIÓN**

El Lago de Maracaibo, punto de partida para la evaluación de la contaminación ambiental de esta investigación, ha sido tema de estudio en cuanto a la acción litogénica, así como la antropogénica durante las últimas décadas por cientos de científicos y organismos que pretenden proponer soluciones que mitiguen los efectos negativos que hemos venido generando sobre este fenómeno geológico. Es por ello que es necesario definir a través de una minuciosa revisión bibliográfica el tipo de estructura y/o ambiente geológico al que se referirá este trabajo, puesto que de ello dependerán las características que se le atribuyan para tal estudio.

Basado en los procesos geológicos que durante más de 40 millones de años ha evolucionado la cuenca del Lago de Maracaibo, estos han dado origen a su vez diferentes aspectos geológicos a considerar dentro de su sistema.

El Lago de Maracaibo es una gran depresión estructural rodeada de montañas, en la que confluyen diversos ríos, y se comunica con el Mar Caribe a través del Golfo de Venezuela, y con este último, mediante un estrecho de 40 km de largo, 5-7 km de ancho y 15 m de profundidad. Esta profundidad es consecuencia del dragado del canal de navegación, a través del cual penetra agua salina a este cuerpo de agua (Sutton, 1976), este gran fenómeno natural la ha permitido definir como un estuario. Término sustentado por las siguientes investigaciones:

Según Marcovecchio et, al. (2013), en su publicación titulada Procesos Químicos en Estuarios expresa que la Zona Costera (ZC) es una región de transición entre los componentes marino y continental del planeta. Es ampliamente reconocida como uno de los más importantes elementos de la biosfera con una amplia diversidad de ambientes y recursos.

Por su parte Carrasquel (2011) en su publicación el Lago de Maracaibo es un estuario, manifiesta que “es el único de su tipo en el país, y como referencia mundial. Lo define como un bioma o ecosistema importantísimo para el desarrollo de diversas especies de vida. En esta misma publicación explica ¿por qué es un estuario?, definiendo la palabra estuario, la cual vino a nuestro vocabulario del latín, estuarium, que quiere decir

## **Estudio de la Contaminación por Metales Pesados en Sedimentos en el Campo Urdaneta del Lago de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela.**

un área bajo las influencias de las mareas. Hoy en día la definición más usada es que un estuario es un área de la costa donde el agua dulce proveniente de la tierra se mezcla con el agua del mar. Observándose en estos lugares dos factores ambientales de gran importancia, las mareas, la cantidad y ritmo de flujo de agua dulce. Aquí los nutrientes de la tierra se mezclan en el estuario con flujo de las mareas (tidal water), resultando este lugar muy fértil y productivo.

En este mismo sentido, Antoranz, et, al. (2001), en su investigación Tidal currents and mixing in the Lake Maracaibo estuarine system, dan lugar a la definición del Lago de Maracaibo como un estuario, tal como sigue, "El sistema estuarino del Lago de Maracaibo es un sistema océano-lago oscila junto conectado a través de un parcialmente mezclado estuario.

Finalmente, respecto a esta temática, Marcucci (2000) en el trabajo denominado "Características de los estuarios de Venezuela y manejo ecológico de los sedimentos dragados", expone el Lago de Maracaibo como un sistema estuarino, tal como se muestra a continuación, "Los sistemas estuarinos de Venezuela, como los del mundo entero, representan zonas ideales de desarrollo, debido a la facilidad de acceso y a la presencia de agua dulce y de recursos pesqueros. Sus características de transición entre los medios continentales y marinos, así como la complejidad de los procesos físicos que allí ocurren son de gran interés para los hombres de ciencia. Adicionalmente, en el caso de Venezuela, la presencia o cercanía de recursos tal como el petróleo en el sistema estuarino del Lago de Maracaibo, proporciona importancia a estas zonas con respecto al transporte por vía acuática y a los problemas de sedimentación de las vías de navegación (ver anexo 1).

Basado en lo anteriormente expuesto, la importancia de este estudio sobre este fenómeno geológico, radica, en que este tipo de ambiente constituye una de las áreas más perturbadas del planeta, donde la contaminación, la eutrofización, la industrialización, los desarrollos urbanos, la reclamación de tierras, la producción agrícola, la sobrepesca, entre otros factores, impactan de manera continua la sustentabilidad de este tipo de ambiente.

## **Estudio de la Contaminación por Metales Pesados en Sedimentos en el Campo Urdaneta del Lago de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela.**

Así, el mayor reto que enfrenta la comunidad industrial y urbana hoy en día, es cómo administrar correctamente el uso de esta importante y vital área, de tal manera que las futuras generaciones puedan también disfrutar de sus recursos visuales, culturales, ambientales, energéticos y alimenticios. Una reciente evaluación de los impactos de la contaminación marina y costera desde fuentes terrestres, muestra que estos ambientes están en constante degradación y en muchos sitios se ha intensificado este problema (Vázquez et al., 2005).

Tomando lo referido en este último aporte y tal como se evidencia en los países del mundo entero, son los problemas ambientales que dan lugar a la degradación y deterioro de sus cuencas hidrográficas. Ya que grandes cantidades de contaminantes se producen a diario sobre la superficie terrestre, ocasionando daños que podrían ser irreversible sobre el ambiente, es así como día a día la llamada industrialización va tomando más terreno en la naturaleza y a la propia humanidad, esta última cae irremediamente víctima de su propio consumo, contaminando desproporcionalmente su hábitat y el de muchos seres vivos sobre la faz de la tierra.

Muchos de los avances tecnológicos han llevado al hombre a la utilización de sustancias altamente contaminantes como lo son los metales pesados, es por ello que hoy en día existen diversas ciencias, herramientas y estrategias que permiten previamente identificar, valorizar y jerarquizar los impactos ambientales, así como el diseño de medidas de control, mitigación o corrección, necesarios en toda evaluación de impactos ambientales.

La ubicación del Lago de Maracaibo ha sido propicia desde el punto de vista industrial ya que al borde de dicha cuenca se ubicaron las grandes industrias petroquímicas para el procesamiento del petróleo extraído en ella y en consecuencia, empezaron a desarrollarse de forma intensa otras industrias, de alimentos y construcción, como respuesta a una población en crecimiento que demandó mayores recursos y viviendas. De esta forma el litoral del lago se convirtió en lo que pudiera llamarse una “herradura industrial”. Aunado a todo lo anteriormente expuesto el Ministerio del Ambiente (1995), declaró que las fuentes de contaminación del Lago de Maracaibo, además de la salinidad creciente, son seis:

## **Estudio de la Contaminación por Metales Pesados en Sedimentos en el Campo Urdaneta del Lago de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela.**

- Residuos petroleros: ocasionados por derrames debidos a fallas en las tuberías y en las actividades de extracción y transporte de crudo.
- Residuos petroquímicos: los cuales se generan en el área de El Tablazo, muchos de ellos de tipo eutroficantes o de acción tóxica y persistente, como fenoles, mercurio, compuestos fosfatados y nitrogenados.
- Residuos orgánicos y fertilizantes: acarreados por los ríos y drenajes pluviales de las áreas agropecuarias de la región.
- Descargas térmicas de ríos: como el Paraguachón y el Táchira, cuyas aguas son utilizadas para la producción de energía eléctrica.
- Residuos líquidos industriales: los cuales van directamente al lago, provenientes de industrias localizadas en los márgenes y de otras que drenan sus despojos en los ríos de la hoya hidrográfica del lago.
- Residuos líquidos domésticos: descargados directamente al lago o sobre sus tributarios.

Demostrando con ello que las fuentes de contaminación, han actuado durante años, utilizado el lago como recipiente o almacén de desechos líquidos y sólidos, logrando con ello la progresiva y constante alteración del hábitat de este inmenso recurso, que no se podrá restaurar por procesos naturales a una velocidad superior a la del consumo por los seres humanos, es decir se ha convertido en un recurso no renovable.

En el lago se producen diversos productos, como rubros alimenticios, materiales de construcción, extracción de minerales y recursos no renovables, entre otros, que ocasionan altos niveles de desechos con variados niveles de toxicidad, al mismo tiempo son cientos de fuentes hídricas que desembocan en este gran depósito de diversidad de contaminantes, así mismo se plantea que la problemática puede estar directamente responsabilizada por la carencia de conciencia de lo que significaba el medio ambiente y el riesgo de su contaminación, así como la necesidad de políticas tributarias y jurídicas que exigieran el respeto a la naturaleza, que involucra a entes productores públicos y privados, que durante décadas han llevado a cabo la extracción y/o producción de algún rubro comercial.

## **Estudio de la Contaminación por Metales Pesados en Sedimentos en el Campo Urdaneta del Lago de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela.**

Como parte del medio ambiente contaminado por las actividades socioeconómicas en el Lago de Maracaibo y sus alrededores, se encuentran los sedimentos, a partir de la incorporación de los mismos elementos químicos y compuestos contaminantes nocivos, en concentraciones mayores de las habituales y con efectos adversos sobre algunos organismos, incluido el hombre.

Tal es el caso de la contaminación que ha venido sufriendo el Lago de Maracaibo, específicamente el campo Urdaneta ubicado al oeste, el cual se ha visto afectado por los desechos/residuos, generados por el hombre o de génesis antropogénica, como los desechos de la industria química, petrolera, minera y los residuos urbanos/domésticos o sociales en general, por tanto, esta investigación aborda el estudio de la contaminación por metales pesados, a través de los niveles de peligrosidad/toxicidad; y, a su vez, la afectación que estos puedan llegar a causar sobre el medio.

En este mismo sentido el Lago de Maracaibo, se constituye en el cuerpo de agua más grande del occidente de Venezuela y uno de los más grandes del continente americano, ubicado al noroeste del país, y específicamente el campo Urdaneta que constituye el área de estudio de la presente investigación, que a pesar de las diversas investigaciones producto del impacto a nivel mundial hasta el presente, los trabajos relacionados con las concentraciones de metales pesados en dicha área son escasos.

El desconocimiento de la magnitud de la contaminación de los sedimentos del campo Urdaneta del Lago de Maracaibo por metales pesados, constituye el problema de la presente investigación, no hay suficiente información sobre la acumulación de los metales pesados en los sedimentos superficiales de dicha área, así como la proveniencia de los mismos y el riesgo que pudiera ocasionar la concentración de estos elementos químicos.

Es importante el conocimiento de la contaminación por metales pesados en sedimentos en el campo Urdaneta de la cuenca del Lago de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela, con el propósito de identificar las concentraciones y distribución de los contaminantes y lograr establecer estrategias de acción para que organismos gubernamentales o no, logren implementar estrategias para minimizar los daños que se han producido sobre el Lago de Maracaibo.

## **Estudio de la Contaminación por Metales Pesados en Sedimentos en el Campo Urdaneta del Lago de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela.**

Mediante el presente estudio se evaluará 16 metales pesados en el sedimento superficial del área Urdaneta del lago de Maracaibo, seis (6) de los cuales ya se tiene precedente en la cuenca: Cobre, Cadmio, Cromo, Plomo, Vanadio y Níquel, al mismo tiempo se evaluará la presencia de otros elementos como Mo, Se, Zn, As, Co, Mg, Be, Hg, Sb, Ti, sugeridos en la literatura de Galán (2008). El estudio comprende la determinación de sus niveles de concentración y distribución, mediante la toma de muestras de fondo del sedimento superficial para ser analizadas por medio del espectrofotómetro de absorción atómica.

Esto con el propósito de identificar el riesgo que representa para la salud pública y el efecto en las cadenas alimenticias, es decir, el riesgo potencial (concentración perjudiciales) de los sedimentos de la zona de estudio, sobre el agua y los organismos de este ecosistema, tomando otras referencias de estudios previos para comparar la variabilidad o no de concentración y distribución de los metales presentes en las muestras, debido al tipo de actividad comercial/industrial, así como cantidad de asentamientos urbanos en las adyacencias del área de estudio. De manera que puedan proponerse algunas acciones para que sean tomadas en cuenta por los entes protectores del ambiente y que logren de esta manera mitigar dichos daños. En esta investigación, se definieron los siguientes elementos:

**Objeto:** Los sedimentos superficiales del Campo Urdaneta.

**Campo de acción:** La contaminación por metales pesados en los sedimentos del campo Urdaneta.

### **Objetivos de la Investigación:**

Para llevar a cabo tal estudio fue necesario plantear los siguientes objetivos:

**Objetivo General:** Determinar la contaminación por metales pesados en sedimentos en el campo Urdaneta de la cuenca del Lago de Maracaibo.

### **Objetivos Específicos:**

1. Evaluar las características geológicas ambientales del área de estudio.

## **Estudio de la Contaminación por Metales Pesados en Sedimentos en el Campo Urdaneta del Lago de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela.**

2. Identificar la variedad y concentraciones de elementos metálicos pesados existentes en los sedimentos del área de estudio y el factor de concentración.
3. Elaborar mapas de distribución del contenido de los metales pesados contaminantes en sedimentos en el campo Urdaneta de la cuenca del Lago de Maracaibo.
4. Evaluar los niveles de toxicidad que producen esos elementos.

**Hipótesis:** si se identifica la variedad de elementos metálicos, se cuantifican sus concentraciones y se evalúan los niveles de toxicidad, es posible determinar el grado de contaminación por metales pesados en los sedimentos del campo Urdaneta del lago de Maracaibo.

- **Variables:** Identificar la variedad de elementos metálicos, cuantificación de sus concentraciones, determinación de los factores de concentración, evaluación de los niveles de toxicidad.
- **Unidad de observación:** Recomendar en función de los resultados, acciones que permitan mitigar la afectación del impacto ambiental.
- **Términos lógicos o relacionales:** Contaminación del ambiente.

# **Estudio de la Contaminación por Metales Pesados en Sedimentos en el Campo Urdaneta del Lago de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela.**

## **CAPÍTULO I.**

### **CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS Y AMBIENTALES DEL ÁREA DE ESTUDIO**

#### **1.1. Introducción**

La contaminación de los sistemas costeros es uno de los problemas ambientales más frecuentes a escala mundial. Su origen puede ser atribuido a diferentes fuentes, entre las que destacan la operación de refinerías, la actividad de tanqueros, los derrames, y los aportes de desechos industriales que se originan en la costa o son transportados por corrientes y ríos. Entre los diferentes contaminantes, los hidrocarburos y metales pesados han sido de gran interés debido a su ubicuidad, concentración y toxicidad en los organismos de los ambientes costeros marinos (Sadiq 1992, Grant 2002).

Tales elementos tienen lugar en el Lago de Maracaibo, donde se hace necesario el estudio de la contaminación por metales pesados en sedimentos en el campo Urdaneta del Lago de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela. A continuación se presenta una serie de basamento teórico referente a la contaminación por metales pesados a nivel mundial, regional y local que aborda el área de estudio.

#### **1.2. Basamento Teórico**

La presencia en los sedimentos de contaminaciones nocivas de algunos elementos químicos y compuestos (contaminantes) es un tipo especial de degradación que se denomina contaminación. El contaminante está siempre en concentraciones mayores de las habituales (anomalías) y en general tiene un efecto adverso sobre algunos organismos. Por su origen puede ser geogénico (procede de la roca madre, actividad volcánica o del lixiviado de mineralizaciones) o antropogénico (residuos peligrosos derivados de actividades industriales, agrícola, mineras, entre otras, así como residuos sólidos urbanos), Galán (2008).

Una intensa interacción de ambientes caracteriza a las zonas costeras del mundo y el balance de estas interacciones origina ecosistemas como son los estuarios y las lagunas costeras, con características ambientales únicas (clima, geomorfología, hidrología, circulación, procesos de mezcla), regidos a su vez por procesos físicos, químicos y biológicos de una muy alta dinámica. Tanto los mencionados procesos como

## **Estudio de la Contaminación por Metales Pesados en Sedimentos en el Campo Urdaneta del Lago de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela.**

los propios ambientes costeros (lagunas y estuarios) están sujetos a cambios que varían ampliamente en escala geográfica, tiempo y duración, y que al combinarse crean sistemas biológicamente muy productivos, pero vulnerables a las presiones ambientales, tanto naturales como generadas por diversas actividades humanas.

Los estuarios en la actualidad poseen una relevancia aún mayor en cuanto al desarrollo socioeconómico de la humanidad. Grandes civilizaciones e importantes ciudades se han fundado y han prosperado a la cercanía de un estuario. Los principales puertos del mundo se encuentran en estuarios. Ello no sólo se debe a sus condiciones de protección sino que a través de los ríos, los estuarios tienen una rápida llegada al interior del continente. Una de las formas más económicas de transporte de mercaderías es por agua, por lo tanto, aprovechar este recurso previo a la exportación de los bienes de un país es sólo una consecuencia lógica de su ubicación.

La riqueza y diversidad de recursos presentes en los estuarios y en las lagunas costeras conllevan la correspondiente concentración de actividades y asentamientos humanos a lo largo de los litorales y estuarios en todo el mundo. Se estima que más de la mitad de la población humana (65%), vive en (o cerca de) las costas (Small, 2003), y a pesar de que la densidad varía ampliamente en las diferentes regiones del planeta, hay una tendencia general de la gente a moverse desde regiones continentales hacia las costas (Costanza, 1994).

### **1.2.1 Contaminantes**

Constituyen compuestos tóxicos los que causan inhibición o destrucción de la actividad biológica. La mayoría de estos materiales provienen de las descargas domésticas, prácticas agrícolas o de origen natural. Entre estos contaminantes se encuentran disolventes, detergentes, cianuros, metales pesados, ácidos minerales y orgánicos, colorantes, herbicidas, plaguicidas entre otros (Tebbutt, 1990). Entre los contaminantes habituales en los sistemas de agua superficiales pueden mencionarse:

- **Contaminantes no conservativos:** Incluyen a la mayoría de sustancias orgánicas, algunas sustancias inorgánicas y muchos microorganismos, que se degradan por los procesos naturales de autopurificación, de tal forma que sus concentraciones se reducen con el tiempo. La descomposición de estos materiales depende de cada

## **Estudio de la Contaminación por Metales Pesados en Sedimentos en el Campo Urdaneta del Lago de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela.**

contaminante en particular, de la calidad del medio receptor, de la temperatura y de otros factores ambientales.

- **Contaminantes conservativos:** Incluyen sustancias inorgánicas que no son afectadas por los procesos naturales o de tratamientos de aguas, por lo que las concentraciones de estos contaminantes solo se pueden reducir por dilución. Su presencia en un sistema limita su uso. Un grupo que destaca en los sistemas acuáticos en general, principalmente por su efecto nocivo en todos los eslabones de la cadena trófica son los metales pesados, siendo unos de los más peligrosos por sus efectos el cadmio y el plomo.

### **1.2.2. Ciclo de metales pesados**

De los 89 elementos de origen natural solamente 10 (oxígeno, silicio, hierro, aluminio, calcio, potasio, sodio, magnesio, titanio, e hidrógeno) representan más del 99% del peso de la corteza de la Tierra. Los otros 79 (incluyendo los gases inertes) se conocen como “elementos traza” (Navrátil, 2002). Para la clasificación moderna son aquellos cuyo contenido en la Tierra es aproximadamente 0,0001% o menos e incluso suele usarse como sinónimo del término metal pesado (Bashkin, 2002). En Geoquímica los elementos traza presentan una concentración en la corteza terrestre menor al 0,1% en peso (Navrátil, 2002). A pesar de su baja abundancia muchos elementos traza poseen implicancias substanciales a nivel químico y biológico en cualquier ecosistema acuático o terrestre natural; algunos son esenciales y requeridos como micro-nutrientes para la vida de las plantas, los animales o el Hombre (Soto-Jiménez, 2011; Bashkin, 2002); también tienen roles importantes en la economía, la ecología, la agricultura, la medicina, la toxicología, entre otros (Navrátil, 2002).

El término “metal pesado” ha recibido muchas definiciones a lo largo del tiempo, basadas en diferentes criterios tales como: densidad (ej.: mayor a 4 g/cm<sup>3</sup>, otros mayor o igual a 5 g/cm<sup>3</sup>, etc.), número atómico (ej.: los que tienen número mayor a 20), peso atómico (aquellos metales con un peso atómico alto, o con una alta masa atómica y que incluye particularmente a los metales de transición que son tóxicos y no pueden ser procesados por los organismos vivos), e incluso algunas propiedades químicas o la toxicidad. Existe una tendencia a asumir que los llamados “metales pesados”

## **Estudio de la Contaminación por Metales Pesados en Sedimentos en el Campo Urdaneta del Lago de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela.**

(denominándose así al grupo de metales y metaloides) y sus compuestos están asociados con la contaminación y tienen propiedades potencialmente tóxicas o ecotóxicas (Duffus, 2002).

De acuerdo a un reporte técnico de la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC) la clave para evaluar la toxicidad potencial de los elementos metálicos y sus compuestos es comprender la biodisponibilidad, la cual depende de los parámetros biológicos y de las propiedades fisicoquímicas de tales elementos, de sus iones y sus compuestos (Duffus, 2002).

Los metales, componentes naturales de los ambientes (Prego, 2003) se encuentran usualmente a bajas concentraciones y por ende no causan efectos deletéreos serios sobre la salud humana (Zhou et al. 2008) ni sobre la biota en general. Incluso a muy bajas concentraciones o disponibilidad para los organismos vivos puede indicar deficiencia de ciertos elementos traza con consecuencias negativas sobre la estructura y fisiología de los organismos.

Los metales pueden ser agrupados de diferentes maneras. Se tomará la clasificación de Kennish (1998) y de Soto-Jiménez (2011), que considerando las siguientes categorías:

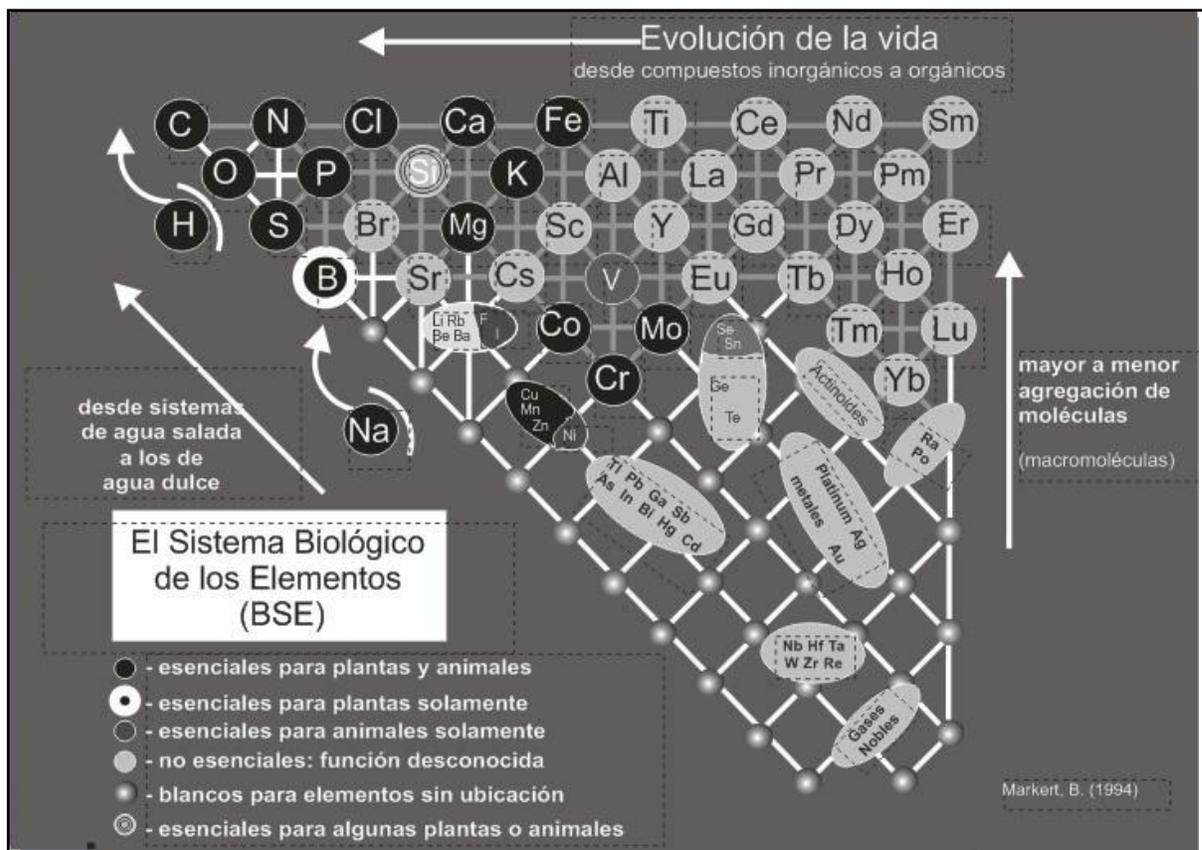
- **Metales de transición** (ej. Cu, Co, Fe, Mn, Zn) incluyen aquellos elementos traza esenciales que se necesitan para realizar las funciones metabólicas vitales en los organismos, siendo requeridos a bajas concentraciones, aunque se convierten en tóxicos a altas concentraciones.
- **Metaloides** (semimetales) (Ag, As, Cd, Pb, Cr, Hg, Se, Sn) que incluyen los elementos traza no esenciales o no requeridos para las actividades metabólicas, es decir no tienen ninguna función biológica conocida, y que son tóxicos incluso a bajas concentraciones.

En las células vegetales los elementos micronutrientes (Cu, Fe, Co, Mg, Mo, Ni y Zn) cumplen funciones esenciales para la biosíntesis, formación de ácidos nucleicos, sustancias de crecimiento, clorofilas y metabolitos secundarios, carbohidratos y lípidos, como también para la resistencia al estrés (Appenroth, 2010).

# Estudio de la Contaminación por Metales Pesados en Sedimentos en el Campo Urdaneta del Lago de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela.

## 1.2.3. Origen de los metales en el medio acuático

Los metales ingresan al ambiente acuático (ríos, estuarios, mares y océanos) a partir de procesos naturales o geogénicos (incluyendo la erosión y desgaste de rocas, lixiviado o lavado lento de suelos/rocas, sedimentación de unidades geológicas dentro de la cuenca, actividades volcánicas, emisiones hidrotermales del mar profundo o incendios forestales) y procesos antropogénicos (derivados de actividades humanas como desarrollo y crecimiento de centros urbanos, actividades agrícolas-ganaderas, hundimiento de residuos, accidentes de navegación, minería, refinerías-actividades petroleras asociadas, fundición de minerales, galvanoplastia y otras operaciones industriales), que llegan por medio del transporte atmosférico, descargas de ríos, escorrentías difusas, o vertidos directos (Salomón, 1984; Franca et al., 2005; Zhou et al., 2008; Du Laing et al., 2009b; Tijani et al, 2009; Viers et al 2009; Bai et al. 2011).



**Figura 1.** El sistema biológico de los elementos para plantas terrestres (glicofitas).

**Fuente:** Market (1994), tomado de Marcovecchio (2013).

## **Estudio de la Contaminación por Metales Pesados en Sedimentos en el Campo Urdaneta del Lago de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela.**

Las rocas y los suelos son considerados la principal fuente natural de metales en el ambiente, metales están contenidos en la red cristalina mineral (litogénica) y pueden quedar libres por efecto de la meteorización (proceso sinérgico de desgaste mecánico y erosión química naturales). Cuanto menores sean los fragmentos mayor es la superficie disponible para el ataque químico y cuanto más débiles sean las uniones de los elementos trazas de las rocas es más común que formen minerales (Salomón, 1984).

Las actividades humanas son usualmente mayores en aguas estuarinas y costeras como también en las cuencas fluviales, particularmente en aquellas localizadas cerca de asentamientos urbanos y actividades industriales (Kennish, 1998; Prego y Cobelo-García, 2003; Franca et al., 2005; Reboreda, 2007; Du Laing et al., 2009b; Duarte et al., 2010). Se considera a los ríos como el principal vehículo de transporte del material rodado desde los continentes hacia los océanos, que incluye metales pesados y otros constituyentes químicos. Los ríos transportan estos materiales en forma disuelta y como sólidos (suspendidos y como carga del sedimento del lecho).

La distribución relativa de los elementos entre las fases soluto y partículas depende de la partición y movilidad de los componentes químicos (metales) durante el desgaste y el transporte (Ip et al., 2007). Los mecanismos de transporte dependerán de la naturaleza y concentración del mineral, de la presencia de ligandos orgánicos en la fase de disolución, de la naturaleza y la cantidad de partículas minerales presentes (Viers et al., 2009) y de la cantidad de materia orgánicas presentes (Du Laing et al., 2009a). Los metales traza que están asociados con la materia orgánica son liberados durante el proceso de degradación de la misma (Martínez, 2001; Duarte et al., 2010).

### **1.2.4. Circulación de metales en ecosistemas estuariales**

Los estuarios son ambientes complejos y dinámicos (Ip et al., 2007), considerados únicos entre los sistemas acuáticos, que presentan cambios graduales en variables ambientales como la salinidad y variables biológicas, acoplados a un alto grado de turbidez lo que conduce a la deposición de fango en las zonas intermareales (Elliot, 2002). A la vez son ambientes seleccionados para el desarrollo y crecimiento de numerosas actividades humanas que generan en consecuencia aumento de la población (Prego, 2003), aumento de la demanda de alimentos, mayor uso de

## **Estudio de la Contaminación por Metales Pesados en Sedimentos en el Campo Urdaneta del Lago de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela.**

fertilizantes, incremento de fábricas e industrias, entre otros, lo que hacen que dichos sistemas se tornen sensibles a la contaminación por metales entre otras sustancias inorgánicas y orgánicas (Botté et al 2007, Marcovecchio et al, 2010).

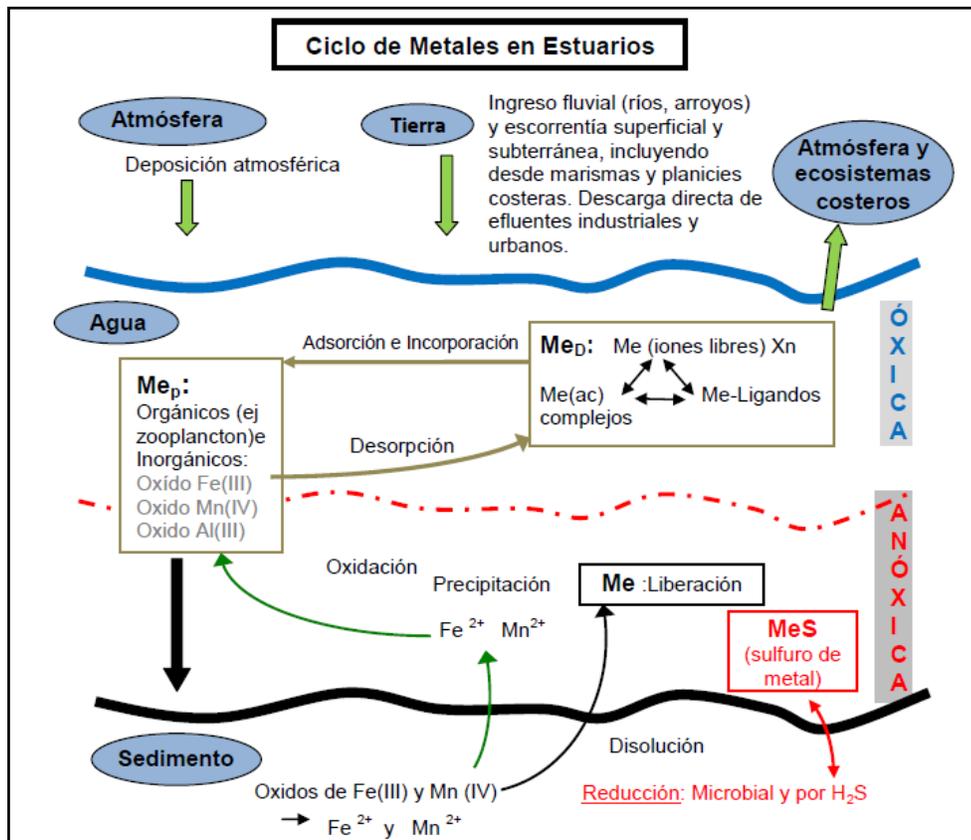
Los principales responsables del ingreso de metales a los estuarios son la deposición atmosférica, los aportes fluviales (ríos, arroyos) y la descarga directa de efluentes, ya sea como metales disueltos o particulados (materia suspendida); y cuyos efectos iniciales se producen en la zona costera. Los metales traza disueltos pueden ser adsorbidos sobre óxidos metálicos (ej. óxidos de hierro o aluminio) o ser captados por los organismos (ingeridos con la dieta) (Borch et al, 2010). Como metales particulados, pueden depositarse a través de condiciones de anoxia en los sedimentos desde donde pueden ser liberados por disolución reductora, quedando entonces disponibles para la precipitación o el reciclaje (Benjamín 1992, Blasco et al. 2000).

Numerosos estudios sobre el comportamiento de estos elementos químicos en estuarios muestran que los procesos, físicos, químicos, biológicos e hidrodinámicos que allí tienen lugar cumplen un papel fundamental y variable en relación con el flujo de metales desde la tierra hacia el mar (Martínez, 2001), como se puede apreciar en el diagrama de la Figura 2.

Es aún tema de discusión saber con certeza cuán rápido los metales pueden acumularse en los organismos marinos o hasta dónde estas acumulaciones son reversibles. En este punto es importante conocer como se transportan los compuestos químicos sintéticos, se acumulan los elementos tóxicos en los sedimentos del fondo y su forma de ingresar en las cadenas tróficas pudiendo terminar finalmente en el hombre (Benjamín, 1992).

Los metales, incluyendo aquellos que aparecen a niveles traza son componentes normales del agua de mar y son requeridos por la biota en cantidades muy pequeñas, sin embargo algunos de ellos reciben un particular interés considerando su fuerte toxicidad aún a concentraciones muy bajas (Hg, Pb, Cd) (Botté et al, 2007; Marcovecchio et al., 2007).

## Estudio de la Contaminación por Metales Pesados en Sedimentos en el Campo Urdaneta del Lago de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela.



**Figura 2.** Ciclo de metales entre los diferentes compartimientos de un ambiente estuarino  
**Fuente:** Marcovecchio J. (2013).

### 1.2.5. Interacción metal-sedimento

El principal depósito natural o reservorio para los metales en los ecosistemas estuariales lo constituye el sedimento (Salomons, 1984), el cual actúa como un almacén altamente concentrado de metales, con concentraciones de varios órdenes de magnitud superior a los de las aguas adyacentes, tanto intersticiales como suprayacentes (Rubio et al., 2000).

La acumulación de metales en los sedimentos se determina por los aportes debido a la descarga de aguas residuales industriales y urbanas o la deposición atmosférica, pero también por la capacidad de los sustratos a unir y liberar metales, que se rige por el pH del sedimento, la capacidad de intercambio catiónico, el contenido de materia orgánica, las condiciones redox y el contenido de cloruros. Estas propiedades determinan el tipo y estabilidad del metal, y su absorción o precipitación, y también están relacionadas con la movilidad, biodisponibilidad y toxicidad potencial del metal (Du Laing et al., 2008c).

## **Estudio de la Contaminación por Metales Pesados en Sedimentos en el Campo Urdaneta del Lago de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela.**

Por ello el estudio de metales en los sedimentos estuariales así como sus características fisicoquímicas (potencial redox, tamaño de grano) constituyen un rasgo significativo ya que los sedimentos son la fuente secundaria (o en ocasiones primaria) de metales para los ambientes acuáticos estuariales (Bufflap, 1995).

El origen de los sedimentos que se depositan en un estuario es variable, pueden ser marinos, provenir de los sistemas terrestres adyacentes y llegar a través cursos de agua dulce, o ser sedimentos orgánicos generados in situ. La sedimentación elimina metales de la columna de agua (Bufflap, 1995) evitando de esta manera que sean transferidos a la biota y/o que ingresen a las cadenas tróficas marinas.

La concentración y biodisponibilidad de metales encontrados en los sedimentos estuarinos depende de varios factores incluyendo, potencial redox, pH, salinidad, especies disueltas de metales y la composición del sedimento (Duquesne et al., 2006). En algunos estuarios, las concentraciones de metales en las partículas en suspensión no difieren significativamente de aquellas en el sedimento superficial bentónico, y ello sería consistente con la presencia de partículas finas re-suspendibles (Langston et al., 2010). El estudio de las concentraciones de metales asociados a diferentes tipos de sedimento y a diferentes tamaños de grano tiene gran implicancia en la biodisponibilidad de metales para los invertebrados bentónicos, particularmente moluscos que se alimentan de los depósitos de partículas y de partículas en suspensión, quienes a su vez constituyen importantes componentes de la dieta de peces y aves estuarinas (Duquesne et al., 2006; Zhou et al., 2008).

Así, cambios en las condiciones ambientales (corrientes de marea, olas, vientos), actividades de los organismos bentónicos o bioturbación, los procesos de mineralización en la interface sedimento-agua (precipitación, adsorción, absorción, solubilización, formación de sulfuros) (Duarte et al., 2010), procesos de oxidación mediada por las raíces de las plantas (Reboreda, 2007) y las actividades humanas tales como el dragado y refulado, pueden causar no solo la resuspensión del sedimento estratificado (óxido-reductor) y la mezcla con el agua de columna oxigenada (Bufflap y Allen, 1995) sino que también juegan un papel fundamental en la remobilización de los metales acumulados (Salomons, 1984), con la consecuente redistribución de dichos

## **Estudio de la Contaminación por Metales Pesados en Sedimentos en el Campo Urdaneta del Lago de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela.**

metales en el ecosistema, la alteración en la fase disuelta y la posterior incorporación biológica (Atkinson et al., 2007).

### **1.2.6. Eutrofización**

Un incremento de nutrientes, especialmente de N y P, acelerado por el aporte de fuentes antropogénicas, puede conducir a graves problemas de eutrofización en los ambientes acuáticos (Rabouille et al., 2001; LOICZ, 2001; Ruttenberg, 2005, Lillebø et al., 2005; Camargo y Alonso, 2007; Heisler et al., 2008). La eutrofización es la producción acelerada de materia orgánica, particularmente algas, en un cuerpo de agua (Briker et al., 1999).

Como resultado de este crecimiento desmesurado de las algas una gran variedad de impactos en el ecosistema pueden ocurrir, incluyendo el florecimiento de algas tóxicas, el agotamiento del oxígeno disuelto y la pérdida de la vegetación acuática sumergida. Esto produce un efecto negativo en la calidad del agua y en la salud de los ecosistemas.

Durante muchos años, la eutrofización ha sido reconocida como un problema en los sistemas de agua dulce; y hace unas pocas décadas que fue creciendo la preocupación de la presencia generalizada de las condiciones de eutrofización en los sistemas estuarinos (Briker et al., 1999).

### **1.2.7. El Estuarios como ambientes adecuados para realizar estudios de contaminación.**

Los estuarios son un excelente ejemplo de las complejas interacciones que normalmente se producen en ambientes costeros. Un gran número de factores interactúan simultáneamente, haciendo más difícil la predicción exacta de los procesos que los caracterizan (Perillo, 1995). La flora y la fauna que se desarrollan en un estuario están bien adaptados a esa drástica variabilidad (por ejemplo, cambios en la salinidad, períodos secos / húmedos, dirección de las corrientes de marea, etc.), pero sufren significativamente los cambios artificiales que son inducidos por la siempre creciente actividad humana, en y alrededor de los estuarios, o incluso a cientos o miles de kilómetros tierra adentro. Las estructuras artificiales (por ejemplo, puertos,

## **Estudio de la Contaminación por Metales Pesados en Sedimentos en el Campo Urdaneta del Lago de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela.**

embarcaderos), dragado de canales de navegación (incluida la eliminación de material) o construcción de represas en el río son sólo ejemplos de las condiciones físicas que tienen un gran impacto en la comunidad biológica. También hay que considerar el impacto adicional que produce la entrada de contaminantes y las correspondientes cargas de nutrientes y fertilizantes (Perillo *et al.*, 2009). Tal y como se ha referido previamente, los estuarios son importantes corredores para el intercambio de masa entre las cuencas hidrográficas continentales y el mar.

Desafortunadamente, los ecosistemas estuariales ubicados río abajo (en el extremo de la cuenca hidrográfica), con frecuencia sufren un significativo efecto de degradación debido a desarrollos generados aguas arriba, así como a la contaminación del agua de la cuenca asociada. Por lo tanto, es importante que las causas de tales degradaciones sean diagnosticadas y entendidas cabalmente, para poder tomar medidas adecuadas para proteger y restaurar la salud de los ecosistemas estuariales (Meng y Liu, 2010).

Para considerar adecuadamente el tema en cuestión, es conveniente recordar la definición científica de contaminación marina. Esta se define como la introducción por acción del hombre de cualquier sustancia o energía en el medio marino (incluidos los estuarios) que produzca (o pueda producir) efectos nocivos, tales como daños a los recursos vivos y a la vida marina, peligros para la salud humana, obstaculización de las actividades marítimas incluida la pesca y otros usos legítimos del mar, deterioro de la calidad del agua de mar para su utilización y menoscabo de los lugares de esparcimiento (GESAMP, 2011). Así, resulta muy importante tener presente esta definición y aplicarla plenamente, teniendo siempre presente que la sola presencia de una sustancia potencialmente tóxica en un sistema natural no determina la existencia de contaminación, sino que resulta imprescindible la ocurrencia de efectos nocivos (Bellas *et al.*, 2011).

Esto no es, sin embargo, una tarea fácil, ya que los desechos industriales, agrícolas y urbanos, dragados, y modificaciones en el sistema de reasignación de usos de suelos - entre otros- han producido problemas de contaminación y eutrofización, y han afectado

## **Estudio de la Contaminación por Metales Pesados en Sedimentos en el Campo Urdaneta del Lago de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela.**

a la composición y distribución de especies y el funcionamiento del sistema (Scheffer *et al.*, 2003 ; Atkins *et al.*, 2007).

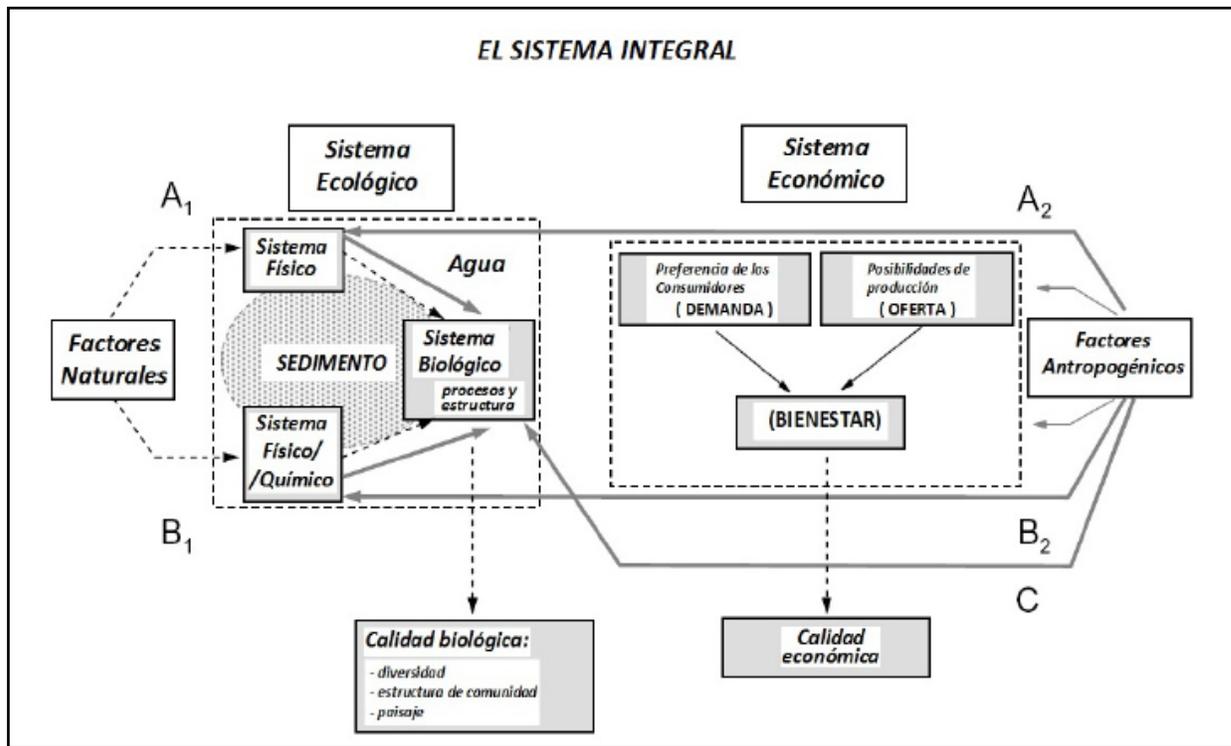
No sólo las actividades humanas directas son responsables de estas acciones previamente mencionadas, ya que -por ejemplo- los cambios climáticos que conllevan aumento de lluvias torrenciales y escorrentías asociadas, pueden estimular la movilización de contaminantes antiguos retenidos en los sedimentos. De la misma manera, eventos extremos de inundaciones de ríos en regiones mineras pueden generar una considerable contribución al ingreso de Hg adsorbido en partículas hacia la zona costera y sistemas (Figura 3).

El aumento de la urbanización y de la utilización de las zonas costeras para actividades de recreación está acompañado por actividades tales como la reclamación y recuperación de tierras, dragado de canales de navegación, accesos y áreas de maniobras de zonas portuarias, el bombeo de sedimentos y la construcción de instalaciones complementarias de los puertos comerciales y/o deportivos. Consecuentemente, los efectos ambientales están aumentando continuamente.

Estos estudios hacen hincapié en que tanto los ecólogos estuariales como los administradores de recursos necesitan: (i) un buen conocimiento de las características ambientales de los sistemas bajo estudio o sometidos a su jurisdicción; (ii) los datos cuantitativos sobre los conjuntos flori-faunísticos de aquellos sistemas, considerando las escalas espaciales y temporales; (iii) la capacidad de predecir de modo confiable las especies que puedan ocupar cualquier sitio de los estuarios; y, (iv) una comprensión acabada de las consecuencias ecológicas del cambio ambiental (Valesini *et al.*, 2010).

A manera de síntesis, la literatura internacional presenta numerosos trabajos en los que se presentan informaciones sobre la presencia, concentraciones y distribución de distintos grupos de contaminantes en ambientes estuariales, y sus componentes abióticos y biológicos. Esto, junto con los análisis previamente comentados, indica que estos ambientes resultan sumamente adecuados como para llevar adelante estudios de contaminación. Simultáneamente, el intenso uso que hace la sociedad humana de los estuarios determina la importancia de esas evaluaciones. *Marcovecchio, et, al. (2013).*

## Estudio de la Contaminación por Metales Pesados en Sedimentos en el Campo Urdaneta del Lago de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela.



**Figura 3.** Diagrama que representa un sistema natural integral. Se indican las *influencias naturales* (líneas cortadas) y las *antropogénicas* (líneas llenas). **A<sub>1</sub>** y **A<sub>2</sub>**: influencias naturales y/o antropogénicas sobre el sistema físico. **B<sub>1</sub>** y **B<sub>2</sub>**: *Idem* sobre el sistema físico-químico. **C**: efectos humanos directos sobre el sistema biológico.

**Fuente:** Adaptado de Jonge et al. (2003) y Covelli et al. (2007).

### 1.3. Investigaciones Precedentes

El tema de contaminación ambiental generado por las elevadas concentraciones de metales pesados, ha sido revisado y discutido en varias partes del mundo, incluyendo Venezuela y concretamente el Lago de Maracaibo, tal como se muestra a continuación:

Agudelo L. et al. (2005), menciona la fitorremediación como la alternativa para absorber metales pesados de los biosólidos, por medio de esta investigación, los autores pretenden demostrar que la fitorremediación constituye una alternativa eficaz y económica para realizar procesos de descontaminación de metales pesados en biosólidos, los cuales provienen especialmente de los tratamientos de aguas residuales, sin causar deterioro en los sedimentos en los que son aplicados, disminuyendo la contaminación no solo de este, sino también del agua y de los que a partir del medio donde se encuentre, puedan llegar a cualquier organismo vivo.

## **Estudio de la Contaminación por Metales Pesados en Sedimentos en el Campo Urdaneta del Lago de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela.**

Aguirre G. et al. (2009), evaluaron la toxicidad no específica en sedimentos portuarios, una aproximación al contenido de contaminantes críticos, analizando la calidad de sedimentos de cuatro puertos chilenos con diferentes actividades de cabotaje, en función del contenido de materia orgánica (MOT), hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs), metales traza (Cd, Pb y Cu) y toxicidad no específica. El índice de contaminación urbana e industrial (ICUI) referido al contenido de metales, reveló como más contaminados a Iquique y Talcahuano; en cambio el índice de adición de HAPs a San Vicente (IA HAPs), al igual que la toxicidad. En este sentido los autores exponen la incidencia de múltiples actividades industriales que desarrollan en las adyacencias del área de estudio, que mediante la implementación de puertos comerciales, pesqueros y/o de cabotaje en el interior de las bahías.

Araúz D. et al. (2013), realizaron el estudio del “Nivel de Contaminación y Distribución Espacial de Metales Pesados en sedimentos superficiales de Bahía Damas, Isla Coiba” donde determinaron los metales pesados (Cr, Cu, Cd y Pb) en sedimentos superficiales de Bahía Damas en Isla Coiba para establecer los niveles de línea base y de contaminación. Las concentraciones medias de metales pesados en los sedimentos del área de estudio oscilaron: Cr (88,32a 94,63  $\mu\text{g/g}$ ), Cd (1,84 -3,53  $\mu\text{g/g}$ ), Cu (41,47- 48,7  $\mu\text{g/g}$ ) y Pb (1,09 - 3,80  $\mu\text{g/g}$ ), siendo la distribución de estos metales gradual y estacional, reflejando un incremento de la concentración hacia la parte de mar afuera en periodo seco e intermedio.

Ávila H. et al (2010), en su estudio denominado “Distribución de metales pesados en sedimentos superficiales del Lago de Maracaibo, Venezuela”, recolectaron 52 muestras en 13 estaciones ubicadas estratégicamente a lo largo de la cuenca del Lago de Maracaibo, durante 1999 a 2001, obteniendo como resultado la identificación de los metales Cu, Cd, Cr, Pb, V y Ni, cuyas concentraciones de metales en sedimentos superficiales del Lago de Maracaibo, son similares a las reportadas en sistemas acuáticos con alta actividad petrolera.

Ávila, H; et al (2014), en su trabajo de “Determinación de metales pesados en sedimentos superficiales costeros del Sistema Lago de Maracaibo, Venezuela” establecieron como objetivo del estudio: Identificar áreas costeras con concentraciones

## **Estudio de la Contaminación por Metales Pesados en Sedimentos en el Campo Urdaneta del Lago de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela.**

críticas de Pb, Cr, Cd, Ni y V en sedimentos superficiales costeros del sistema Lago de Maracaibo, utilizando el Análisis de Componentes Principales (ACP). La tendencia en los metales en la zona costera evaluada es de concentraciones altas hacia la zona de desembocadura de los ríos tributarios de la zona sur del Lago y de manera puntual algunas estaciones en la zona norte, estas últimas relacionadas con actividades industriales. Al comparar las concentraciones de metales obtenidos en este estudio con los valores de riesgo relativo para sedimentos de ambientes marinos y estuarinos (ER-L, Environmental Response-Low), reportados por la NOAA. Porcentaje de excedencia en cada punto muestreado ( $n=8$ ) al límite permisible por la ER-L (NOAA1995) para  $Cd > 5$ ;  $Cr > 80$ ;  $Ni > 30$ ;  $Pb > 35$  mg/kg. Solo se muestran los metales que exceden la norma.

Cañizares R. (2000), llevo a cabo el estudio de la Biosorción de metales pesados mediante el uso de biomasa microbiana, este consiste en la utilización de microorganismos como biosorbentes de metales pesados, ofrece una alternativa potencial a los métodos ya existentes para la destoxificación y recuperación de metales tóxicos o valiosos presentes en aguas residuales industriales.

Castañé P. et al. (2003), desarrollaron el trabajo titulado, "Influencia de la especiación de los metales pesados en medio acuático como determinante de su toxicidad", cuyos resultados muestran que la concentración total del Cd no es un buen predictor de su toxicidad para las algas y que su especiación puede afectar la disponibilidad del mismo para los organismos en medio acuático y, consecuentemente, determinar la magnitud de su toxicidad.

Cervantes Y. et al. (2011) en el artículo "Metales traza en sedimentos de la Bahía de Cayo Moa (Cuba): Evaluación de la contaminación" evalúan los niveles de cuatro elementos traza arsénico (As), cobre (Cu), plomo (Pb) y zinc (Zn) en sedimentos superficiales de la bahía de Cayo Moa, en la cual la actividad humana ha incidido desde mediados del pasado siglo, paralelamente al desarrollo de una de las regiones mineras más importante de Cuba. Para evaluar el grado de contaminación de los sedimentos se utilizaron tres métodos fundamentales: la comparación con otros ecosistemas marinos, la determinación del nivel de enriquecimiento metálico mediante el cálculo del Factor de

## **Estudio de la Contaminación por Metales Pesados en Sedimentos en el Campo Urdaneta del Lago de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela.**

Contaminación, y la interpretación de los datos obtenidos con base en criterios de calidad. El rango de concentraciones varió entre 7-153  $\mu\text{g g}^{-1}$  para As, 18-175  $\mu\text{g g}^{-1}$  para Cu, 5-62  $\mu\text{g g}^{-1}$  para Pb y de 46-527  $\mu\text{g g}^{-1}$  para el Zn. La distribución espacial de las concentraciones mostró valores altos en toda la bahía y zonas aledañas, con variaciones según el elemento analizado; los mayores niveles de As se encontraron en las desembocaduras de los ríos Moa y Cayo Guam. Los resultados muestran una elevada concentración de As, Cu, Pb y Zn; los niveles de contaminación revelados en este estudio permiten clasificar algunos puntos analizados como altamente contaminados o con un potencial de riesgo biológico alto.

Corona J. (2012), en el documento presentado como “Contaminación Antropogénica en el Lago de Maracaibo, Venezuela”, presenta una revisión bibliográfica exhaustiva sobre el impacto ecológico de la contaminación antropogénica en aguas, biota y explotación pesquera del sistema de Maracaibo. Donde establece que esta problemática ambiental, ha generado un desequilibrio ecológico de los componentes bióticos y abióticos del estuario; ofreciendo de esta manera una visión amplia sobre las repercusiones ecológicas en el lago.

Díaz Rizo O. et al. (2008), realizaron el “Análisis ambiental por activación neutrónica de sedimentos de la Bahía de La Habana”, a través de la activación neutrónica instrumental de sedimentos superficiales de la bahía de La Habana, Cuba. Se reportaron las concentraciones de 23 elementos (metales pesados y trazas), reportándose, por primera vez un grupo importante de elementos tierras raras (La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Yb y Lu). La normalización de los resultados a un metal de referencia demostró la presencia antropogénica de Sb, Ba, As, Cr y Zn producto de la descarga de residuales domésticos e industriales.

Farina O. et al. (2013) en su “Evaluación de la Contaminación por Mercurio en la Biota Acuática, Aguas y Sedimentos de la Cuenca Alta del río Cuyuní, Estado Bolívar, Venezuela” evaluaron el alcance de la contaminación por mercurio en la cuenca alta del río Cuyuni, determinándose la concentración de mercurio en 36 muestras de agua, 25 muestras de sedimentos y 145 muestras de tejido de peces (n=131) e invertebrados acuáticos (cangrejos, camarones y caracoles) (n=14), correspondientes a 56 especies

## **Estudio de la Contaminación por Metales Pesados en Sedimentos en el Campo Urdaneta del Lago de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela.**

identificadas, provenientes de las estaciones ubicadas en las cinco áreas focales en la cuenca alta del Cuyuni. El rango de valores de concentración de mercurio obtenidos en los sedimentos fue de 6.55 a 421.53 ppb, con factores de enriquecimiento (FE)  $>1$  en 16 estaciones, indicando una entrada de mercurio antropogénica. Las concentraciones mínimas y máximas de Hg en agua fueron 2.01 y 20.13 ppb respectivamente, donde el metal asociado a los sólidos suspendidos represento entre el 1.30 y 63.35%. Como regla general, la concentración de mercurio en el tejido del musculo de peces fue mayor que en invertebrados.

García N. et al. (2012) en su “Evaluación Preliminar de Riesgos para la Salud Humana por Metales Pesados en las Bahías de Buenavista y San Juan de los Remedios, Villa Clara, Cuba” llevaron a cabo una caracterización de los principales focos contaminantes de la bahía San Juan de los Remedios, fundamentalmente en las industrias que vierten sus residuales directamente al mar sin tratamiento alguno y que contienen gran variedad de sustancias tóxicas orgánicas y químicas. Estos residuales, son vertidos en los ríos que desembocan en esta bahía. Se realizó una evaluación del riesgo que constituye para la salud humana la presencia de metales pesados en los cuerpos de agua poniendo en riesgo la vida de las personas que habitan en la ciudad de Caibarién.

Guzmán C. (2011) realizó la “Evaluación de contaminantes en agua y sedimentos del Río San Pedro en el estado de Aguascalientes” con la finalidad de estudiar el nivel de contaminación del río y la probable infiltración de contaminantes al acuífero del Valle de Aguascalientes, para ello tomó muestras de agua y sedimentos de 50 sitios seleccionados a lo largo del río. Evaluó además 17 pozos aledaños al río (a menos de 300 m). Se realizaron dos campañas de muestreo, una en temporada de sequía y otra posterior a las lluvias. Se determinó pH, oxígeno disuelto, DBO5, DQO, P-total, N-total, fenoles, anilinas, detergentes (SAAM), coliformes fecales y metales pesados (Al, As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Pb y Zn). El agua del río San Pedro presentó en algunos sitios contaminación moderada por Al y Fe. De acuerdo con los criterios de la Agencia de Protección al Ambiente de los Estados Unidos, todos los sedimentos presentaron contaminación por As; el 50% de los mismos por Pb y Zn, el 25% con Cu y

## **Estudio de la Contaminación por Metales Pesados en Sedimentos en el Campo Urdaneta del Lago de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela.**

aproximadamente el 13% con Mn y Cr. Tres sedimentos presentaron contaminación moderada por Fe y otros tres por Hg.

Hansen M. (2013). Metodología para determinar la liberación de metales del sedimento al agua en lagos y embalses. Aunque el sedimento en cuerpos de agua puede actuar como fuente secundaria de contaminantes disueltos, no se conocen criterios que establezcan esta relación. En este trabajo se propone una metodología para estimar los riesgos de contaminar el agua por liberación de metales acumulados en sedimento. Se evaluó la distribución de cadmio, cobre, cromo, hierro, manganeso, níquel, plata y zinc entre agua y sedimento en ambientes experimentales que varían entre oxidados y reducidos. La metodología desarrollada, que combina evaluación experimental con modelación hidrogeoquímica, permite evaluar diferentes escenarios de contaminación del agua en contacto con el sedimento. El conocimiento de la disolución reductiva de metales es imprescindible para poder mitigar efectos a la salud y para la toma de decisiones sobre tratamientos de agua.

Herrera J. et al. (2012) en la "Evaluación de metales pesados en los sedimentos superficiales del río Pirro. Laboratorio de Manejo del Recurso Hídrico, Escuela de Química, Universidad Nacional, Costa Rica" analizaron por espectrofotometría de absorción atómica la concentración de Cd, Ag, Se, Sn, Ni, Cr, Cu, B, Zn, Hg, Ba, Pb, Mn, As y Al en los sedimentos superficiales del sector medio del río Pirro (Heredia, Costa Rica). Las concentraciones de estos elementos fueron muy elevadas para la mayoría de las sustancias analizadas en todos los puntos de muestreo seleccionados. Su distribución no fue homogénea, ni presentó un patrón geográfico marcadamente definido, pudiéndose encontrar altos niveles distribuidos a lo largo del transecto estudiado.

Ibárcena L. (2011). Estudio de la Contaminación por Metales Ecotóxicos en Sedimentos en la Bahía de Ite, Provincia de Jorge Basadre Grohmann de Tacna, determinando la incidencia que tendrían los mismos sobre la fauna bentónica de la zona, como consecuencia del vertimiento por más de 35 años de los relaves mineros provenientes de las minas de Toquepala y Cuajone. Los resultados obtenidos de los metales ecotóxicos Cu, Zn, As, Cd, Hg, Pb, Fe, analizados que se encuentran en los sedimentos

## **Estudio de la Contaminación por Metales Pesados en Sedimentos en el Campo Urdaneta del Lago de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela.**

superficiales de la Bahía de Ite, en orden decreciente son: Fe > Cu > Zn > As > Pb > Cd > Hg. Los valores promedios reportados son los siguientes: Cu = 608.063 mg/kg, Zn = 9.923 mg/kg, As = 8.66 mg/kg, Cd = 0.41 mg/kg, Hg < 0.01 mg/kg, Pb = 8.472 mg/kg, Fe = 33078.63 mg/kg.

Luque C. (1993). Distribución de metales pesados en sedimentos de las Marismas del Odiel (Huelva, So. España). Analizado la distribución y contenido total de metales pesados (Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Pb) en sedimentos de las Marismas del Odiel (SO España). Las concentraciones de estos elementos, obtenidas por espectrofotometría de absorción atómica, fueron muy elevadas para la mayoría de los elementos analizados. Su distribución no es homogénea, ni presenta un patrón geográfico marcadamente definido, pudiéndose encontrar altos niveles repartidos por toda la marisma. Existe cierto gradiente topográfico, con mayores concentraciones en puntos de menor cota. Los puntos de muestreo más aislados de la incidencia mareal y los más expuestos a mar abierto registraron los niveles más bajos. Los metales que superaron los límites máximos permisibles (según Long et al., 1995) en sedimentos fueron: Cd total ( $1.28 \pm 0.77 \mu\text{g g}^{-1}$ ), Ni total ( $107.51 \pm 23.02 \mu\text{g g}^{-1}$ ), Pb total ( $44.50 \pm 18.97 \mu\text{g g}^{-1}$ ) y V total ( $48.98 \pm 6.88 \mu\text{g g}^{-1}$ ); en las almejas (según Nauen 1983): Cd ( $0.28 \pm 0.13 \mu\text{g g}^{-1}$ ), Cr ( $4.27 \pm 2.29 \mu\text{g g}^{-1}$ ), Ni ( $2.83 \pm 2.33 \mu\text{g g}^{-1}$ ), ( $2.29 \pm 1.10 \mu\text{g g}^{-1}$ ) y V ( $1.85 \pm 1.15 \mu\text{g g}^{-1}$ ).

Machado A. et al. (2010). Influencia de una planta termoeléctrica en la concentración de V y Ni en sedimentos en la ciudad de Maracaibo, Venezuela.

Márquez A. et al. (2008). Concentraciones de metales en sedimentos y tejidos musculares de algunos peces de la Laguna de Castellero, Venezuela. Con el propósito de detectar alteraciones en el productivo ecosistema de la Laguna de Castellero (Caicara del Orinoco, municipio Cedeño del estado Bolívar, Venezuela), se presentan resultados de mediciones granulométricas y de las concentraciones de los metales pesados: Fe, Mn, Zn, Pb y Co realizadas en junio 2001 sobre los sedimentos superficiales y del tejido muscular de varias especies autóctonas de peces (*Plasgiosium squamossimos*, *Pigocentrus cariba*, *Pheudoplastyloma fasciatum*, e *Hypostomus* spp realizadas en junio 2001. Utilizando técnica de espectrofotometría de absorción atómica

## **Estudio de la Contaminación por Metales Pesados en Sedimentos en el Campo Urdaneta del Lago de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela.**

con llama de aire acetileno, se determinó que, las concentraciones de metales más altas están representadas por manganeso, zinc y plomo. Se encuentran valores elevados en la concentración de Pb y Zn, hecho atribuido al estrés que ejercen las actividades antropogénicas circundantes sobre la Laguna de Castellero.

Menéndez M. (2004), realizó el estudio sobre la eutrofización y calidad del agua de una zona costera tropical, donde determino que la calidad del agua costera está siendo alterada por el incremento de los desechos propios de las actividades humanas; los nutrientes nitrógeno y fósforo generados por estas fuentes pueden acrecentar el desarrollo del proceso de eutrofización en el ambiente costero. El Estado de Yucatán, México, es una zona tropical sometida a las presiones que representan su desarrollo económico, por el crecimiento de la densidad de la población y el aumento del vertido de desechos. El subsuelo de esta región es un sistema cárstico de carbonato de calcio que favorece la infiltración del agua y de contaminantes al acuífero. Durante el año 2000, las principales fuentes de nutrientes de Yucatán, fueron en orden de importancia, los aportes continentales procedentes de la porcicultura y avicultura, la agricultura, la precipitación atmosférica y los desechos de origen humano -domésticos, públicos, urbanos e industriales-; estos nutrientes ingresan al litoral de Yucatán por la descarga del agua subterránea en la costa, con una proporción N:P =194,9:1.

Morán E. (2012). Impactos recientes de los cambios ambientales en los recursos hídricos superficiales de la cuenca del Duero. La disponibilidad de recursos hídricos ha sido históricamente un factor limitante de desarrollo en los países de la cuenca mediterránea. En este trabajo se analizó la evolución y variabilidad recientes (1961-2005) de los recursos hídricos superficiales el caudal en los ríos en una de las cuencas hidrográficas de mayor entidad de la Península Ibérica, y los factores ambientales responsables de su evolución. Los resultados del trabajo muestran un descenso notable y generalizado en los caudales en la región, acompañado de un cambio en los regímenes fluviales. La evolución del clima, con unas precipitaciones muy variables pero sin tendencias notables a largo plazo, y unas temperaturas en aumento, explica en parte, pero no en su totalidad, el descenso hidrológico. En las cabeceras fluviales se ha detectado un incremento significativo de la cubierta vegetal durante el periodo de estudio, el cual parece estar participando en gran medida en el descenso de caudales.

## **Estudio de la Contaminación por Metales Pesados en Sedimentos en el Campo Urdaneta del Lago de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela.**

Por otro lado, la regulación por medio de embalses está incrementando en la cuenca y con ello contribuyendo al cambio hidrológico en la región. Los resultados obtenidos ofrecen la base conceptual para proyectar la disponibilidad futura de los recursos hídricos en los escenarios de mayor escasez como consecuencia del cambio climático venidero.

Ramos R. et al. (2012), mediante la investigación, ensayos de toxicidad con sedimentos marinos del occidente de Venezuela, obtuvieron que la actividad de las refinerías es una de las principales fuentes de contaminación marino costera a nivel mundial. En este trabajo se evaluó la toxicidad de sedimentos potencialmente impactados por el Centro Refinador Paraguaná, ubicado en la costa occidental de Venezuela, utilizando bioensayos de toxicidad crónicos.

Dicha toxicidad se evaluó con larvas del camarón *Litopenaeus vannamei* y con poliquetos *Scolelepis texana* durante 28 días y 10 días, respectivamente. Ambos bioensayos indicaron una alta toxicidad para sedimentos aledaños a la refinería, con respecto a sedimentos de la misma región con menor influencia de la refinería y a sedimentos de una zona control. Los sedimentos aledaños a la refinería tuvieron concentraciones relativamente elevadas de metales pesados como el cromo, níquel y zinc; y presencia de hidrocarburos policíclicos aromáticos (PAHs > 1000 ppb). Este estudio está enmarcado dentro del primer trabajo de riesgo ecológico ambiental realizado en Venezuela.

Sotero V. et al. (2013). Contenido de metales pesados en agua y sedimento en el bajo Nanay. Se presenta en este estudio la evaluación de la concentración de metales pesados en agua y mercurio en sedimentos del río Nanay. Según los resultados de análisis de agua el plomo y mercurio se encuentran presentes en concentraciones mayores que lo indicado por las normas nacionales. El plomo tanto en creciente es en promedio de 0,111 ppm y 0,053 ppm respectivamente y el mercurio en vaciante se encuentra en 0,008 ppm. Del mismo modo la presencia de mercurio es alta en los sedimentos que acompañan a este río con 1,636 ppm en creciente y 3,03 ppm en vaciante.

## **Estudio de la Contaminación por Metales Pesados en Sedimentos en el Campo Urdaneta del Lago de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela.**

Universidad del Zulia (2004). Biodiversidad en el Campo Urdaneta Oeste, es importante mencionar que Evaluar la diversidad biológica en el Campo Urdaneta Oeste, a fin de obtener y compilar información de línea base, y divulgar la diversidad biológica, a través de la elaboración de catálogos y películas. Tal información es útil, no solamente a Shell Venezuela, S.A. sino que aunado a ello sirve para establecer proyecciones de los efectos naturales y antropogénicos sobre la biodiversidad en esta área, pero también al público en general, para conocer y apreciar mejor la fauna que los rodean. se explica la composición de esta biodiversidad en Campo Urdaneta Oeste, por qué conservarla y cómo Shell Venezuela, S.A. funcionando en el área, está pendiente del valor de esta biodiversidad para las futuras generaciones y se preocupa porque la población de Campo Urdaneta Oeste, Estado Zulia, Venezuela, y el mundo preserve la biodiversidad reinante.

Valdés J. et al. (2014), llevo a cabo la investigación sobre el contenido de Cu, Pb y Zn en sedimentos y organismos bentónicos de la bahía San Jorge (norte de Chile): Acumulación y biotransferencia en sistemas costeros submareales. Dicho trabajo consistió en la medición del contenido de Cu, Pb y Zn para evaluar su enriquecimiento en sedimentos y sus eventuales procesos de biomagnificación en cadenas tróficas bentónicas de siete sectores de la bahía. Obteniendo que el contenido medio de Cu, Zn y Pb fue 103.6, 72.6 y 38.6 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente, en los sedimentos y 28.3, 32.5 y 21.9 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente, en los organismos. Al mismo tiempo determino el índice de geoacumulación, indicando algún grado de enriquecimiento de metales en los sectores donde se realizan actividades industriales; Los resultados de este trabajo sugieren una alta variabilidad temporal en el contenido de metales en los sedimentos y organismos bentónicos, lo cual puede ser explicado por la modificación de factores naturales y antrópicos dada por la actividad industrial y los asentamientos humanos cercanos que controlan el ingreso y acumulación de estos metales en la zona costera de la bahía San Jorge.

Zamora A. et al. (2010). Las actividades de la industria petrolera y el marco ambiental legal en Venezuela. Una visión crítica de su efectividad. La explotación de petróleo y gas natural tiene efectos ambientales específicos que dependen de la ubicación de los yacimientos y de las técnicas utilizadas para extraer los productos brutos. La prevención

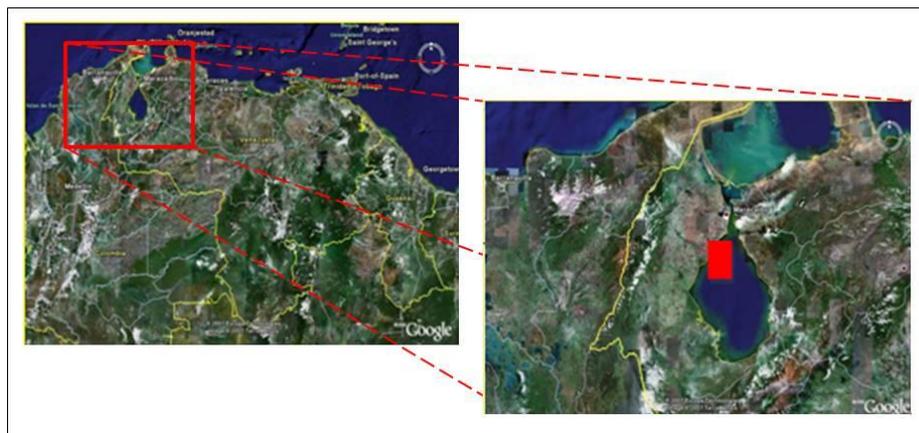
## **Estudio de la Contaminación por Metales Pesados en Sedimentos en el Campo Urdaneta del Lago de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela.**

y control de los impactos ambientales generados por las actividades de la industria petrolera es uno de los principales problemas que enfrenta la sociedad venezolana, por tanto, la existencia de un marco legal que regule dichas actividades a fin de minimizar el daño al ambiente se hace imprescindible. Este trabajo constituye un análisis del marco ambiental legal vigente en Venezuela, en lo relativo a la industria petrolera, indicando las fortalezas y debilidades de la normativa con el fin de ampliar el conocimiento del derecho ambiental venezolano y contribuir con la inclusión de los aspectos ambientales en la toma de decisiones para el desarrollo económico-social en un contexto de manejo sustentable de los recursos energéticos del país y del mundo.

### **1.4 Aspectos geológicos regional**

#### **1.4.1 Marco fisiográfico**

La cuenca del Lago de Maracaibo (Figura 4), limitada por la Sierra de Perijá al oeste y el flanco occidental de Los Andes y la Serranía de Trujillo al este, ocupa una depresión tectónica de unos 52.000 kilómetros cuadrados de extensión, donde se han acumulado más de 10.000 metros de espesor de sedimentos cuyas edades se extienden desde el Cretácico hasta el Reciente. Un fenómeno fisiográfico interesante es el hundimiento o subsidencia de ciertas zonas costeras del Lago de Maracaibo como son Lagunillas y Tía Juana.



**Figura 4.** Ubicación Geográfica del Lago de Maracaibo, Estado Zulia Venezuela.

**Fuente:** Google Eart (2015).

## **Estudio de la Contaminación por Metales Pesados en Sedimentos en el Campo Urdaneta del Lago de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela.**

La región presenta gran variedad climática debido a la presencia del Lago y la influencia de los sistemas montañosos vecinos. Las lluvias muestran gran variación espacial y temporal; las mayores precipitaciones ocurren al sur-oeste del Lago (> 2800 mm/año), pero disminuye progresivamente hacia el norte, hasta el clima semiárido de Maracaibo, con menos de 600 mm/año, y el clima árido de la Península de Perijá (< 200 mm/año). Sin embargo, en la misma zona norte, en las laderas de la Sierra de Perijá, se registran más de 1500 mm/año, a una distancia en la horizontal de menos de 80 km.

La temperatura media varía de 27,5° C en la costa del Lago a 24° C hacia los piedemonte de Perijá y los Andes. El mayor escurrimiento se registra al sur del Lago, en la planicie del Catatumbo, con valores de 1000-1800 mm/año; el más bajo se presenta en las áreas costeras del Golfo de Venezuela, con valores promedios anuales inferiores a los 200 mm. En la planicie aluvial del Lago, el escurrimiento varía entre 600 y 1400 mm/año.

La vegetación en la región es muy variada: hacia el norte, en la Península de La Guajira y la planicie de Maracaibo, prevalece el espinal tropical y el matorral tropical semi-deciduo; la planicie aluvial del lago está ocupada por bosque tropical; hacia el piedemonte, el bosque tropical se encuentra en las partes más bajas; el bosque premontano y montano siempre verde en las partes más altas.

### **1.4.2. Marco geológico estructural**

Tectónicamente se relaciona con el levantamiento post-Eoceno de la Sierra de Perijá y de la Cordillera de Los Andes. La gran mesa de agua que ocupa la parte central de la cuenca está enmarcada por llanuras casi sin relieve, parcialmente anegadizas, que se extienden hasta las estribaciones de las serranías circundantes, donde afloran rocas de edad variable entre el Terciario Inferior y el Precámbrico (?).

### **1.4.3 Aspectos geológicos locales**

El campo Urdaneta, ubicado en la región noroeste del Lago de Maracaibo, ocupa una extensión de 1.682 kilómetros cuadrados, que representa el 11.73% de la superficie total del Lago, que a su vez en un macro contexto está situada al oeste de Venezuela.

## **Estudio de la Contaminación por Metales Pesados en Sedimentos en el Campo Urdaneta del Lago de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela.**

### **1.4.4 Marco sedimentológico actual**

La composición granulométrica o tipos de sedimento varían ampliamente en el sistema del Lago de Maracaibo. Aunque se puede decir que en la zona costera del sistema predominan las arenas en sus diferentes tipos, esta proporción va a estar influenciada por varios factores en particular. Si se encuentran en una zona cerca a la desembocadura de un río, se nota un incremento sustancial de las arcillas o en cambio en zonas muy cercanas por ejemplo, la Laguna de Sinamaica, la predominancia es de suelos netamente fangosos con un porcentaje alto de limo (Parra-Pardi, 1979; Rodríguez, 2000).

### **1.4.5. Marco geológico ambiental por metales pesados**

El Lago de Maracaibo puede considerarse como un cuerpo de agua con un estado trófico avanzado, debido a que en este sistema son descargados grandes volúmenes de agua residuales urbanas e industriales sin tratamiento previo, que sumadas a las descargas de nutrientes por escorrentía y a los eventuales derrames petroleros, contribuyen a su deterioro ambiental (Rodríguez, 2000).

En la cuenca del Lago de Maracaibo, se puede detectar diferentes fuentes de metales, desde las relacionadas con el uso de pesticidas y descargas domésticas e industriales, hasta las actividades de la industria petrolera, la cual involucra además de la producción y transporte de crudo, la industria Petroquímica, el procesamiento de gas y la extracción de carbón en minas a cielo abierto (Rodríguez, 2000).

Con relación a las descargas domésticas e industriales, estas se encuentran principalmente en Maracaibo, San Francisco, Mérida, Valera y Cúcuta y a excepción de algunos reportes generados por organismos estatales (ICLAM, MARN) los cuales realizan evaluaciones puntuales de algunas de estas fuentes, en la actualidad no existe un inventario de su ubicación exacta y la caracterización de cada efluente (Rodríguez, 2000).

La presencia de metales pesados en agua, sedimentos y biota del Lago de Maracaibo ha sido reportada por diferentes estudios, entre los más recientes están Ávila (2003),

## **Estudio de la Contaminación por Metales Pesados en Sedimentos en el Campo Urdaneta del Lago de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela.**

Esclapés y Galindo (2000), ICLAM (2001), Pardi y col. (1979), Rodríguez (2000) cuyos valores se han venido incrementando, particularmente en las especies que integran la cadena trófica del ecosistema, llegándose a determinar en algunos casos concentraciones que superan el límite permisible para consumo humano (ICLAM, 1988).

Diversos procesos específicos tales como difusión de sedimentos anóxicos, resuspensión de sedimento y dragado entre otros, comúnmente reintroducen metales concentrados en los sedimentos hacia la columna de agua (Kennish, 2002).

Lo anterior es particularmente importante en el Lago de Maracaibo donde existe un alto aporte antropogénico y la influencia del intervalo de mareas, el cual posee un elevado porcentaje de partículas finas que ayudan a la fijación de los metales y su transporte hacia otras zonas.

Otro factor a considerar es la formación de zonas anóxicas, las cuales tienden a retener metales y por cambios en las condiciones ambientales, se condiciona a la transferencia de los metales a la columna de agua, actuando el sedimento como fuente de polución; debido a que los metales no permanecen fijos y pueden ser liberados a la columna de agua (Bautista, 1999).

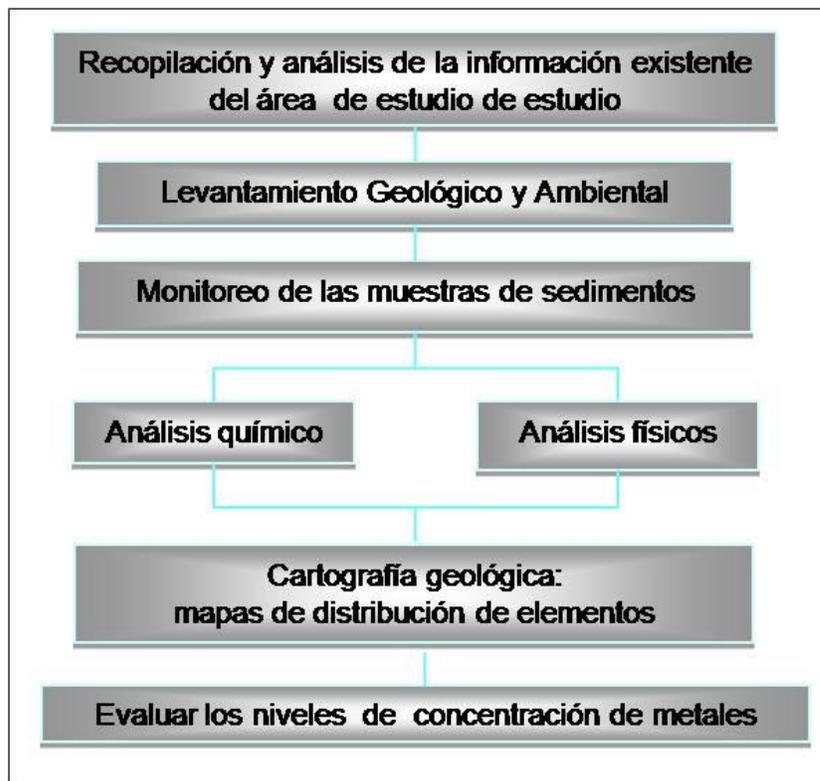
Pardi (1986) mencionó “Es evidente que el hipolimnio cónico es la porción del lago donde ocurre la mayor acumulación de materia orgánica e intensos procesos de reducción”. Sin embargo, no solo ocurre la retención por las condiciones de anoxia existentes en el cono hipolimnético, sino, también la liberación de nutrientes y metales, los cuales son incorporados eventualmente al epilimnio, debido a la disminución del hipolimnio salino.

# Estudio de la Contaminación por Metales Pesados en Sedimentos en el Campo Urdaneta del Lago de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela.

## CAPÍTULO II. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

### 2.1. Introducción

Para la evaluación de la contaminación por metales pesados en sedimentos superficiales del campo Urdaneta del Lago de Maracaibo, Venezuela, se estableció una metodología de trabajo (figura 5) que permitiera reunir la información necesaria sobre el área, los métodos y análisis a través de los cuales se han venido rigiendo las diversas instituciones geológicas ambientales a nivel mundial/nacional.



**Figura 5.** Metodología de trabajo empleada para el desarrollo de este estudio.

**Fuente:** Elaboración propia (2015).

En este trabajo se definió las características geológicas ambientales del área en estudio, se identificó la variedad y concentraciones de elementos metálicos pesados existentes en los sedimentos del campo Urdaneta; y, a su vez, se evaluó los niveles de toxicidad, a través del factor de concentración que producen esos elementos.

## Estudio de la Contaminación por Metales Pesados en Sedimentos en el Campo Urdaneta del Lago de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela.

### 2.2. Metodología utilizada para la realización del trabajo de investigación

El plan de trabajo descrito anteriormente en la figura 5, fue planteado para cubrir a través de trabajo de campo, laboratorio y oficina, la evaluación de la concentración y variabilidad de metales pesados, que originan contaminación ambiental, estas etapas, se describen, a continuación (tabla 1):

**Tabla 1.** Métodos analíticos empleados en la evaluación de los parámetros físicos y químicos en los sedimentos superficiales del Campo Urdaneta

Parámetros	Unidades	Método	Descripción
Ambientales	Adimensional	Observación	Revisión bibliográfica de la geología ambiental local y revisión histórica de la variación de relieve/aporte de sedimentos, a través de Google Eart.
Textura	%Arena %Arcilla %Limo	Tamizado	Descripción de la fracción gruesa a través de Lupa, con objetivo 10X y con fotografía acoplada.
Metales	mg.kg <sup>-1</sup>	Espectrofotometría de Adsorción Atómica	Digestión con ácido nítrico y medición espectrofotométrica por absorción atómica acoplado a un equipo de generación de hidruros para el análisis de mercurio.

**Fuente:** Elaboración propia (2015).

#### 2.2.1. Recopilación y análisis de la información existente sobre el tema en estudio

Esta etapa consistió en adquirir, recopilar y organizar las referencias bibliográficas relacionadas con estudios sobre contaminación por metales pesados de autores consultados y material utilizado, todo esto con la finalidad de complementar la información necesaria para dar cumplimiento al trabajo de investigación.

#### 2.2.2. Levantamiento de información geológica y ambiental del área de estudio

Para poder entender adecuadamente un problema de contaminación no basta con realizar una campaña de toma de muestras para su estudio geoquímico, además debe contarse con información sobre el clima, el marco geológico, y por supuesto, sobre la actividad industrial que se realiza en la zona bajo estudio. Por ello se utilizó la metodología descrita por Perillo (1995) y Perillo y Piccolo (2012), en cuanto a los factores que controlan las características de los estuarios. Esta fase comprendió la revisión bibliográfica sobre estudios previos realizados por instituciones tales como el

## **Estudio de la Contaminación por Metales Pesados en Sedimentos en el Campo Urdaneta del Lago de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela.**

Instituto para la Conservación y Calidad del Lago de Maracaibo (ICLAM), Universidad del Zulia (LUZ), Ministerio del poder popular para el Ambiente (MPPA), así como toda la información que describe la geología del área. Al mismo tiempo se utilizó la aplicación computarizada Google Eart, versión 2015, con la finalidad de evaluar a través de las bondades que brinda esta herramienta acerca de la posición geográfica y la visualización del comportamiento topográfico y cantidad del aporte sedimentario de los ríos que tributan a la zona objeto de estudio.

### **2.2.3. Monitoreo de las muestras de sedimentos: Técnicas de monitoreo utilizadas**

Para este estudio se recolectaron ocho (8) muestras de sedimentos superficiales, obtenidas durante octubre y noviembre de 2014, mediante buceo autónomo en la zona de estudio ubicada entre las coordenadas UTM, N1134835-E194685 y N1109935-177325 (tabla 2, figura 6). En este sentido es importante acotar que para llevar a cabo este estudio de contaminación estuarial, el diseño muestral aplicado fue representativo ya que cubrió longitudinalmente gran parte del área de estudio, incluyendo la desembocadura del río El Palmar, el cual forma parte del sistema hídrico del Lago de Maracaibo.

**Tabla 2.** Ubicación de los puntos muestreados

Nº Muestra	Coordenadas UTM		Prof, (Pies)
	N	E	
CU-1	1134835	194685	20
CU-2	1133225	193815	20
CU-3	1131687	192659	25
CU-4	1131221	192539	25
CU-5	1129269	192038	22
CU-6	1128803	190682	25
CU-7	1124546	187897	28
CU-8	1109935	177325	22

**Fuente:** Elaboración propia (2015)

El muestreo se llevó a cabo mediante la utilización de un tubo PVC (polietileno) de 15 cm de largo x 10 cm de ancho, colocando en ambos extremos tapones herméticos para evitar la pérdida del material, debido a su traslado desde una profundidad promedio del reservorio hídrico de 24 pies (tabla 2), hasta la superficie, debido a que fue removido

## Estudio de la Contaminación por Metales Pesados en Sedimentos en el Campo Urdaneta del Lago de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela.

manualmente, elementos contaminantes y restos orgánicos. Posteriormente fueron selladas, rotuladas y guardadas en frío (4°C) hasta su traslado al laboratorio, donde fueron secadas a 100°C.



**Figura 6.** Ubicación de los puntos muestreados en la zona de estudio.

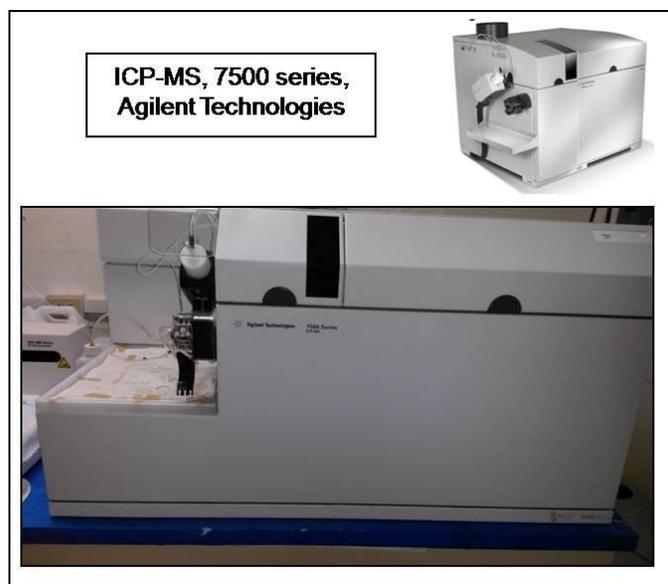
**Fuente:** Google Eart (2015).

### 2.2.4. Análisis y determinaciones químicas realizadas: método analítico e instrumentos de medición

Para llevar a cabo dicha fase se estableció la evaluación de dieciséis (16) metales pesados en el sedimento superficial del campo Urdaneta del lago de Maracaibo, seis (6) de los cuales ya se tiene precedente en la cuenca: Cobre, Cadmio, Cromo, Plomo, Vanadio y Níquel, a través de un estudio llevado a cabo por Ávila H. et al (2010), al mismo tiempo se evaluó la presencia de otros elementos como Mo, Se, Zn, As, Co, Mg, Be, Hg, Sb, Ti, sugeridos en la literatura de Galán E. y Romero A. (2008).

## Estudio de la Contaminación por Metales Pesados en Sedimentos en el Campo Urdaneta del Lago de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela.

Para la determinación de las concentraciones y de los elementos presentes, en función de los ya establecidos para este estudio, estos estudios fueron desarrollados por medio de espectrómetro de masas inducida por plasma, ICP-MS (figura 7), en la Facultad de Ciencia, Escuela de Química de la Universidad del Zulia y se utilizó el Método EPA 3050 B para el tratamiento /digestión de la muestra.



**Figura 7.** Espectrómetro de masas inducida por plasma.  
**Fuente:** Escuela de Química, Facultad de Ciencias, LUZ (2015).

Es importante señalar que la determinación de metales mediante la técnica de espectrometría de masas por plasma acoplado inductivamente (ICP) reúnen una serie de factores, como la simultaneidad de la determinación analítica, el amplio rango lineal, los bajos límites de detección con frecuencia requeridos en el análisis de muestras medioambientales.

Este método tiene alta confiabilidad al contar con la elaboración de las curvas de calibración; así como blancos pasados por las columnas antes de analizar las muestras, por estas razones, no fue necesario realizar réplicas de análisis químicos a las mismas. El procedimiento empleado en el ICP consistió en lo siguiente:

1. Mezclar y homogenizar la muestra.
2. Pasarla a través de un tamiz # 10.

## **Estudio de la Contaminación por Metales Pesados en Sedimentos en el Campo Urdaneta del Lago de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela.**

3. Pesar entre 1 o 2 gramos de muestra en un beakers de teflón de 250 mL.
4. Agregar 10 mL de ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) 1:1; (es decir 5 mL de ácido concentrado + 5 mL de agua destilada).
5. Colocarlo en una planta de calentamiento a 95 °C.

Nota 1: Se le colocó un reloj de vidrio para tapan el beakers, se calienta por 10 o 15 min sin hervir, para luego dejar enfriar a temperatura ambiente y agregarle 10 mL de ácido nítrico concentrado y caliente por 2 horas, sin dejar secar el beakers; para eso se le debe de estar agregando ácido nítrico en volúmenes no mayores de 5 mL.

Nota 2: Si se genera vapores marrones es señal que la muestra está siendo oxidada por lo que se debe repetir el paso de la adición de 10 mL de ácido nítrico; hasta que no se desprendan vapores marrones lo que indica que la reacción de la muestra con el ácido nítrico es total.

6. Después de las 2 horas, sin dejar que el beakers llegue a sequedad sino que quede alrededor de 5 mL; bajar en beakers de la plancha para dejar enfriar por espacio de 30 min.
7. Filtrar la solución a través de un embudo en un balón de 100 mL.
8. Agite el balón para homogenizar la solución y afore con agua destilada.
9. Luego se procede a medir por Absorción Atómica.

### **2.2.5. Análisis y determinaciones físicas realizadas: Método analítico e Instrumentos de medición**

Se realizó la determinación de la textura del sedimento o granulometría, con el fin de obtener a distribución por tamaño de los sedimentos superficiales del área de estudio. Para ello fue necesario secar las muestras en un horno a 100°C por 24 h. Luego se tomaron 100 g de muestra y se pasaron a través de una serie de tamices (tabla 4) con diferentes tamaños de abertura de poro de malla (4,76; 2; 0,84; 0,42; 0,25; 0,105 y 0,074 mm), seleccionados de esta manera, debido al tipo de material obtenido del muestreo, seguidamente se pesó la fracción retenida en cada tamiz. Los resultados

## Estudio de la Contaminación por Metales Pesados en Sedimentos en el Campo Urdaneta del Lago de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela.

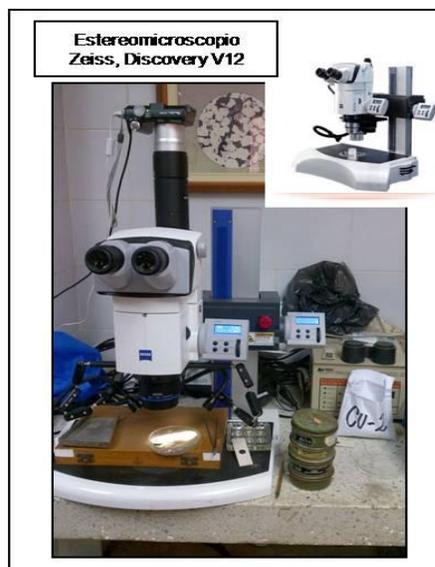
finally se expresaron en porcentaje (%) de arena y limo-arcilla por cada estación y muestreo.

**Tabla 3.** Numeración y abertura de tamices utilizados

Tamiz (ASTM)	Tamiz (Nch) (mm.)	Abertura real (mm.)	Tipo de suelo
3 "	80	76,12	GRAVA
2 "	50	50,80	
1 1/2 "	40	38,10	
1 "	25	25,40	
3/4 "	20	19,05	
3/8 "	10	9,52	ARENA GRUESA
N° 4	5	4,76	
N° 10	2	2,00	
N° 20	0,90	0,84	ARENA MEDIA
N° 40	0,50	0,42	
N° 60	0,30	0,25	ARENA FINA
N° 140	0,10	0,105	
N° 200	0,08	0,074	

**Fuente:** Espinace R. (1979).

En este mismo sentido, para el reconocimiento de las propiedades físicas de los sedimentos se realizó la descripción mineralógica de la fracción gruesa y generalizada de las ocho (8) muestras de sedimentos superficiales del área de estudio, a través del Estereomicroscopio Zeiss, Discovery V12, con motor de enfoque y luz incidente, variable LED (figura 8), se utilizaron herramientas como aguja de disección, bandeja de reacción, bandeja metálica.



**Figura 8.** Estereomicroscopio Zeiss, Discovery V12.

**Fuente:** Laboratorio Geológico La Concepción, PDVSA (2015).

## **Estudio de la Contaminación por Metales Pesados en Sedimentos en el Campo Urdaneta del Lago de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela.**

### **2.2.6. Cartografía geológica: mapas de distribución de los elementos pesados**

Una vez obtenidos los resultados de la concentración de los metales pesados a través de la Espectrofotometría de absorción atómica, se elaboraron los mapas de distribución a lo largo del área de estudio para cada elemento cuya concentración fue  $>0,1$ ; esto debido a la detección de ese elemento por medio del método analítico antes mencionado, permitiendo de esta manera visualizar el comportamiento distributivo en la zona estudiada.

Esta operación se llevó a cabo a través de Surfer versión 12, este es un software completo para la visualización en 3D, la creación de isolíneas, y el modelado de superficies que se ejecuta bajo Microsoft Windows. Asimismo, se utilizó Didger 4, para la digitalización de la línea de costa y el cauce principal del río El Palmar.

### **2.2.7. Evaluar los niveles de concentración de metales**

El objetivo de este trabajo ha sido conocer el contenido total y la distribución de metales pesados en los sedimentos superficiales del campo Urdaneta. Aunque no siempre el contenido en metales pesados en los sedimentos refleja la cantidad disponible en la biota, es muy interesante conocer el potencial contaminante que existe en los sedimentos de esta zona estuarial. De esta forma se puede conocer el máximo grado de toxicidad por metales pesados a la que podrían estar sometidos los seres vivos, suponiendo condiciones ambientales en las que la biodisponibilidad sea máxima.

Es por ello que los resultados obtenidos del análisis químico de los sedimentos a través de ICP se compararon con los límites máximos permisibles según la guía de calidad sugerida por Long et al., (1995) para sedimentos (tabla 4), específicamente mediante concentración más baja de un metal que produjo efectos adversos y los que designan el nivel en el cual la mitad de los estudios refirió efectos dañinos (ERL y EML respectivamente) son las concentraciones de químicos específicos que se derivan de los ensayos de toxicidad biológica compilados y muestreo sinóptica de sedimentos. Estos valores numéricos son directrices de calidad de sedimentos que fueron desarrollados por Long (1990) de la Administración Oceánica y Atmosférica Nacional Nacional Estados (NOAA).

## Estudio de la Contaminación por Metales Pesados en Sedimentos en el Campo Urdaneta del Lago de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela.

Estos investigadores estudiaron e identificaron los efectos que ocasionan en los organismos y en el ecosistema la acumulación de nueve metales pesados (As, Cr, Cd, Pb, Cu, Ni, Zn, Hg, Ag). Estos criterios han sido ampliamente aceptados y se refieren en estudios realizados por la Agencia de Protección Ambiental de los EE.UU (USEPA), así como en los realizados por Accornero *et al.* (2008).

**Tabla 4.** Límites Máximos Permisibles según la guía de calidad para metales (ppm).

Chemical	Guidelines		Percent incidence of effects*		
	ERL	ERM	<ERL	ERL - ERM	>ERM
Arsenic	8.2	70	5.0	11.1	63.0
Cadmium	1.2	9.6	6.6	36.6	65.7
Chromium	81	370	2.9	21.1	95.0
Copper	34	270	9.4	29.1	83.7
Lead 46.7	218	8.0	35.8	90.2	
Mercury	0.15	0.71	8.3	23.5	42.3
Nickel	20.9	51.6	1.9	16.7	16.9
Silver	1.0	3.7	2.6	32.3	92.8
Zinc	150	410	6.1	47.0	69.8

\*Number of data entries within each concentration range in which biological effects were observed divided by the total number of entries within each range.

**Fuente:** Long *et al.*, (1995).

En la tabla 4 aparecen los límites de evaluación ecotoxicológica propuestos para sedimentos estuarinos por Long *et al.* (1995). Estos límites tienen dos valores de referencia para la concentración de metales contaminantes en sedimentos: la concentración más baja de un metal en sedimentos a partir de la cual se pueden producir efectos adversos en seres vivos (ERL) y el nivel máximo tolerable (ERM); valores superiores a este último son considerados muy tóxicos.

Según Long *et al.* (1995) cuando:

- a. La concentración del metal sea menor que el ERL establecido para este, los niveles de contaminación no son significativos.
- b. La concentración del metal sea mayor que ERL y menor que ERM, significa ambiente contaminado.
- c. La concentración del metal sea mayor que ERM, el ambiente es tóxico.

# **Estudio de la Contaminación por Metales Pesados en Sedimentos en el Campo Urdaneta del Lago de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela.**

## **CAPÍTULO III. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN**

En esta sección se presentan los resultados del estudio de la contaminación por metales pesados en sedimentos en el Campo Urdaneta del Lago de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela, obtenidos de una serie de actividades, desde la búsqueda de información, trabajo de campo, laboratorio y oficina, que conllevaron a la discusión y entrega de los siguientes resultados, que darán a conocer si existe o no algún grado de contaminación:

### **3.1. Características geológicas ambientales del área de estudio**

Estas características se basaron en el modelo que describe los factores que controlan las características de los estuarios, presentado por Perillo (1995) y Perillo y Piccolo (2012), que involucra factores: geológicos (localización, tectónica, isostasia, etc.), físicos (olas, mareas, atmósfera, etc.) biológicos y el factor humano. De este modo, para el presente estudio fueron utilizados como patrón los factores geológicos y el humano, los cuales son importantes en la definición de los procesos que actúan sobre este estuario.

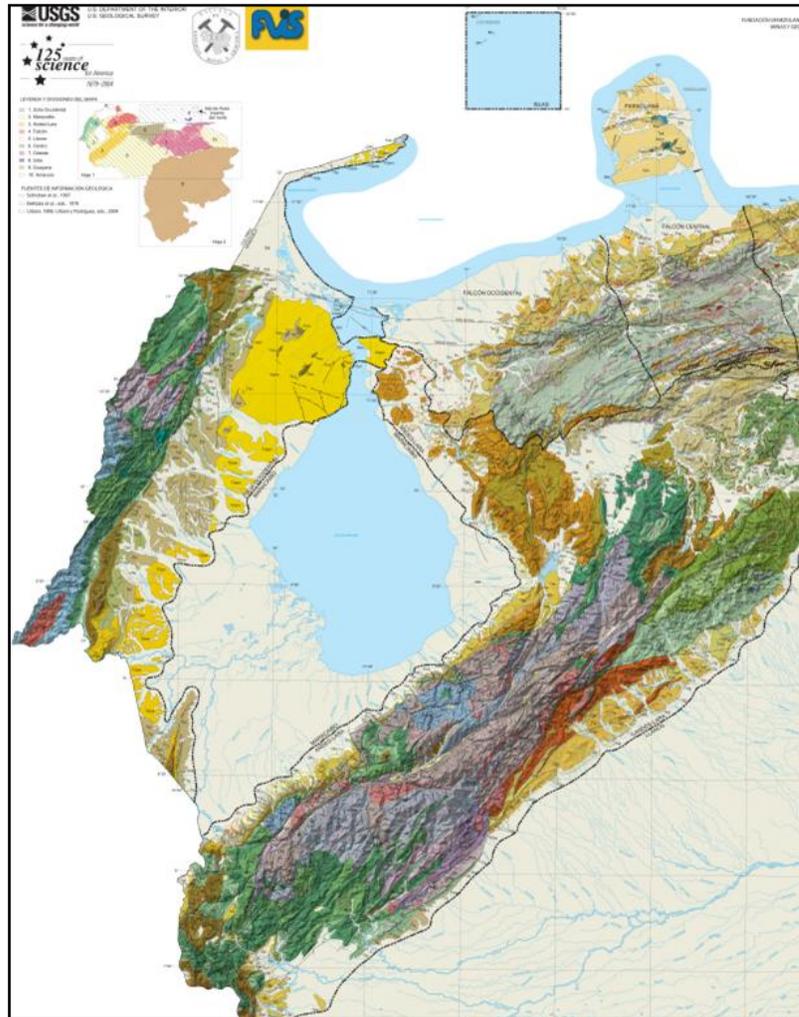
#### **3.1.1. Factores Geológicos**

Según la propuesta de esta metodología exponen como factores geológicos a los procesos físicos que se encuentran controlados por el agua o el viento y que dependen de las condiciones de contorno en el que estos factores están actuando. Por lo tanto, las características básicas en cualquier estuario son el resultado de la historia geológica de la zona, tanto a nivel regional como local. Aunado a ello se encuentran los factores que determinan las características fisiográficas de los estuarios, tales como el relieve costero y el tipo de rocas existentes en la costa y zonas donde los ríos desembocan en el estuario.

En cuanto a esta declaración los diferentes eventos tectónicos ocurridos en la cuenca del Lago de Maracaibo propiamente, le otorgan un carácter deprimido de la cuenca y su cercado por las cordilleras andinas, definido por tres alineamientos orogénicos mayores:

## Estudio de la Contaminación por Metales Pesados en Sedimentos en el Campo Urdaneta del Lago de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela.

la Sierra de Perijá al oeste, los Andes de Mérida al sureste y la Serranía de Trujillo al este, completando con el sistema de la falla de Oca en el norte (figura 9). Estos elementos tectónicos mayores fueron calificados por González de Juana et al. (1980) como “Cinturones Móviles”.



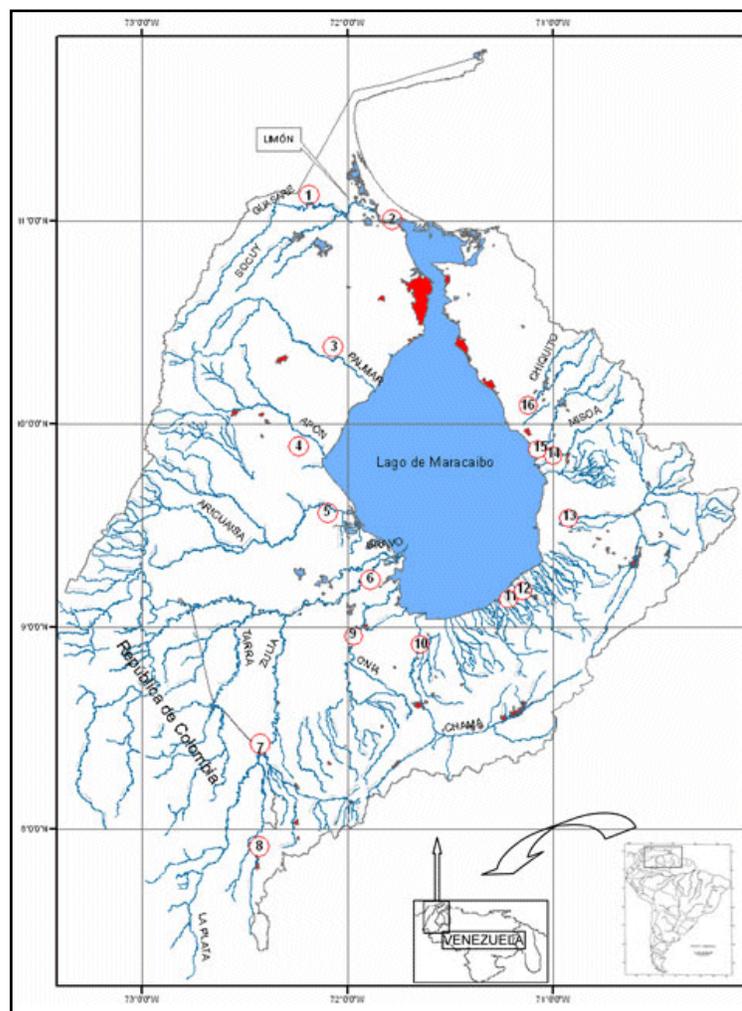
**Figura 9.** Mapa geológico de la Cuenca del Lago de Maracaibo.

**Fuente:** U. S. Geological Survey (2006).

Otro factor geológico de relevancia en los últimos años también se ha puesto el énfasis en el papel hidrológico de un proceso que se observa de forma generalizada en las zonas de montaña de los países desarrollados. (Crockford & Richardson, 2000, Llorens & Domingo, 2007).

## Estudio de la Contaminación por Metales Pesados en Sedimentos en el Campo Urdaneta del Lago de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela.

En este sentido el aporte hídrico que recibe el Lago de Maracaibo, a este drenan los siguientes ríos: Limón (drena a la bahía El Tablazo), Apón, Palmar, Santa Ana, Catatumbo, Escalante, Chama, Motatán, Misoa, Machango, Pueblo Viejo, entre otros (Figura 10) que a su vez drenan las aguas del ramal norte de la cordillera de Mérida en su zona occidental y la zona oriental de la Cordillera de Perijá, el colector principal es el Lago propiamente, cuya extensión es de unos ~12958,42 km<sup>2</sup> y está conformado por el Golfo de Venezuela, la Bahía el Tablazo, el Estrecho de Maracaibo, el Lago en sí y los ríos tributarios (Parra, 1979; Herman de Bautista, 1997).



**Figura 10.** Ríos que drenan a la Cuenca del Lago de Maracaibo, Venezuela. 1: Guasare, 2: Sinamaica-La Boquita, 3: Palmar, 4: Apón, 5: Santa Ana, 6: Catatumbo, 7: Zulia, 8: Táchira, 9: Escalante, 10: Chama, 11: San Pedro, 12: Torondoy, 13 Motatán, 14: Misoa, 15: Machango, 16: Pueblo Viejo.

**Fuente:** Rivas Z. et al (2009).

## **Estudio de la Contaminación por Metales Pesados en Sedimentos en el Campo Urdaneta del Lago de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela.**

En este mismo sentido, Rivas Z. et al (2005) realizaron un estudio sobre la contribución de principales ríos tributarios a la contaminación y eutrofización del Lago de Maracaibo. El objetivo de este estudio fue determinar los niveles de elementos eutrofizantes en los principales ríos tributarios de la zona sur del Lago de Maracaibo. Los muestreos se realizaron en los ríos Santa Ana, Catatumbo, Birimbay, Bravo, Escalante, Chama y Motatán, los cuales contribuyen con el 70% de agua dulce que entra al Lago.

Los resultados obtenidos indican un incremento del aporte en la carga másica de 1,06 veces para el NT y una disminución de 3,26 veces para el PT en relación a valores reportados anteriormente. Los aumentos en las concentraciones de algunos elementos como el NT y PT en los ríos, en comparación con estudios anteriores reflejan el incremento de las actividades antrópicas asociadas a la deforestación, utilización de agroquímicos, y otros, en las distintas subcuencas.

### **3.1.2. Factores Humanos**

Los estuarios son el ambiente costero por excelencia donde se producen los mayores impactos antrópicos. Ello se debe justamente a su ubicación privilegiada para el desarrollo de ciudades y puertos, los que normalmente tienen asociados polos industriales. La sumatoria de las descargas cloacales como industriales suelen ser enviadas a los estuarios.

Respecto a esta temática (Gardner, 1998; Ledo, 2003), expuso en el Lago de Maracaibo este factor unas 500 compañías, incluyendo refinerías químicas, tenerías, mataderos, minas de carbón y actualmente sirve también como destino final de una gran cantidad de aguas servidas. Por escorrentía llegan a través de los ríos tributarios, entre ellos el río Catatumbo, pesticidas disueltos en el agua producto de las actividades agrícolas, así como también petróleo o sus productos derivados como consecuencia de la explotación y traslado de este en la cuenca de este importante sistema acuático. Sin embargo, la mayor contaminación proviene de las aguas residuales de alrededor de 5 millones de personas que viven a lo largo de sus costas

Sumado al factor humano sobre la afectación del Lago de Maracaibo, Corona (2012), en el documento presentado como Contaminación antropogénica en el Lago de

## **Estudio de la Contaminación por Metales Pesados en Sedimentos en el Campo Urdaneta del Lago de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela.**

Maracaibo, Venezuela, llevo a cabo una revisión bibliográfica exhaustiva sobre el impacto ecológico de la contaminación antropogénica en aguas, biota y explotación pesquera del sistema de Maracaibo. Donde establece que esta problemática ambiental, ha generado un desequilibrio ecológico de los componentes bióticos y abióticos del estuario; ofreciendo de esta manera una visión amplia sobre las repercusiones ecológicas en el lago.

A través de este aporte bibliográfico Corona, así como el resto de los autores que dan soporte a dicha investigación mantienen en común sobre la trayectoria histórica del Sistema del Lago de Maracaibo, el cual sigue los orígenes de contaminación al periodo de inicio de la explotación petrolera, a la cual se han ido sumando otros tipos de actividades que han generado el desarrollo de la contaminación como lo es la industria avícola, agrícola, porcina, camaronera, pecuaria, minera y urbanística. Conllevando de esta manera a la destrucción del hábitat de los ecosistemas que coexisten en dicho lago, evidenciado en la alteración de la calidad fisicoquímica del agua y del sedimento.

Finalmente considerando las características geológicas ambientales del área de estudio, bajo el factor geológico y humano, que como ya bien es sabido, condicionan los aspectos ambientales del mismo, alguno de ellos puede ser visualizado en la figura 11, donde se puede apreciar, lo siguiente:

1. Desembocadura del río El Palmar a una distancia de 2,17 Km del punto de muestreo (P7). Respecto a este factor de aporte sedimentológico se evaluó el histórico de los años 2001, 2004 y 2015. Observando el aumento de dicho aporte para el presente.
2. Actividad industrial, grandes camaroneras, estos se encuentran a una distancia promedio de referenciados a la costa del NW del Lago de Maracaibo.
3. Otro punto importante es la cercanía a las diferentes estaciones de flujo y gabarras petroleras, distribuidas en el área de estudio.
4. Bajo este instrumento también se logró observar la disminución de la zona de manglares ubicada al borde de la cuenca, en la costa NW del Lago de Maracaibo.
5. En cuanto a la zona urbanizada al margen de costa que cubrió el estudio de P1 a P8, son pequeños sectores no planificados y distantes que se lograron apreciar para la actualidad.

## Estudio de la Contaminación por Metales Pesados en Sedimentos en el Campo Urdaneta del Lago de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela.

Al mismo tiempo cabe destacar, tal como se mencionó anteriormente, existen más de 500 compañías, incluyendo refinerías químicas, tenerías, mataderos, minas de carbón que llevan a cabo sus actividades a lo largo del Lago de Maracaibo, dentro y fuera del (su costa), sirviendo este último como destino final de una gran cantidad de los residuales de estas actividades antropogénicas, sumando con ello daño a este ecosistema y a la salud pública



**Figura 11.** Imagen satelital del área de estudio que refleja factores antropogénicos y litogénica

**Fuente:** Google Eart (2015).

Sin embargo, para analizar correctamente las posibles fuentes de contaminación de tomar en cuenta otro factor: una vez que comienzan los procesos erosivos de cuerpos litológicos, los metales son lixiviados y transportados, dando lugar a lo que se podría llamar un proceso de 'contaminación natural' de los ríos, mientras más prolongado el proceso, más grande serán los efectos.

## Estudio de la Contaminación por Metales Pesados en Sedimentos en el Campo Urdaneta del Lago de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela.

Tal como lo expresa Guillen (1982); Mogollón y Bifano (1985) y Zhang (1992): Los ríos constituyen una de las principales vías de transporte de metales a las zonas costeras, debido a la gran afinidad que tienen estos elementos para ser transportados en el material suspendido. Así, las costas con influencia de ríos constituyen uno de los ecosistemas más sensibles a ser afectados, ya que los metales, al entrar en contacto con la zona marina, sufren procesos que, junto con algunos factores ambientales, permiten su acumulación en los sedimentos.

### 3.1.3. Descripción de los Sedimentos superficiales del área de estudio.

En este contexto, la descripción litológica del muestreo de sedimentos superficiales realizados en el Laboratorio Geológico La Concepción, perteneciente a Petróleos de Venezuela (PDVSA), con el apoyo de analistas en Sedimentología, arrojo lo siguiente: Inicialmente con base a los resultados obtenidos del tamizado de las muestras se procedió a clasificar los sedimentos en función de su tamaño de grano utilizando el Sistema Unificado de suelos (USCS), mostrando que los mismos corresponden en su mayoría (93%) a arenas que van de grano grueso a fino y la fracción fina correspondiente a limos y arcillas(7%). Dichos resultados se expresan en la siguiente tabla y en la gráfica de la figura 12.

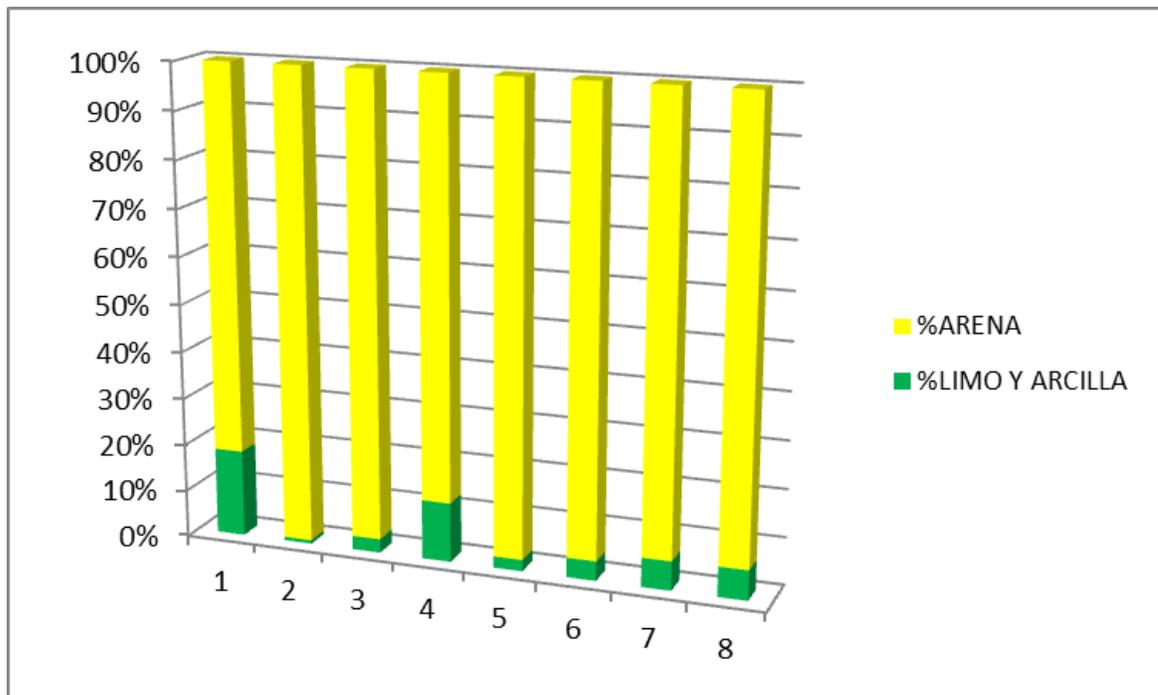
**Tabla 5.** Resultados del tamizado

Coordenadas UTM		CONTENIDO LITOLÓGICO	
N	E	%ARENA	%LIMO Y ARCILLA
1134835	194685	82	18
1133225	193815	99	1
1131687	192659	97	3
1131221	192539	87	13
1129269	192038	98	2
1128803	190682	96	4
1124546	187897	94	6
1109935	177325	94	6

**Fuente:** Laboratorio Geológico La Concepción, PDVSA (2015)

Es importante señalar que en laboratorio fue descrita a detalle la fracción gruesa y fina de estos sedimentos, se presenta a continuación la descripción del punto de muestreo 1, el resto de las muestras de sedimentos se encuentran descritas en anexo 3 al 9.

## Estudio de la Contaminación por Metales Pesados en Sedimentos en el Campo Urdaneta del Lago de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela.



**Figura 12.** Gráfica de la distribución granulométrica de los sedimentos superficiales de la zona de estudio.

**Fuente:** Elaborado a partir de los datos proporcionado por el Laboratorio Geológico La Concepción, PDVSA (2015).

La muestra analizada está conformado en orden de abundancia por una secuencia de granos sueltos de cuarzo seguido Limos y arcillas así de fragmentos líticos de rocas sedimentarias y en menor proporción como accesorios se presentan fragmentos de concha partidas. Dichos sedimentos presentan las siguientes características:

- **Granos sueltos de cuarzo:** frecuentemente fracturados de una variedad de colores semicristalino, amarillento, ahumado, blanquecino de grano fino a grueso de granos sub angulares a subredondeados de moderado a mal escogidos.
- **Fragmentos líticos:** fragmentos líticos de rocas sedimentarias chert color negro fractura concoidal brillo sedoso muy dura. Fragmentos de lutitas color negro laminar fractura en bloque de aspecto limoso así como fragmentos de concha de bivalvos de color blanco a amarillento fragmentadas. (Ver fotografía de la figura 13).

## Estudio de la Contaminación por Metales Pesados en Sedimentos en el Campo Urdaneta del Lago de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela.



**Figura 13.** Fotografía de la Muestra 1: granos de cuarzo flechas Verdes. Fragmentos líticos flechas amarillas.

**Fuente:** Laboratorio Geológico La Concepción, PDVSA (2015).

### 3.3. Identificación de la variedad y concentraciones de elementos metálicos pesados existentes en los sedimentos del área de estudio y el factor de concentración.

#### 3.3.1. Variedad de metales pesados y sus concentraciones.

Los resultados obtenidos de la evaluación de los 16 metales pesados en el sedimento superficial del Campo Urdaneta del Lago de Maracaibo, exponen la presencia de ocho (8) de ellos en la zona de estudio (tabla 6), Plomo (Pb), Vanadio (V), Selenio (Se), Zinc (Zn), Arsénico (As), Magnesio (Mg), Berilio (Be) y Mercurio (Hg). Es importante señalar que existen metales esenciales para mantener el equilibrio químico - biológico en este estuario, sin embargo otros son considerados no esenciales y hasta tóxicos para el medio y el hombre.

Marcovecchio J. (2013) expresa que los metales como el Cu, Co, Fe, Mn y Zn incluyen aquellos elementos traza esenciales que se necesitan para realizar las funciones metabólicas vitales en los organismos, siendo requeridos a bajas concentraciones,

## Estudio de la Contaminación por Metales Pesados en Sedimentos en el Campo Urdaneta del Lago de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela.

aunque se convierten en tóxicos a altas concentraciones. Por otro lado la (Ag, As, Cd, Pb, Cr, Hg, Se, Sn) incluyen los elementos traza no esenciales o no requeridos para las actividades metabólicas, es decir no tienen ninguna función biológica conocida, y que son tóxicos incluso a bajas concentraciones. Y otros como él (Cu, Fe, Co, Mg, Mo, Ni y Zn) cumplen funciones esenciales para la biosíntesis, sustancias de crecimientos, clorofilas y metabolitos secundarios, (Appenroth, 2010).

**Tabla 6.** Metales presentes en la zona de estudio

MP (mg.Kg <sup>-1</sup> ) Nº Muestra	Plomo (Pb)	Vanadio (V)	Selenio (Se)	Cinc (Zn)	Arsenico (As)	Magnesio (Mg)	Berilio (Be)	Mercurio (Hg)
CU-1	3.5	10.17	3.21	< 0.1	4.22	133.29	0.36	3.96
CU-2	4.08	18.61	2.15	2.02	11.19	45.86	0.58	3.53
CU-3	4.06	25.16	2.28	1.1	13.7	64.14	0.54	3.68
CU-4	5.5	18.02	3.23	2.9	8.95	249.5	0.54	4.28
CU-5	2.76	8.72	2.92	< 0.1	5.44	64.01	0.33	5.48
CU-6	4.9	21.78	2.43	0.47	15.9	83.54	0.51	6.39
CU-7	4.17	23.35	2.09	0.83	15.55	72.45	0.51	3.58
CU-8	4.69	20.54	2.7	1.44	17.58	125.5	0.46	4.69

**Fuente:** Elaborado a partir de los datos proporcionados por la Escuela de Química, Facultad de Ciencias, LUZ (2015).

Por otro lado metales como el arsénico (As), el zinc (Zn), el cobre (Cu) y el plomo (Pb) son elementos recurrentes en los problemas derivados de la contaminación ambiental en zonas cercanas a asentamientos humanos (Papakostidis *et al.* 1975; Grimanis *et al.* 1977; Amat *et al.* 2002; González *et al.* 2009; Galán *et al.* 2009), de ahí que la cuantificación de estos metales en los sedimentos de dichas zonas permite establecer los niveles de concentración característicos de ese ambiente y revelar situaciones anómalas.

Apoyado en el anteriormente referido se puede evidenciar que existe una variabilidad entre metales esenciales y otros no, pero el nivel de contaminación y/o toxicidad dependerá de las concentraciones que arrojaron dichos elementos, que estarán en función de la procedencia del sedimento y la intervención antropogénica.

Por otro lado respecto al resto de los elementos evaluados no fue detectada su presencia debido a que los valores de los mismos fue <0,1, por lo cual no fue detectado por el equipo ICP-MS.

## Estudio de la Contaminación por Metales Pesados en Sedimentos en el Campo Urdaneta del Lago de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela.

Para la determinación de las concentraciones y de los elementos presentes, el criterio usado fue la comparación de los valores en los sedimentos estudiados con los valores presentados por Long et al. (1995), NOAA (tabla 7).

**Tabla 7.** Comparación de la concentración de los Metales obtenidos vs ER-L y EM-L NOAA (1995).

MP (mg,Kg <sup>-1</sup> ) \ N° Muestra	CU-1	CU-2	CU-3	CU-4	CU-5	CU-6	CU-7	CU-8	ER-L, NOAA	EM-L, NOAA
Plomo (Pb)	3,50	4,08	4,06	5,50	2,76	4,90	4,17	4,69	46,50	218,00
Vanadio (V)	10,17	18,61	25,16	18,02	8,72	21,78	23,35	20,54	—	—
Selenio (Se)	3,21	2,15	2,28	3,23	2,92	2,43	2,09	2,70	—	—
Cinc (Zn)	< 0,1	2,02	1,10	2,90	< 0,1	0,47	0,83	1,44	150	410
Arsenico (As)	4,22	<b>11,19</b>	<b>13,70</b>	<b>8,95</b>	5,44	<b>15,90</b>	<b>15,55</b>	<b>17,58</b>	8,2	70
Magnesio (Mg)	133,29	45,86	64,14	249,50	64,01	83,54	72,45	125,50	—	—
Berilio (Be)	0,36	0,58	0,54	0,54	0,33	0,51	0,51	0,46	—	—
Mercurio (Hg)	<b>3,96</b>	<b>3,53</b>	<b>3,68</b>	<b>4,28</b>	<b>5,48</b>	<b>6,39</b>	<b>3,58</b>	<b>4,69</b>	0,15	0,71

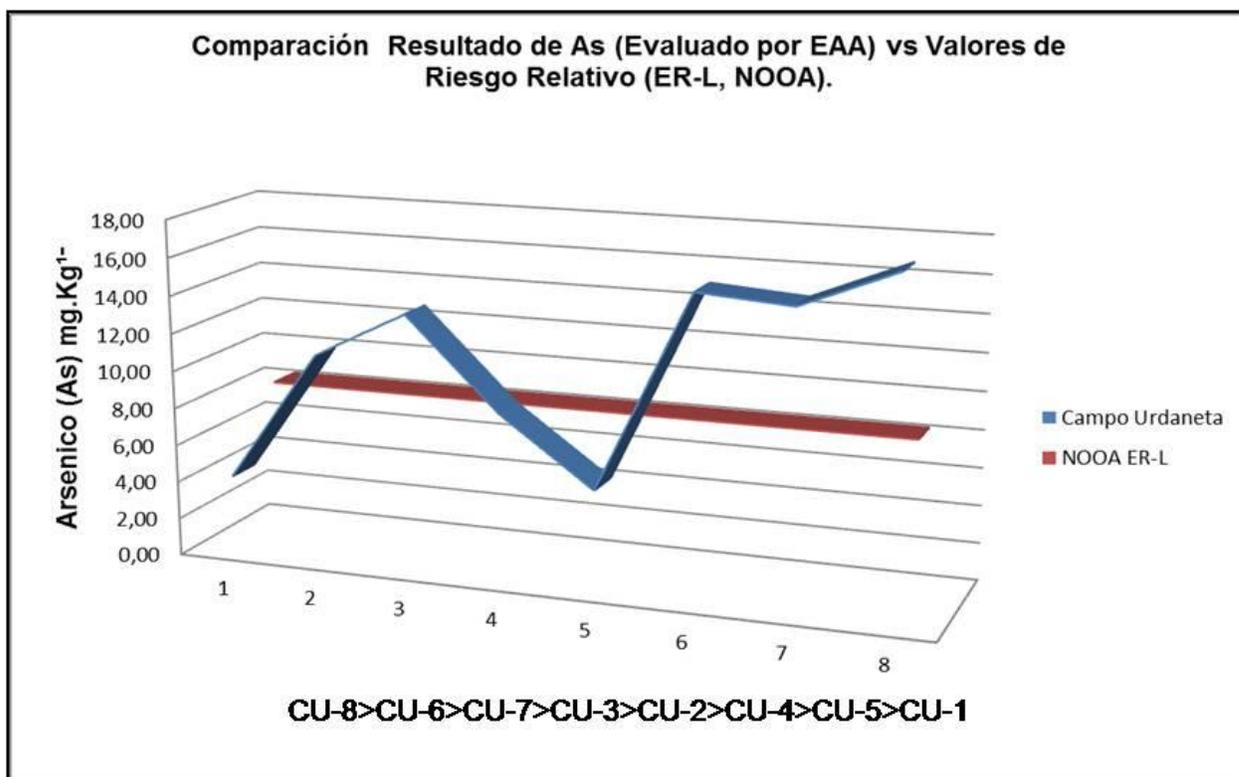
**Fuente:** elaborado a partir de los datos proporcionado por la Escuela de Química, Facultad de Ciencias, LUZ (2015).

Esta evaluación establece valores de referencia denominados efecto de rango bajo (ERL) y efecto de rango medio (ERM), de los cuales se derivan tres categorías de efectos biológicos adversos: raramente observados (concentración < ERL), ocasionalmente observados (concentración entre ERL y ERM) y frecuentemente observados (concentración > ERM).

Se observó valores por debajo del ERL en la concentración de Pb y Zn, mientras que el As, presenta valores por encima del ER-L, pero por debajo del EM-L, lo que implica bajo este metal, este estuario se encuentra contaminado. Por su parte el Hg, sobrepasa ambos niveles, ubicándose dentro de los criterios de Long et al. (1995), como un ambiente toxico.

Arsénico: Para este elemento se encontró en los puntos uno (1) y cinco (5), valores por debajo de concentración más baja de un metal que produjo efectos adversos (ER-L). Mientras que para el resto de las muestras resulto contaminado (tabla 6 y figura 14). Al mismo tiempo es importante señalar que el mayor valor de concentración de arsénico está ubicado en los siguientes puntos de muestreo: CU-8>CU-6>CU-7>CU-3>CU-2>CU-4>CU-5>CU-1.

## Estudio de la Contaminación por Metales Pesados en Sedimentos en el Campo Urdaneta del Lago de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela.



**Figura 14.** Gráfico que muestra la comparación del resultado de As (Evaluado por EAA) vs Valores de Riesgo Relativo (ER-L, NOAA).

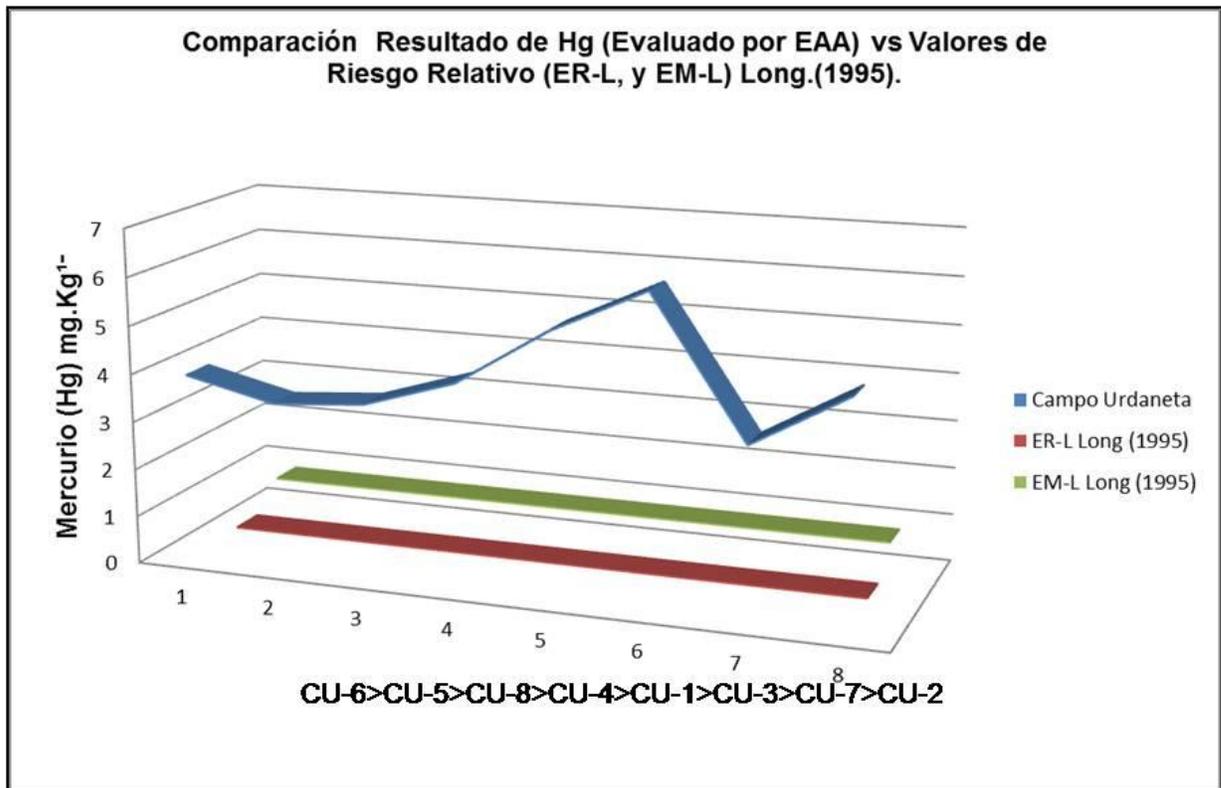
**Fuente:** Elaboración Propia (2015).

Al arsénico se le encuentra natural como mineral de cobalto, aunque por lo general está en la superficie de las rocas combinado con azufre o metales como Mn, Fe, Co, Ni, Ag o Sn.

El Arsénico es uno de los más tóxicos elementos que pueden ser encontrados. Debido a sus efectos tóxicos, los enlaces de Arsénico inorgánico ocurren en la tierra naturalmente en pequeñas cantidades. Los humanos pueden ser expuestos al Arsénico a través de la comida, agua y aire.

La exposición al Arsénico puede ser más alta para la gente que trabaja con Arsénico, para gente que bebe significantes cantidades de vino, para gente que vive en casas que contienen conservantes de la madera y gente que viven en granjas donde el Arsénico de los pesticidas ha sido aplicado en el pasado.

## Estudio de la Contaminación por Metales Pesados en Sedimentos en el Campo Urdaneta del Lago de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela.



**Figura 15.** Gráfico que muestra la comparación del resultado de As (Evaluado por EAA) vs Valores de Riesgo Relativo (ER-L, NOAA).

**Fuente:** Elaboración Propia (2015).

Mercurio: Para este metal se obtuvo que los resultados obtenidos de la evaluación de los sedimentos superficiales del Campo Urdaneta, superaron los valores por debajo de concentración más baja de un metal que produjo efectos adversos (ER-L) y los que designan el nivel en el cual la mitad de los estudios refirió efectos dañinos (EM-L), demostrando según Long, et al. (1995), toxicidad sobre este ambiente.

Los efectos del Mercurio sobre la salud de este elemento que puede ser encontrado de forma natural en el medio ambiente. Puede ser encontrado en forma de metal, como sales de Mercurio o como Mercurio orgánico.

El mercurio metálico es usado en una variedad de productos de las casas, como barómetros, termómetros, bombillas fluorescentes. El mercurio en estos mecanismos está atrapado y usualmente no causa ningún problema de salud. De cualquier manera, cuando un termómetro se rompe una exposición significativamente alta al mercurio

## **Estudio de la Contaminación por Metales Pesados en Sedimentos en el Campo Urdaneta del Lago de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela.**

ocurre a través de la respiración, esto ocurrirá por un periodo de tiempo corto mientras este se evapora. Esto puede causar efectos dañinos, como daño a los nervios, al cerebro y riñones, irritación de los pulmones, irritación de los ojos, reacciones en la piel, vómitos y diarreas.

El mercurio no es encontrado de forma natural en los alimentos, pero este puede aparecer en la comida así como ser expandido en las cadenas alimentarias por pequeños organismos que son consumidos por los humanos, por ejemplo a través de los peces. Las concentraciones de mercurio en los peces usualmente exceden en gran medida las concentraciones en el agua donde viven. Los productos de la cría de ganado pueden también contener eminentes cantidades de Mercurio. El mercurio no es comúnmente encontrado en plantas, pero este puede entrar en los cuerpos humanos a través de vegetales y otros cultivos. Cuando sprays que contienen Mercurio son aplicados en la agricultura.

El mercurio tiene un número de efectos sobre los humanos, que pueden ser todos simplificados en las siguientes principalmente:

- Daño al sistema nervioso.
- Daño a las funciones del cerebro.
- Daño al ADN y cromosomas.
- Reacciones alérgicas, irritación de la piel, cansancio, y dolor de cabeza.
- Efectos negativos en la reproducción, daño en el esperma, defectos de nacimientos y abortos.

Estos efectos se pueden ver reflejados en la Evaluación de la Contaminación por Mercurio en la Biota Acuática, Aguas y Sedimentos de la Cuenca Alta del río Cuyuní, Estado Bolívar, Venezuela, el objetivo de este trabajo fue evaluar la contaminación en muestras de sedimentos utilizando el índice Cuota de Riesgo (HQ, de su siglas en inglés) determinando el riesgo de la ingesta de metilmercurio (MeHg) proveniente del consumo de pescado. El rango de valores de concentración de mercurio obtenidos en

## **Estudio de la Contaminación por Metales Pesados en Sedimentos en el Campo Urdaneta del Lago de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela.**

los sedimentos fue de con factores de enriquecimiento (FE) >1 indicando una entrada de mercurio antropogénica. Los valores HQ obtenidos sugieren una seria situación de riesgo para la salud de las poblaciones locales, debido al consumo de pescado.

### **3.3.2. Elaborar mapas de distribución del contenido de los metales pesados contaminantes en sedimentos en el campo Urdaneta de la cuenca del Lago de Maracaibo.**

Aunado a la evaluación llevada a cabo a través de la comparación de los valores obtenidos en este estudio y los enunciados por Long, et al. (1995), se presenta la valoración del grado de contaminación a través de un método muy sencillo para detectar si un sedimento está contaminado o no, que consiste en la elaboración de mapas de concentración superficial del elemento o mapas de anomalías geoquímicas (Chester y Voutsinou, 1981), que permiten identificar las áreas o regiones con contenidos anómalos.

Arsénico: Los resultados obtenidos para este metal indican que el mayor valor de concentración de arsénico está ubicado en los siguientes puntos de muestreo: CU-8>CU-6>CU-7>CU-3>CU-2>CU-4>CU-5>CU-1(figura 16).

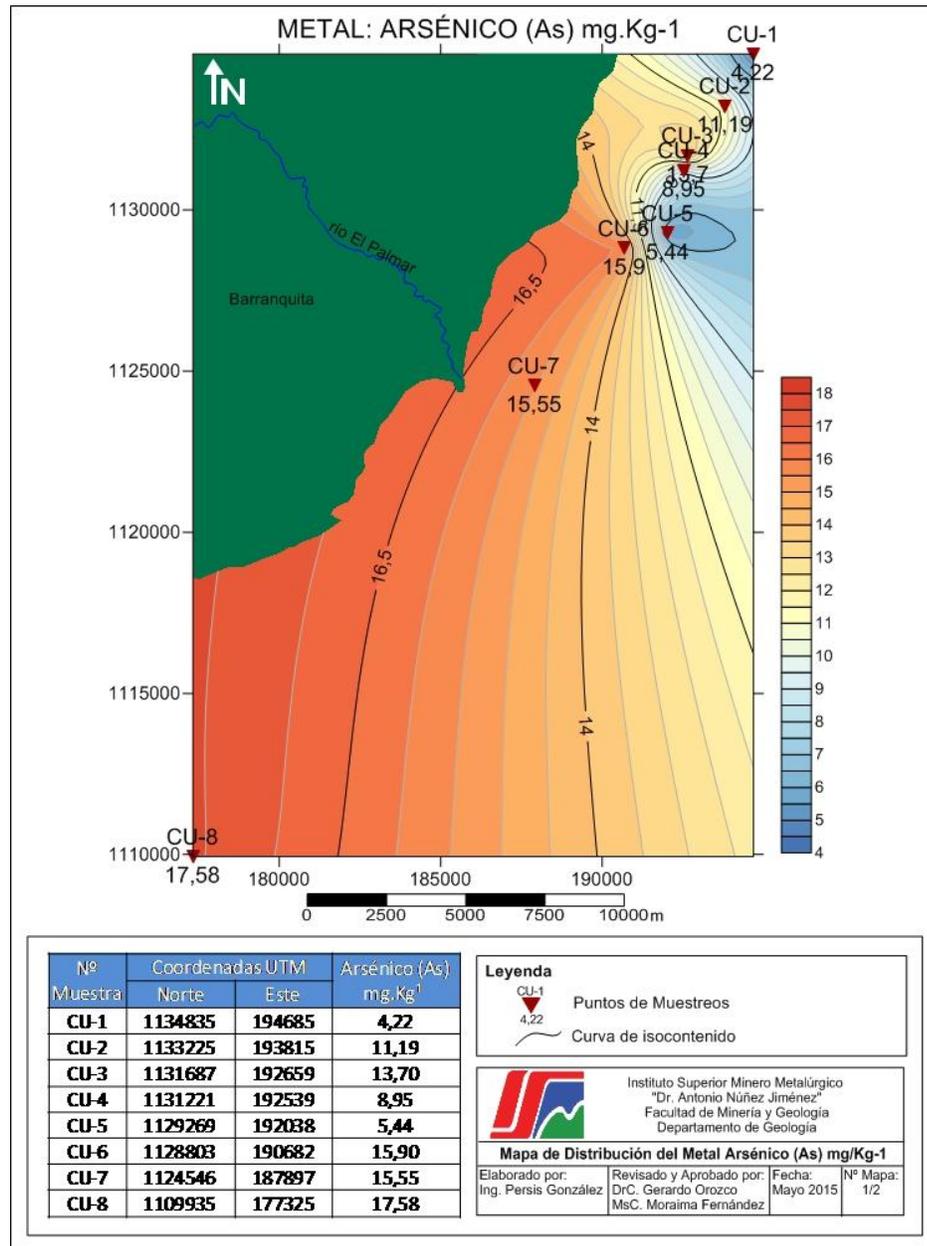
Que según esta distribución geográfica de los puntos de muestreo refleja de forma general que existe un creciente contenido/concentración desde la zona norte (CU-1) del área de estudio al sur de los mismos (CU-8).

Mercurio: Para este metal respecto a la ubicación de dichas concentraciones en el área de estudio, resulto que el mayor nivel de concentración de Hg, está ubicado en los siguientes puntos de muestreo: CU-6>CU-5>CU-8>CU-4>CU-1>CU-3>CU-7>CU-2 (figura 17).

Cabe destacar respecto a la distribución geográfica de las muestras para ambos metales (As y Hg) que no refleja un patrón marcadamente definido de la carga de metales pesados en los sedimentos. No se ha encontrado un claro gradiente en el que todas las muestras con las concentraciones más elevadas se localicen en una zona concreta, y a medida que nos alejamos de ésta, las concentraciones fueran disminuyendo. Sí es posible encontrar algunas muestras agrupadas con altas

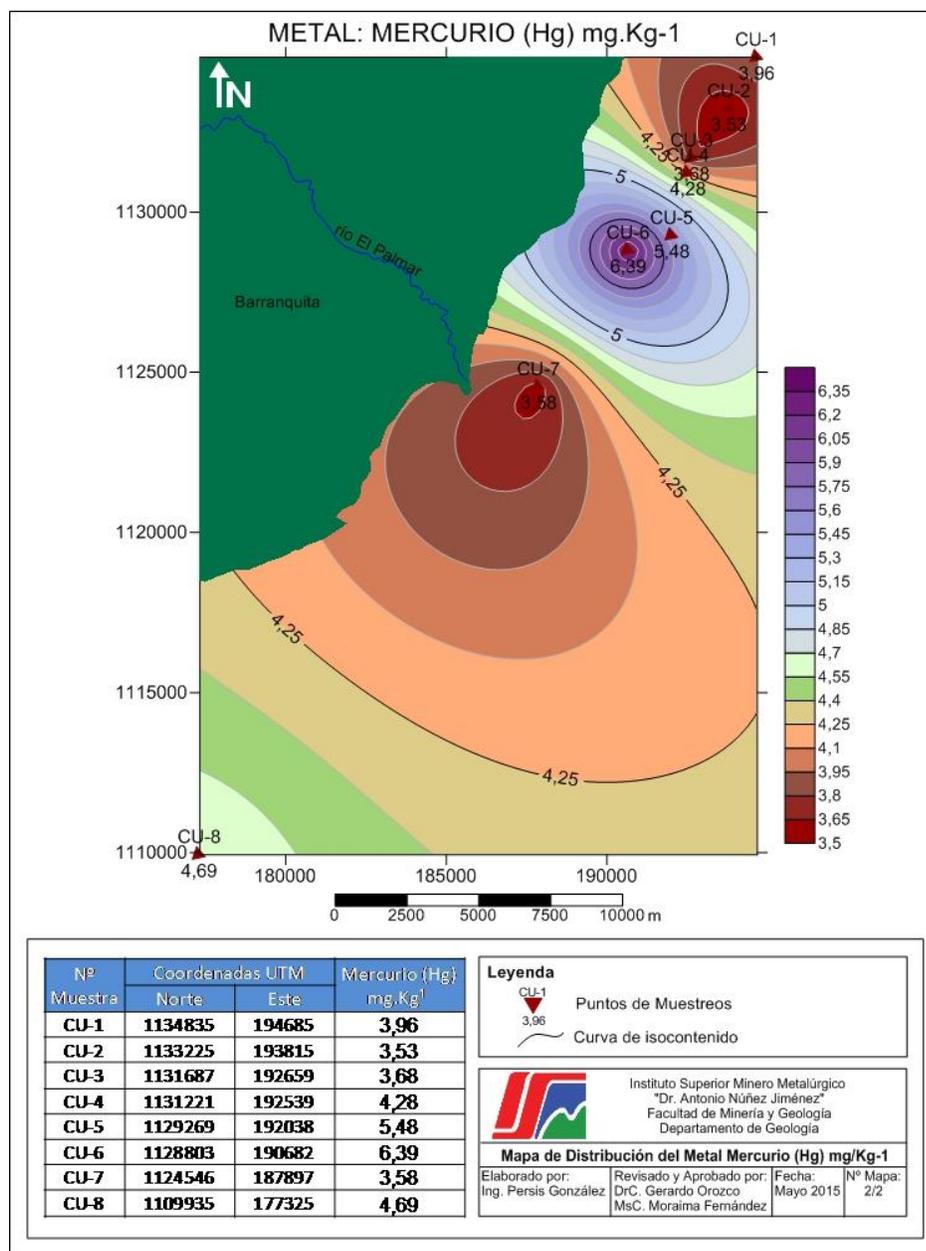
## Estudio de la Contaminación por Metales Pesados en Sedimentos en el Campo Urdaneta del Lago de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela.

concentraciones de metales, pero en sus proximidades se localizan otras muestras que tienen un bajo contenido. La contaminación que refleja los sedimentos es difusa, respecto a su ubicación y por ende definir una fuente de aporte a dicha alteración del medio.



**Figura 16.** Mapa de Distribución del Metal Arsénico en el área de estudio  
**Fuente:** Elaboración Propia (2015).

## Estudio de la Contaminación por Metales Pesados en Sedimentos en el Campo Urdaneta del Lago de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela.



**Figura 17.** Mapa de Distribución del Metal Mercurio en el área de estudio  
Fuente: Elaboración Propia (2015).

### 3.3. Evaluar los niveles de toxicidad que producen esos elementos.

Una vez comparados los resultados de los cuatro (4) metales pesados, con los niveles ambientales permisibles según Long, et al. (1995). Se procedió a determinar el Factor de Contaminación (FC) del Arsénico y Mercurio, el cual se define como la relación entre la concentración del elemento en la muestra (Me) y la concentración del elemento

## Estudio de la Contaminación por Metales Pesados en Sedimentos en el Campo Urdaneta del Lago de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela.

correspondiente a su valor de base (Me) BL (Rubio *et al.* 2000). Carballeira *et al.* (1997) establecen los siguientes rangos de clasificación para este factor (tabla 8)

$$FC = (Me) / (Me)BL$$

**Tabla 8.** Grado de Contaminación

Grado de Contaminación	FC
Ausente a bajo	<1
Moderado	1-3
Considerable	3-6
Muy alto	>6

**Fuente:** Carballeira *et al.* (1997)

**Tabla 9.** Grado de Contaminación del Metal Arsénico

Nº Muestra	Coordenadas UTM		Arsenico (As)	FC	Grado de Contaminación
	N	E	mg,Kg <sup>-1</sup>	ER-L	
CU-1	1134835	194685	4,22	<b>0,51</b>	<1 Ausente a bajo
CU-2	1133225	193815	11,19	<b>1,36</b>	1-3 Moderado
CU-3	1131687	192659	13,70	<b>1,67</b>	1-3 Moderado
CU-4	1131221	192539	8,95	<b>1,09</b>	1-3 Moderado
CU-5	1129269	192038	5,44	<b>0,66</b>	>6 Muy alto
CU-6	1128803	190682	15,90	<b>1,94</b>	1-3 Moderado
CU-7	1124546	187897	15,55	<b>1,90</b>	1-3 Moderado
CU-8	1109935	177325	17,58	<b>2,14</b>	1-3 Moderado

**Fuente:** elaborado a partir de los datos proporcionado por la Escuela de Química, Facultad de Ciencias, LUZ (2015).

**Tabla 10.** Grado de Contaminación del Metal Mercurio

Nº Muestra	Coordenadas UTM		Mercurio (Hg)	FC	FC	Grado de Contaminación
	N	E	mg,Kg <sup>-1</sup>	ER-L	EM-L	
CU-1	1134835	194685	3,96	<b>26,4</b>	5,6	3-6 Considerable
CU-2	1133225	193815	3,53	<b>23,5</b>	5	3-6 Considerable
CU-3	1131687	192659	3,68	<b>24,5</b>	5,2	3-6 Considerable
CU-4	1131221	192539	4,28	<b>28,5</b>	6	>6 Muy alto
CU-5	1129269	192038	5,48	<b>36,5</b>	7,7	>6 Muy alto
CU-6	1128803	190682	6,39	<b>42,6</b>	9	>6 Muy alto
CU-7	1124546	187897	3,58	<b>23,9</b>	5	3-6 Considerable
CU-8	1109935	177325	4,69	<b>31,3</b>	6,6	>6 Muy alto

**Fuente:** elaborado a partir de los datos proporcionado por la Escuela de Química, Facultad de Ciencias, LUZ (2015).

Estos resultados finales (tabla 9 y 10) pueden ser atribuidos a diversas fuentes, tales como la industria petrolera, industrial, urbanística o la actividad antropogénica en

## **Estudio de la Contaminación por Metales Pesados en Sedimentos en el Campo Urdaneta del Lago de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela.**

general. La contaminación por metales de una amplia variedad de fuentes, permite establecer que las variaciones de estos en el sedimento puede reflejar la mezcla de sedimentos de diferentes orígenes, por lo que se requiere de mucho cuidado en la interpretación de los resultados de niveles de metales en sedimentos acuáticos, principalmente cuando son utilizados para identificar fuente de contaminación (Bartoli y col., 2011). Sin embargo, el contenido de metales en sedimentos de ambientes acuáticos se considera un buen indicador de contaminación antropogénica, debido a que (Strady col., 2011):

1. Los cambios en el tiempo son mucho menor en relación al agua.
2. Los niveles de metales clarifican la distribución geográfica de contaminaciones en diferentes áreas.
3. Representan datos integrados de tiempo sobre las condiciones locales en los sistemas acuáticos y su cuenca, proporcionando información del aporte al sistema en diferentes periodos de tiempo.
4. Las concentraciones altas en los sedimentos pueden asociarse con concentraciones altas en biota.
- 5 .Las concentraciones se encuentran por encima de los límites de detección y las muestras pueden guardarse y reanalizarse.

Sin embargo, el hecho de que un contaminante produzca la muerte de algunos organismos de una población puede tener poca o ningún significado ecológico, mientras que cuando un contaminante no produce la muerte de los individuos pero si el retardo en el desarrollo puede tener considerable impacto ecológico (Besada y col., 2011).

Con relación a su extracción, la influencia de la industria petrolera sobre las concentración de metales pesados en ambientes acuáticos ha sido ampliamente documentada en distintos sistemas acuáticos, constituyendo las actividades de explotación, refinación y transporte de crudo un aporte considerable de metales a los sistemas acuáticos principalmente de Pb, V y Ni (Botello col., 1997; Metwally col., 1997; Perceval y col., 2006; Sadiq col., 1992). Este trabajo pone de manifiesto un potencial y grave problema ambiental, debido al elevado contenido de los metales pesados registrados en los sedimentos de la zona de estudio.

## **Estudio de la Contaminación por Metales Pesados en Sedimentos en el Campo Urdaneta del Lago de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela.**

### **CONCLUSIONES**

En base a la revisión bibliográfica exhaustiva que partieron de estudios previos de la zona, establece que esta problemática ambiental, ha generado un desequilibrio al ecosistema del estuario. El factor geológico, los diferentes eventos tectónicos ocurridos en la cuenca del Lago de Maracaibo, le otorgan un carácter deprimido y enmarcado por las cordilleras andinas al E, S y W, otro FG de relevancia en los últimos años es el papel hidrológico, que incide directamente en el lago de Maracaibo, quien recibe un aporte hídrico importante de más de 16 ríos, en cuanto a los contaminantes de procedencia humana, transportados por el río El Palmar, ubicado a 2,17 Km, cercano los puntos, también la actividad industrial, grandes camaroneras, estaciones de flujo y gabarras petroleras, distribuidas en el área de investigación, disminución de la zona de manglares. Estos contaminantes pueden provenir de fuentes litogénicas, así como antropogénica.

De los 16 elementos evaluados, fue determinada la presencia de (Pb, V, Se, Zn, As, Mg, Be y Hg). De los cuales el As y Hg, sobrepasaron los valores de referencia ERL (criterios de Long et al., 1995). Por otro lado, los metales Sb, Ti, Mo, Co, Cu, Cd y Cr, no fueron detectados.

Por otra parte, en la evaluación toxicológica el factor de concentración del As va de ausente a bajo (P1), a muy alto en P5, mientras que para el mercurio de considerable en P7, P2, P3 y P1, mientras que el grado de contaminación para P4, P8, P5 y P6, es muy alto. Por ende este trabajo pone de manifiesto un potencial y grave problema ambiental, debido al elevado contenido de los metales pesados registrados en los sedimentos de la zona de estudio.

## **Estudio de la Contaminación por Metales Pesados en Sedimentos en el Campo Urdaneta del Lago de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela.**

### **RECOMENDACIONES**

Elaborar una propuesta de manejo adecuado de los residuos orgánicos, químicos e inorgánicos en las distintas fases de las diversas actividades industriales o domésticas que generen un menor impacto ambiental.

Además, sería muy valioso complementar el análisis de metales pesados en el sedimento con el análisis de metales pesados en la columna de agua, para determinar su remobilización y biodisponibilidad.

Definir estrategias de integración alrededor de los planes en formulación, mediante la concertación de las capacidades de organismos locales y regionales, públicos y privados con injerencia directa en la conservación del Lago de Maracaibo.

Evaluar Alternativas para la destoxificación del Lago de Maracaibo, dentro de las cuales la fitorremediación (phyto = planta y remediación = mal por corregir), es un proceso que utiliza plantas para remover, transferir, estabilizar, concentrar y/o destruir contaminantes (orgánicos e inorgánicos) en suelos, lodos y sedimentos, y puede aplicarse tanto in situ como ex situ. La fitorremediación puede aplicarse eficientemente para tratar suelos contaminados con compuestos inorgánicos como Cd, Cr (VI), Co, Cu, Pb, Ni, Se y Zn. Se ha demostrado también su eficiencia en la remoción de metales radioactivos y tóxicos de suelos y agua. Para que una tecnología sea sostenible, debe ser económicamente viable y ambientalmente compatible.

## **Estudio de la Contaminación por Metales Pesados en Sedimentos en el Campo Urdaneta del Lago de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela.**

### **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Accornero, A.; Gnerre, R.; Manfra, L. (2008). Sediment concentrations of trace metals in the Berre Lagoon (France): An assessment of contamination. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 54: 372-385. Amat et al. 2002.
- Agudelo L. et al. (2005). Fitorremediación: la alternativa para absorber metales pesados de los biosólidos.
- Aguilera, M., Azócar, A. y González, E. (2003). Biodiversidad en Venezuela. Tomos I y II. Fundación Polar. Caracas, Venezuela.
- Aguirre G. et, al. (2009). Toxicidad no específica en sedimentos portuarios. *Health*, 22, 131- 153.
- Antoranz, A., Pelegri, J., Masciangiolf, P. (2001). Tidal currents and mixing in the Lake Maracaibo estuarine system. Venezuela, *Scientia Marina*, 66 (suppl 1): 155-166)
- Appenroth K.-J. (2010). Definition of “Heavy Metals” and Their Role in Biological Systems. En: *Soil Heavy Metals*, Sherameti, Varma (eds.), Soil Biology, Vol 19, Springer-Verlag Berlin,, pp 19-29.
- Araúz D. et, al. (2013). Realizo el estudio del Nivel de Contaminación y Distribución Espacial de Metales Pesados en Sedimentos Superficiales de Bahía Damas, Isla Coiba. BALLBE E. 1989. Mineralogía y elementos pesados de los sedimentos actuales del río Llobregat (Barcelona). Departamento de Edafología. Facultad de Farmacia. Universidad de Barcelona. 08028 Barcelona.
- Atkinson C.A., Jolley D.F., Simpson S.L. (2007). Effect of overlying water pH, dissolved oxygen, salinity and sediment disturbances on metal release and sequestration from metal contaminated marine sediments. *Chemosphere* 69:1428–1437
- Ávila, H. (2003). Distribución de metales pesados en sedimentos del Sistema del Lago de Maracaibo. LUZ. Facultad de Ingeniería. División de Postgrado. Tesis de Grado. pp. 72.
- Ávila, Hk; Quintero, E; Angulo, N; Cárdenas, C; Araujo, M; Morales, N; Prieto, M. (2014). Determinación de metales pesados en sedimentos superficiales costeros del

## **Estudio de la Contaminación por Metales Pesados en Sedimentos en el Campo Urdaneta del Lago de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela.**

Sistema Lago de Maracaibo. Venezuela, *Multiciencias*, vol. 14, núm. 1, enero-marzo, pp. 16-21. Universidad del Zulia Punto Fijo, Venezuela. Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/904/0430816005.pdf> (13/02/15)

Bai J., Xiao R., Cui B., Zhang K., Wang Q., Liu X., Gao H., Huang L. (2011). Assessment of heavy metal pollution in wetland soils from the young and old reclaimed regions in the Pearl River Estuary, South China. *Env. Poll.* 159: 817-824.

Bartoli, G., Papa, S., Sagnella, E., y Fioretto, A. (2011). Heavy metal content in sediments along the Calore River: Relationships with physical-chemical characteristics. *Journal of Environmental Management*, 1-6.

Bashkin V.N. (2002). Biogeochemical cycling of trace elements. En: *Modern biogeochemistry*. Kluwer Academic Publ., The Netherlands, pp 161- 97. Bautista, 1999

Bellas J, Saco-Álvarez, L, Nieto O, Beiras R. (2011). Ecotoxicological evaluation of polycyclic aromatic hydrocarbons using marine invertebrate embryo-larval bioassays. *Mar. Pollut. Bull.*, 57: 493–502.

Benjamin M.M., Honeyman B.D. (1992). Trace Metals. En: *Global Biogeochemical Cycles*. Butcher, Charlson, Orians, Wolfe (eds.) Academic Press Inc. San Diego, CA, USA. 379 pp.

Besada, V., Andrade, J., Schultze, F., González, J. (2011). Monitoring of heavy metals in wild mussels (*Mytilus galloprovincialis*) from the Spanish North-Atlantic coast. *Continental Shelf Research*, 31: 457-465,

Blasco J., Sáenz V., Gómez-Parra A. (2000). Heavy metal fluxes at the sediment water interface of three coastal ecosystems from south-west of the Iberian Peninsula. *Sci. Tot. Env.* 247: 189-199.

Borch T, Kretzschmar R, Kappler A., Van Capellen P., Ginder-Vogel M., Voegelin A., Campbell K. (2010). Biogeochemical Redox Processes and their Impact on Contaminant Dynamics. *Env. Sci. & Technol.* 44: 15–23.

## **Estudio de la Contaminación por Metales Pesados en Sedimentos en el Campo Urdaneta del Lago de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela.**

- Botté S., Freije H., Marcovecchio J.E. (2007). Dissolved Heavy Metal (Cd, Pb, Cr, Ni) concentrations in Surface Water and Porewater from Bahía Blanca Estuary Tidal Flats. *Bull Env.Cont.Toxicol.* 79: 415–421. Briker et al., 1999
- Bufflap S.E., Allen H.E.. (1995). Sediment pore water collection methods for trace metal analysis: a review. *Water Res.* 29: 165-177.
- Cañizares R. (2000), Estudio de la Bioadsorción de metales pesados mediante el uso de biomasa microbiana. Caracas, Venezuela. pp. 264
- Rubio B., Nombela M.A., Vilas F. (2000). La contaminación por metales pesados en las Rías Baixas gallegas: nuevos valores de fondo para la Ría de Vigo (NO España). *J Iberian Geol.* 26: 121-149.
- Castañé P. et all. (2003). Influencia de la especiación de los metales pesados en medio acuático como determinante de su toxicidad.
- Cervantes G., Y.; Almaguer-Carmenates, Yuri; Pierra-Conde, Allan; Orozco-Melgar, Gerardo; Gursky, Hans-Juergen. (2011). Metales traza en sedimentos de la Bahía de Cayo Moa (Cuba): Una evaluación de la contaminación”, *Minería y Geología*, vol. 27, núm. 4, octubre-diciembre. Pp. 1-19.
- Cervantes Y. et al. (2011). Metales traza en sedimentos de la Bahía de Cayo Moa, Cuba.
- Ciencias Marinas (2012). Toxicity assays of marine sediments from western Venezuela Ensayos de toxicidad con sedimentos marinos del occidente de Venezuela R Ramos<sup>1\*</sup>, C Bastidas<sup>1, 2</sup>, E García<sup>1, 2</sup>
- Corona L. (2012). Contaminación antropogénica en el Lago de Maracaibo, Venezuela”, *Biocenosis*, Vol. 27 (1-2) 2012. Disponible en: [investiga.uned.ac.cr/revistas/index.php/biocenosis/article](http://investiga.uned.ac.cr/revistas/index.php/biocenosis/article), (12/12/14)
- Costanza R. (1994). Ecological economics and the management of coastal and estuarine ecosystems. En: Changes in fluxes in estuaries: implications from Science to Management. Dyer, Orth,(Eds) ECSA/ERF Symposium, Univ. of Plymouth, 485pp.

## **Estudio de la Contaminación por Metales Pesados en Sedimentos en el Campo Urdaneta del Lago de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela.**

- Díaz Rizo O, et, al. (2008), Análisis ambiental, a través de la activación neutrónica instrumental de sedimentos superficiales de la bahía de La Habana, Cuba.
- Du Laing G., Bontinck A., Samson R., Vandecasteele B., Vanthuyne D.R.J., Meers E., Lesage E., Tack F.M.G., Verloo M.G. (2008a). Effect of decomposing litter on the mobility and availability of metals in the soil of a recently created floodplain. *Geoderma* 147: 34–46.
- Du Laing G., De Vos R., Vandecasteele B., Lesage E., Tack F.M.G., Verloo M.G. (2008b). Effect of salinity on heavy metal mobility and availability in intertidal sediments of the Scheldt estuary. *Est. Coast. Shelf Sci.* 77: 589-602.
- Du Laing G., Meers E., Dewispelaere M., Vandecasteele B., Rinklebec J., Tack F. M.G., Verloo M.G. (2009a). Heavy metal mobility in intertidal sediments of the Scheldt estuary: Field monitoring. *Sci. Tot. Env.* 407: 2919-2930
- Du Laing G., Rinklebe J., Vandecasteele B., Meers E., Tack F.M.G. (2009b). Trace metal behaviour in estuarine and riverine floodplain soils and sediments: A review. *Sci.Tot. Env.* 407: 3972-85.
- Duffus J.H. 2002. "Heavy metals" - A meaningless term? *IUPAC. Pure Appl. Chem.* 74: 793–807.
- Duquesne S., Newton L.C., Giusti L., Marriot S.B., Stärk H-J...Bird D.J. (2006). Evidence for declining levels of heavy-metals in the Severn Estuary and Bristol Channel, U.K. and their spatial distribution in sediments. *Env. Poll.* 143: 187-196.
- Elliott M., Mclusky D.S. 2002. The Need for Definitions in Understanding Estuaries. *Est. Coast. Shelf Sci.* 55: 815–827
- Escaplés, M.; Galindo, I. (2000) Calidad de los Sedimentos del Lago de Maracaibo. En: Rodríguez, G. "El Sistema de Maracaibo. 2da Edición Instituto de Investigaciones Científicas. (pp 147-152).
- Farina, O., Pisapia, D., González, M., y Lasso, C., Source (2013). Evaluación Rápida de la Biodiversidad de los Ecosistemas Acuáticos de la Cuenca Alta del Río Cuyuní,

## **Estudio de la Contaminación por Metales Pesados en Sedimentos en el Campo Urdaneta del Lago de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela.**

Guayana Venezolana: Conservation International, 74-88, consultado en [https://library.conservation.org/.../RAP% \(01/08/14\)](https://library.conservation.org/.../RAP%20(01/08/14))

França S., Vinagre C., Caçador I., Cabral H.N. (2005). Heavy metal concentrations in sediment, benthic invertebrates and fish in three salt marsh areas subjected to different pollution loads in the Tagus Estuary (Portugal). *Baseline. Mar.Poll. Bull.* 50: 993–1018. Galán E. y Romero A., (2008).

Frías-Espéricueta, M. (2010). Cadmio y plomo en organismos de importancia comercial de la zona costera de Sinaloa, México

Carrasquel G. (2015). Bioregiones de América. Fundación Azul Ambientalistas. Editorial Erato. Maracaibo, Venezuela.

Galán E., Romero A. (2001). Contaminación de Suelos por Metales Pesados. Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola. Facultad de Química. Apartado 553. Universidad de Sevilla. Sevilla 41071.

Galán, E. (2003): Contaminación de suelos por metales pesados y regeneración. In Galán E. (Ed.): *Mineralogía Aplicada*. Editorial Síntesis. Madrid, 267-286.

Galán, E., Bloundi, k., González, I., Duplay J. (2009). Evaluación de la Contaminación por Elementos Traza en Sedimentos de la Laguna de Nador, (Marruecos)” *revista de la sociedad española de mineralogía*, macla nº 11. septiembre 09. Disponible en: [www.ehu.eus/sem/macla\\_pdf/macla11/Macla11\\_87](http://www.ehu.eus/sem/macla_pdf/macla11/Macla11_87), (20/03/14)

Galán, E.; Fernández-Caliani, J.C.; González, I.; Aparicio, P. & Romero, A. (2008): Influence of geological setting on geochemical baselines of trace elements in soils. Application to soils of south-west Spain. *Journal of Geochemical Exploration*, 98, 89-106.

García N.et, al. (2012).Evaluación Preliminar de Riesgos para la Salud Humana por Metales Pesados en las Bahías de Buenavista y San Juan de los Remedios, Villa Clara, Cuba.

## **Estudio de la Contaminación por Metales Pesados en Sedimentos en el Campo Urdaneta del Lago de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela.**

Gardner, W; Cavaletto, J; Bootsma, H; Lavrentyev, P. and Troncone, F. (1998). "Nitrogen cycling rates and light effects in tropical Lake Maracaibo, Venezuela", *Limnol*, 43:1814-1825.

Gomez, Moriena, Felizzia y Schiavo (2009). Caracterización hidrogeoquímica e identificación de procesos de mezcla en un acuífero afectado por un vertedero municipal no controlado. Modelación geoquímica en un acuífero contaminado. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*. Volumen 61, Número 3.

González de Juana, Iturralde de Arozena y Picard Cadillat (1980). *Geología de Venezuela y sus Cuencas Petrolíferas*. Tomo I. Facultad de Ingeniería. Universidad central de Venezuela. Ediciones Foninves. Caracas, Venezuela. 105 pp.

Google Eart, versión 2015

Hernández m. Restrepo s., Barreto d y Borges b. (2002). Efectos que produce la industria Protinal al lago de Maracaibo del estado Zulia. Universidad Bolivariana de Venezuela. Programa de Formación de Grado Gestión Ambiental.

Herrera J. et, al. (2012). Evaluación de metales pesados en los sedimentos superficiales del río Pirro. Laboratorio de Manejo del Recurso Hídrico, Escuela de Química, Universidad Nacional, Costa Rica.

Ibárcena L. (2011). Estudio de la Contaminación por Metales Ecotóxicos en Sedimentos en la Bahía de Ite, Tacna.

ICLAM. (1988). Determinación de la concentración de hidrocarburos y metales pesados en agua, sedimento y biota del Lago de Maracaibo. Informe Técnico. pp.47.

ICLAM. (2001). Estudio Preliminar de la Laguna de Sinamaica. Informe Técnico. Convenio Corporación para el desarrollo de la región Zuliana- Instituto para el Control y Preservación de la Cuenca del Lago de Maracaibo. Maracaibo, Venezuela. 78 pp.

ICLAM. (2001). Monitoreo ambiental regional del Lago de Maracaibo. (Tercera evaluación). Informe Técnico. pp. 81.

## **Estudio de la Contaminación por Metales Pesados en Sedimentos en el Campo Urdaneta del Lago de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela.**

- Ip C.C.M., Li X.-D., Zhang G., Wai O.W.H., Li Y.-S. (2007). Trace metal distribution in sediments of the Pearl River Estuary and the surrounding coastal area, South China. *Env. Poll.* 147: 311-323.
- Kennish M.J. (1998). *Pollution impacts on marine biotic communities*, CRC Press (ed.), N.Y., pp 310.
- Kennish, M. (2002). Environmental threats and environmental future of estuaries. *Environmental Conservation*, 29:78-107.
- Langston W.J., Pope N.D., Jonas P.J.C., Nikitic C., Field M.D.R., Dowell B., Shillabeer N., Swarbrick R.H., Brown A.R. (2010). Contaminants in fine sediments and their consequences for biota of the Severn Estuary. *Mar. Poll. Bull.* 61: 68–82. Lillebo et al., 2005.
- Ledo de M, H., Marín L., J. C; Gutiérrez, E; y Morales J. (2003). Nitrogen mobility at the sediment-water interface of Lake Maracaibo, Venezuela. *Water, Air, and Soil Pollution*, 145: 341-357.
- Long E, Macdonald D, Smith S, Calder F. (1995). Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments. *Environ. Manage.* 19: 81–97.
- Long, E.R., and L. G. Morgan. (1990). The potential for biological effects of sediment-sorbed contaminants tested in the National Status and Trends Program. NOAA Technical Memorandum NOS OMA 52. National Oceanic and Atmospheric Administration. Seattle, Washington.
- Hansen, M., (2013) metodología para determinar la liberación de metales del sedimento al agua en lagos y embalses, Maracaibo, Venezuela
- Marcovecchio J.E., Botté S.E., Freije R.H. (2007). Heavy Metals, Major Metals, Trace Elements. En: *Handbook of Water Analysis 2nd Ed.* Nollet (ed.), CRC Press. Boca Raton, Fl. Ch. 11: 275-311. Marcovecchio, Jorge., Freije, Rubén, *Procesos Químicos en Estuarios*, Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional, Argentina, 2013.

## **Estudio de la Contaminación por Metales Pesados en Sedimentos en el Campo Urdaneta del Lago de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela.**

- Marcucci, E. (2000). Características de los estuarios de Venezuela y manejo ecológico de los sedimentos dragados. *Bol., Soc. Venezolana de Geól.*, 25(2): 5-21.
- Martinez G., Señor W. (2001). Especiación de metales pesados (Cd, Zn, Cu y Cr) en el material en suspensión de la pluma del Río Manzanares, Venezuela. *Interciencia* 26: 53-61.
- Menéndez M. (2004), Eutrofización y calidad del agua de una zona costera tropical en la península Yucatán.
- Metwally, M., Al-Muzainis, S., Jacob, P., Bahloul, M., Urushigawa, Y., Sato, S., y Matsmura, A. (1997). Petroleum hydrocarbons and related heavy metals in the nearshore marine sediments of Kuwait. *Environmental International*, 23: 115-121.
- Ministerio del ambiente, "Decreto 948", del 5 de junio de 1995, Caracas, Venezuela.
- Ministerio del Poder Popular para el Ambiente. (2010a). Estrategia Nacional para la Conservación de la Diversidad Biológica, Consultado en: <http://diversidad2010.blogspot.com/> [Consulta 12/12/14].
- Navrátil T., Minoáik L. (2002). Trace Elements and Contaminants, in *Earth's System: History and Natural Variability*. En; *Encyclopedia of Life Support Systems*. Cilek, Smith (eds.). UNESCO, EOLSS Publishers, Oxford, UK.
- Oyarzun r., Lillo J., higuera P., Oyarzun J., Maturana H (2002). Sedimentos ricos en arsénico en la cuenca hidrográfica del río Elqui (norte de Chile): ¿Contaminación industrial o natural?" Departamento de Cristalografía y Mineralogía, Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense, 28040 Madrid, España. Disponible en: [www.uclm.es/users](http://www.uclm.es/users).
- Papakostidis, G.; Grimanis, A.; Zafiroopoulos, D.; Griggs, G.; Hopkins, T. (1975). Heavy metals in sediments from the Athens sewage outfall area. *Marine Pollution Bulletin* 6: 136-139. Pardi y col. (1979),
- Parra-Pardi, G. (1979). Estudio sanitario integral sobre la contaminación del Lago de Maracaibo y sus afluentes. Ministerio del Ambiente y de los Recursos naturales

## **Estudio de la Contaminación por Metales Pesados en Sedimentos en el Campo Urdaneta del Lago de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela.**

- Renovables (MARNR). Dirección de Investigación del Ambiente. Venezuela. pp. 225.
- Perceval, O., Couillard, Y., Pinel-Alloul, B., Bonneris, E., y Campbell, P. (2006). Long-term trends in accumulated metals (Cd, Cu and Zn) and metallothionein.
- Perillo G.M.E. (1995). Definitions and geomorphologic classifications of estuaries. En: *Geomorphology and Sedimentology of Estuaries*. Perillo (Ed.), Dev. in Sedimentol.. Elsevier, Amsterdam, pp. 17-47.
- PDVSA, Intevep (1997). *Léxico Estratigráfico de Venezuela*. Disponible en: <http://www.pdv.com/lexico/lexicoh.htm>
- Perillo G.M.E., Piccolo M.C. (2012). Global variability in estuaries and coastal settings. En: *Features/Classification of Estuaries and Coastal Waters* Simstead, Yanagi (Eds.). *Treatise on Estuarine and Coastal Science Vol. 1*. Elsevier, Amsterdam (en prensa).
- Infante, P., Pierra A., Casals I, Vázquez, A. (2002). Estudio de la contaminación por metales pesados en sedimentos y ostiones de la bahía de Manzanillo, Cuba. *Journal of the Mexican Chemical Society*, vol. 46, núm. 4. Sociedad Química de México. Pp. 357-361.
- Prego R., Cobelo-García A. (2003). Twentieth century overview of heavy metals in the Galician Rias (NW Iberian Peninsula). *Env. Poll.* 121: 425-452.
- Rabouille C., Mackenzi F.T., May Ver L. (2001). Influence of the human perturbation on carbon, nitrogen, and oxygen biogeochemical cycles in the global coastal ocean. *Geoch. Cosm. Acta*, 65: 3615 – 41 LOICZ.
- Ramos, R; Bastidas, C y Garcia, E (2012). Ensayos de toxicidad con sedimentos marinos del occidente de Venezuela, *Cienc. mar.*, vol.38, n.1a, pp. 119-127, disponible en: <http://www.scielo.org.mx/>, (16/03/15)
- Reboreda R., Caçador I. (2007). Halophyte vegetation influences in salt marsh retention capacity for heavy metals. *Env. Poll.* 146: 147-154

## **Estudio de la Contaminación por Metales Pesados en Sedimentos en el Campo Urdaneta del Lago de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela.**

- Reyes K. (s.f.) de la Comunidad Petrolera., basado en material de Méndez Baamonde, José. "Petrología", Pág. 255-269.
- Walker, Roger (s.f.). Guía de postgrado de ambientes sedimentarios. Pág. 180-189.
- Rivas, Z, Marquez, R., Trocone, F, Sanchez, J., Colina, M., Hernández, P. (2005) Contribucion de principales ríos tributarios a la contaminación y eutrofización del Lago de Maracaibo. *CIENCIA* 13(1), 68-77
- Rivas, Z; Ledo de M, H; Gutiérrez, J; y Gutiérrez, E. (2005). Nitrogen and phosphorus level in sediment from tropical Catatumbo River (Venezuela). *Water, Air, and Solid Pollution*, 117: 27-37.
- Rodríguez, G (2001). El Lago de Maracaibo como cuenca anaeróbica natural: Uso de líneas de base históricas en estudios de impacto ambiental. Venezuela. *Interciencias*, 26(10): 450-456.
- Rodríguez, G. (2000). *El Sistema del Lago de Maracaibo*. Segunda edición. (IVIC). Miranda, Venezuela.
- Rodríguez, J. y Betancourt. L. (1999). Caracterización fisicoquímica de una laguna de inundación del tramo Orinoco medio y su relación con la biomasa de la cobertura de Bora" (*Eichornia crassipes* (Mart.) Solms). *Interciencia*, 24 (4): 243- 249.
- Ruttenberg K.C. (2005). The Global Phosphorus Cycle. En: Biogeochemistry; Holland, Turkerian (Eds.) *Treatise on Geochemistry*, 8. Elsevier-Pergamon, Oxford, pp. 585 – 643.
- Sadiq M (1992) Toxic metal chemistry in marine environments. Marcel Dekker. New York. 390 pp.
- Salomon W., Förstner, U. (1984). *Metals in the Hydrocycle* Springer-Verlag, New-York. Pp. 349.
- Salomons W. (1995). Long-term strategies for handling contaminated sites and large-scale areas. En: *Biogedynamics of pollutants in soils and sediment*. Salomons, Stigliani (eds.) Springer-Verlag Berlin, pp: 1-30.

## **Estudio de la Contaminación por Metales Pesados en Sedimentos en el Campo Urdaneta del Lago de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela.**

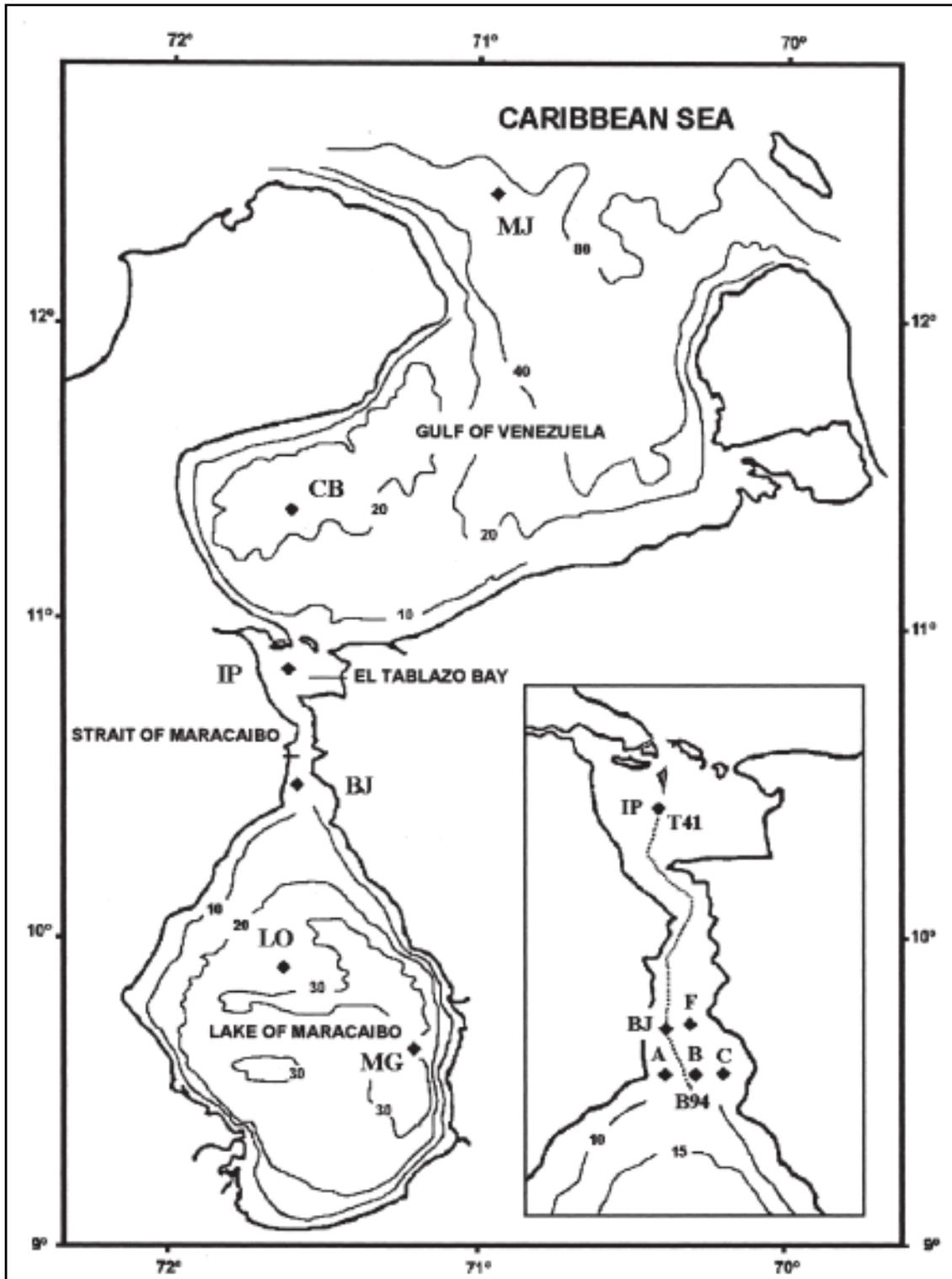
- Salomons W., Förstner U. (1984). *Metals in the hydrocycle*. Springer-Verlag, Berlin, 688 pp.
- Sotero V. et, al. (2013) Contenido de metales pesados en agua y sedimento en el bajo Nanay
- Soto-Jiménez M.F. (2011). Transferencia de elementos traza en tramas tróficas acuáticas. *Hidrobiológica* 21: 239-248.
- Sutton E. et al (1974). Study of Effects of Oil Discharges and Domestic and Industrial Wastewater in the Fisheries of Lake Maracaibo, Venezuela. Vol I. Ecological Characterization and Industrial Wastes.:Vol. II. Fate and Effects of oil. Battelle Pacific NorthWest Laboratories, Washington (USA),W. L. Templeton, Editor, 1976.
- Tijani M.N., Onodera S. (2009). Hydrogeochemical Assessment of Metals Contamination in an Urban Drainage System: A Case Study of Osogbo Township, SW-Nigeria. *J.Wat.Res.Prot.* 3: 164-173.Vázquez et al., 2005
- Valdés J. et, al. (2014), llevo a cabo la investigación sobre el Contenido de Cu, Pb y Zn en sedimentos y organismos bentónicos de la bahía San Jorge (norte de Chile)
- Viers J., Dupréa B.,Gaillardet J. (2009). Chemical composition of suspended sediments in World Rivers:New insights from a new database. *Sci. Tot. Env.* 407:853-868.
- Zamora, A.; Ramos, J. (2010). Las actividades de la industria petrolera y el marco ambiental legal en Venezuela". Una visión crítica de su efectividad, *Revista Geográfica Venezolana*, vol. 51, núm. 1. Ppp. 115-144, Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela. Disponible en: <http://www.redalyc.org/n> (23/09/14)
- Zhang J (1992) Transport of particulate heavy metal towards the China Sea: A preliminary study and comparison. *Mar. Chem.* 40: 61-178.
- Zhou Q., Zhang J., Fu J., Shi J., Jiang G. (2008). Biomonitoring: An appealing tool for assessment of metal pollution in the aquatic ecosystem. *Analyt. Chim. Acta* 606: 135–150.

**Estudio de la Contaminación por Metales Pesados en Sedimentos en el Campo Urdaneta del Lago de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela.**

**ANEXOS**

**Estudio de la Contaminación por Metales Pesados en Sedimentos en el Campo Urdaneta del Lago de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela.**

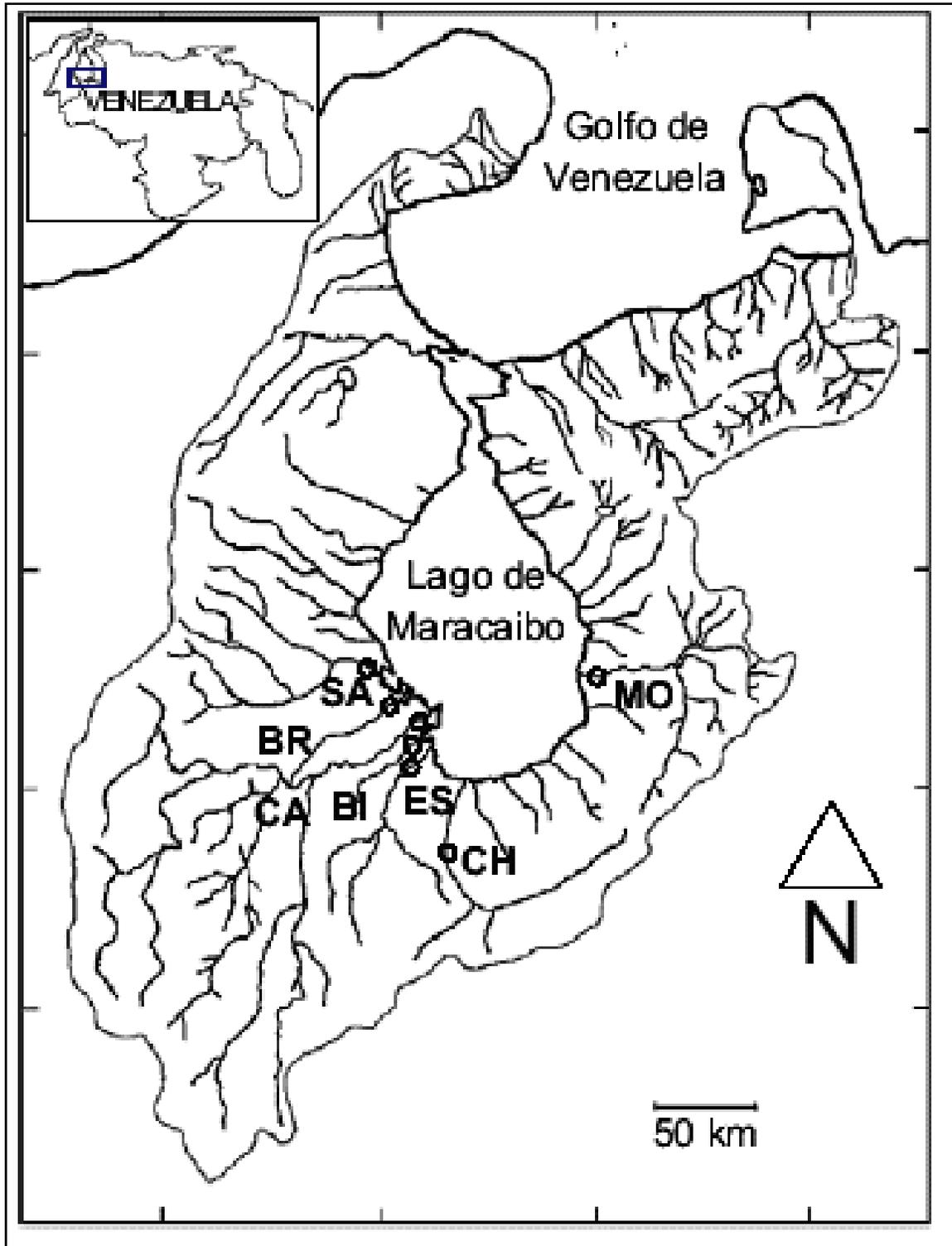
**Anexo 1. Mapa del sistema estuarino Lago de Maracaibo con la ubicación de las estaciones (cajas negras) y transectos (línea punteada) utilizados en este estudio.**



**Fuente:** Antoranz, Ana C. et. al. (2001).

**Estudio de la Contaminación por Metales Pesados en Sedimentos en el Campo Urdaneta del Lago de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela.**

**Anexo 2. Área de estudio. Se muestra la ubicación nacional y regional de las estaciones de estudios. SA: Santa Ana, BR: Bravo, CA: Catatumbo, BI: Birimbay, ES: Escalante, CH: Chama, MO: Motatán.**



**Fuente:** Zulay Rivas, et al, (2005).

# Estudio de la Contaminación por Metales Pesados en Sedimentos en el Campo Urdaneta del Lago de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela.

## Anexo 3. Caracterización Sedimentológica de Sedimentos Superficiales, del Campo Urdaneta, Lago de Maracaibo. Muestra CU-1.



Gerencia de laboratorios y Nucléoteca  
Laboratorio Geológico de Occidente

### Caracterización Sedimentológica de Sedimentos Superficiales, del Campo Urdaneta, Lago de Maracaibo.

#### CU-1

Coordenadas UTM: N: 1.129.269  
E: 192.038

Batimetría: 22 Pies

La muestra analizada esta conformado en orden de abundancia por una secuencia de granos sueltos de cuarzo seguido Limos y arcillas así cde fragmentos líticos de rocas sedimentarias y en menor proporción como accesorios se presentan fragmentos de concha partidas. Dichos sedimentos presentan las siguientes características:

**Granos sueltos de cuarzo:** frecuentemente fracturados de una variedad de colores semicristalino, amarillento, ahumado, blanquecino de grano fino a grueso de granos sub angulares a subredondeados de moderado a mal escogidos. (Fotografía 1).

**Fragmentos Líticos:** fragmentos líticos de rocas sedimentarias chert color negro fractura concoidal brillo sedoso muy dura. Fragmentos de lutitas color negro laminar fractura en bloque de aspecto limoso así como fragmentos de concha de bivalvos de color blanco a amarillento fragmentadas. (Ver fotografía 1).



Fotografía 1: Vista general de la muestra, granos de cuarzo flechas Verdes. Fragmentos líticos flechas amarillas

Apoyo técnico: Analista de Sedimentología Ing. Carlos Nava (PDVSA)

# Estudio de la Contaminación por Metales Pesados en Sedimentos en el Campo Urdaneta del Lago de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela.

## Anexo 4. Caracterización Sedimentológica de Sedimentos Superficiales, del Campo Urdaneta, Lago de Maracaibo. Muestra CU-2.



Gerencia de laboratorios y Nucléoteca  
Laboratorio Geológico de Occidente

### Caracterización Sedimentológica de Sedimentos Superficiales, del Campo Urdaneta, Lago de Maracaibo.

#### CU-2

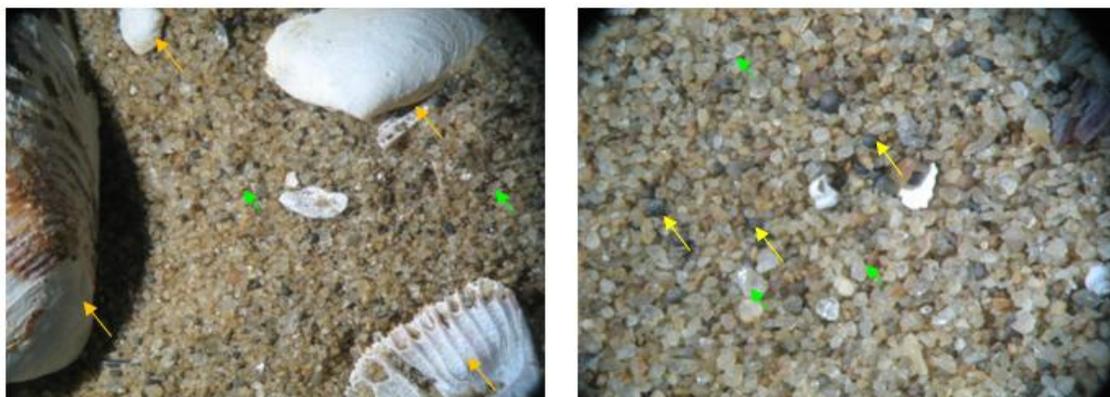
Coordenadas UTM: N: 1.133.225  
E: 193.815

Batimetría: 20 Pies

La muestra analizada esta conformado en orden de abundancia por:

**Granos sueltos de cuarzo:** semicristalinos a amarillentos con evidencias a colores de oxidación de grano fino a medio sub angulares a sub redondeados de moderado a mal escogidos muchos de los cuales se presentan fracturados. Asimismo se observan fragmentos líticos de rocas sedimentarias arenisca y lutitas así como nódulos de tamaño fino a muy fino de óxidos de posibles óxidos hierro (hematita, limonita) o siderita?.

Por otro lado se observan fragmentos de pelecípodos de entre 2mm a 2cm de diámetro y gasterópodos 2 a 5 mm de-diámetro-ocasionalmente-partidas (Fotografía 2 y 2b).



Fotografía 2 y 2b (derecha): Vista general de la muestra, granos de cuarzo flechas Verdes y fragmentos de concha anaranjado, Nódulos de oxido de hierro flechas amarillas

Apoyo técnico: Analista de Sedimentología Ing. Carlos Nava (PDVSA).

# Estudio de la Contaminación por Metales Pesados en Sedimentos en el Campo Urdaneta del Lago de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela.

## Anexo 5. Caracterización Sedimentológica de Sedimentos Superficiales, del Campo Urdaneta, Lago de Maracaibo. Muestra CU-3.



**PDVSA**

Gerencia de laboratorios y Nucléoteca  
Laboratorio Geológico de Occidente

### Caracterización Sedimentológica de Sedimentos Superficiales, del Campo Urdaneta, Lago de Maracaibo.

#### CU-3

Coordenadas UTM: N:1.134.835  
E:194.685

**Batimetría: 20 Pies**

La muestra analizada esta conformado en orden de abundancia por:

Granos sueltos de cuarzo: semicristalinos a amarillentos con evidencias a colores de oxidación de grano fino a medio sub angulares a sub redondeados de moderado a mal escogidos.

Asimismo se observan fragmentos líticos de rocas sedimentarias arenisca y lutitas así como nódulos de tamaño fino a muy fino de óxidos hierro.

Por otro lado se observan fragmentos de pelecípodos de entre 2mm diámetro y gasterópodos 2 a 5mm de diámetro ocasionalmente partidas (Fotografía 3).



Fotografía3 : Vista general de la muestra, Fragmentos de pelecípodos.

**Apoyo técnico:** Analista de Sedimentología Ing. Carlos Nava (PDVSA).

**Estudio de la Contaminación por Metales Pesados en Sedimentos en el Campo Urdaneta del Lago de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela.**

**Anexo 6. Caracterización Sedimentológica de Sedimentos Superficiales, del Campo Urdaneta, Lago de Maracaibo. Muestra CU-4.**



**PDVSA**

Gerencia de laboratorios y Nucléoteca  
Laboratorio Geológico de Occidente

**Caracterización Sedimentológica de Sedimentos Superficiales, del Campo Urdaneta, Lago de Maracaibo.**

CU-4

Coordenadas UTM: N:1.131.221  
E:192.539

Batimetría: 25 Pies

Arcilla color gris claro a beige e ocasiones limosa con inclusiones de granos de cuarzo semicristalino a amarillento de grano fino sub angulares a sub redondeados así mismo nódulos de óxidos de hierro de entre 1 y 2mm son frecuentes en la muestra (Fotografía 4).



Fotografía 4 : Vista general de la muestra, Arcillas gris claro.

Apoyo técnico: Analista de Sedimentología Ing. Carlos Nava (PDVSA).

# Estudio de la Contaminación por Metales Pesados en Sedimentos en el Campo Urdaneta del Lago de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela.

## Anexo 7. Caracterización Sedimentológica de Sedimentos Superficiales, del Campo Urdaneta, Lago de Maracaibo. Muestra CU-5.



Gerencia de laboratorios y Nucléoteca  
Laboratorio Geológico de Occidente

### Caracterización Sedimentológica de Sedimentos Superficiales, del Campo Urdaneta, Lago de Maracaibo.

CU-5

Coordenadas UTM: N:1.131.687  
E:192.659

**Batimetría: 25 Pies**

Arcilla color gris claro a beige, ocasionalmente limosa, formando aglomerados con granos sueltos de cuarzo de grano grueso a medio de granos sub angulares a subredondeados y nódulos de oxido de hierro, de 1 a 2 mm, fragmentos de rocas sedimentarias, lutitas de color gris oscuro a negro, laminares, moderadamente duras (ver fotografía 5).



Fotografía 5 : Vista general de la muestra, Arcillas gris claro.

**Apoyo técnico:** Analista de Sedimentología Ing. Carlos Nava (PDVSA).

# Estudio de la Contaminación por Metales Pesados en Sedimentos en el Campo Urdaneta del Lago de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela.

## Anexo 8. Caracterización Sedimentológica de Sedimentos Superficiales, del Campo Urdaneta, Lago de Maracaibo. Muestra CU-6.



**PDVSA**

Gerencia de laboratorios y Nucléoteca  
Laboratorio Geológico de Occidente

### Caracterización Sedimentológica de Sedimentos Superficiales, del Campo Urdaneta, Lago de Maracaibo.

#### CU-6

Coordenadas UTM: N:1.124.546  
E:187.897

Batimetría: 28 Pies

La muestra analizada esta conformado en orden de abundancia por:

**Granos sueltos de cuarzo:** semicristalinos a amarillentos con evidencias a colores de oxidación de grano fino a medio sub angulares a sub redondeados de moderado a mal escogidos muchos de los cuales se presentan fracturados. Asimismo se observan fragmentos líticos de rocas sedimentarias arenisca y lutitas así como nódulos de tamaño fino a muy fino de óxidos de posibles óxidos hierro (hematitas, limonitas o goetitas?) o siderita.

Por otro lado se observan fragmentos de pelecípodos de entre 2mm a 2cm de diámetro y gasterópodos 2 a 5mm de-diámetro-ocasionalmente-partidas (**Fotografía 6**).



Fotografía 6: Vista general de la muestra, granos de cuarzo flechas Verdes y fragmentos de concha anaranjado, Nódulos de oxido de hierro flechas amarillas

Apoyo técnico: Analista de Sedimentología Ing. Carlos Nava (PDVSA).

# Estudio de la Contaminación por Metales Pesados en Sedimentos en el Campo Urdaneta del Lago de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela.

## Anexo 9. Caracterización Sedimentológica de Sedimentos Superficiales, del Campo Urdaneta, Lago de Maracaibo. Muestra CU-7.



**PDVSA**

Gerencia de laboratorios y Nucléoteca  
Laboratorio Geológico de Occidente

### Caracterización Sedimentológica de Sedimentos Superficiales, del Campo Urdaneta, Lago de Maracaibo.

#### CU-7

Coordenadas UTM: N: 1.109.935.  
E: 177.325.

Batimetría: 25 Pies

La muestra analizada esta conformado en orden de abundancia por:

**Granos sueltos de cuarzo:** semicristalinos a amarillentos con evidencias a colores de oxidación de grano fino a medio sub angulares a sub redondeados de moderado a mal escogidos muchos de los cuales se presentan fracturados. Asimismo se observan fragmentos líticos de rocas sedimentarias arenisca y lutitas así como nódulos de tamaño fino a muy fino de óxidos de posibles óxidos hierro (hematitas, limonitas o goetitas?) o siderita.

Por otro lado se observan fragmentos de pelecípodos de entre 2mm a 2cm de diámetro y gasterópodos 2 a 5mm de-diámetro-ocasionalmente-partidas (**Fotografía 7**).



Fotografía 7: Vista general de la muestra, granos de cuarzo flechas Verdes y fragmentos de concha anaranjado,, Nódulos de oxido de hierro flechas amarillas

Apoyo técnico: Analista de Sedimentología Ing. Carlos Nava (PDVSA).

# Estudio de la Contaminación por Metales Pesados en Sedimentos en el Campo Urdaneta del Lago de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela.

## Anexo 10. Caracterización Sedimentológica de Sedimentos Superficiales, del Campo Urdaneta, Lago de Maracaibo. Muestra CU-8.



**PDVSA**

Gerencia de laboratorios y Nucléoteca  
Laboratorio Geológico de Occidente

### Caracterización Sedimentológica de Sedimentos Superficiales, del Campo Urdaneta, Lago de Maracaibo.

#### CU-8

Coordenadas UTM: N: 1.128.803  
E: 190.682

Batimetría: 25 Pies

La muestra analizada esta conformado en orden de abundancia por:

Arcilla color gris claro a beige 70 e ocasiones limosa con inclusiones de granos de cuarzo 30% semicristalino a amarillento de grano fino sub angulares a sub redondeados así mismo nódulos de óxidos de hierro de entre n 1 y 2mm (**Fotografía 8**).

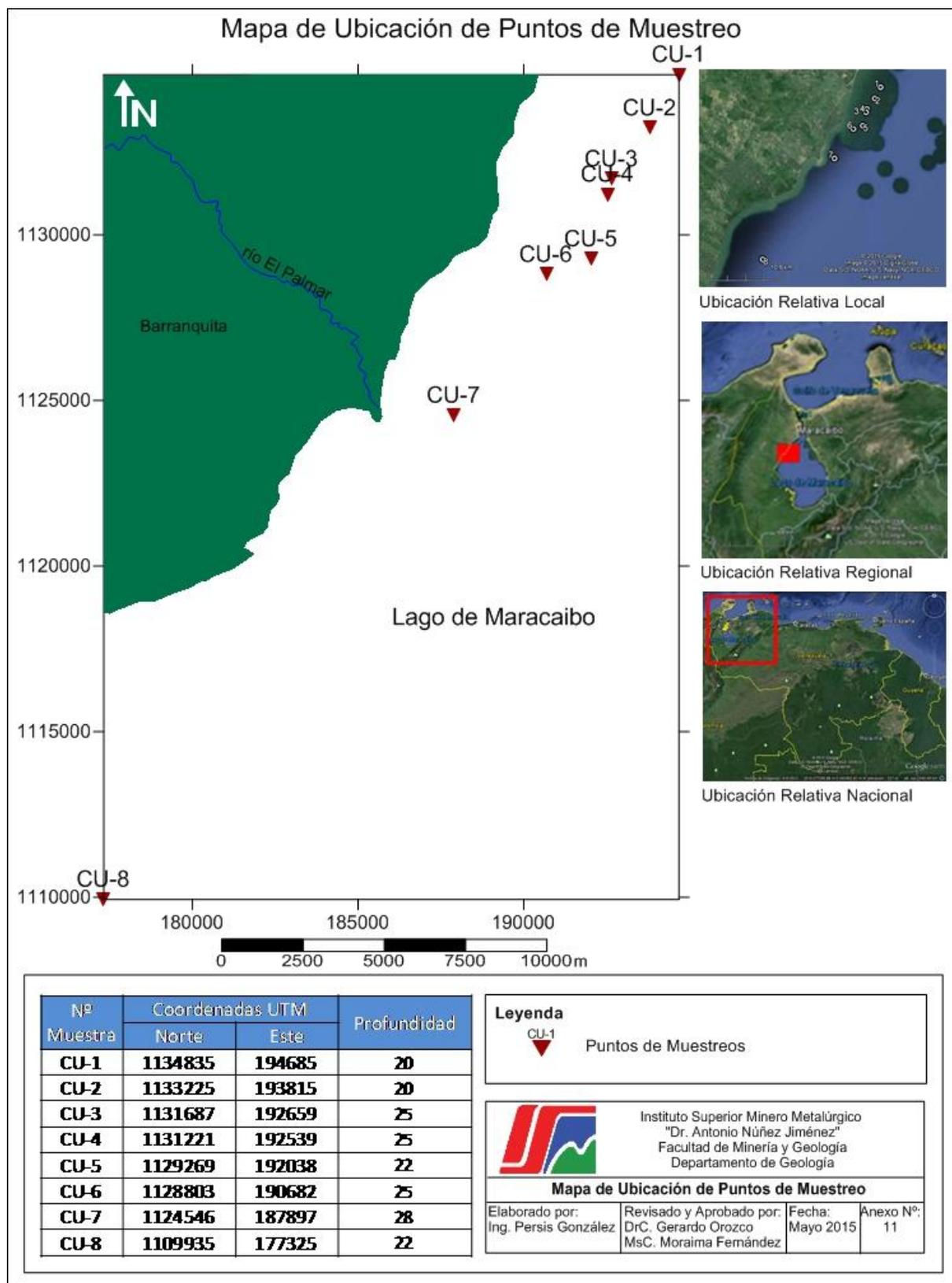


Fotografía 8: Vista general de la muestra, granos de cuarzo flechas Verdes y fragmentos de concha anaranjado, Nódulos de oxido de hierro flechas amarillas

Apoyo técnico: Analista de Sedimentología Ing. Carlos Nava (PDVSA).

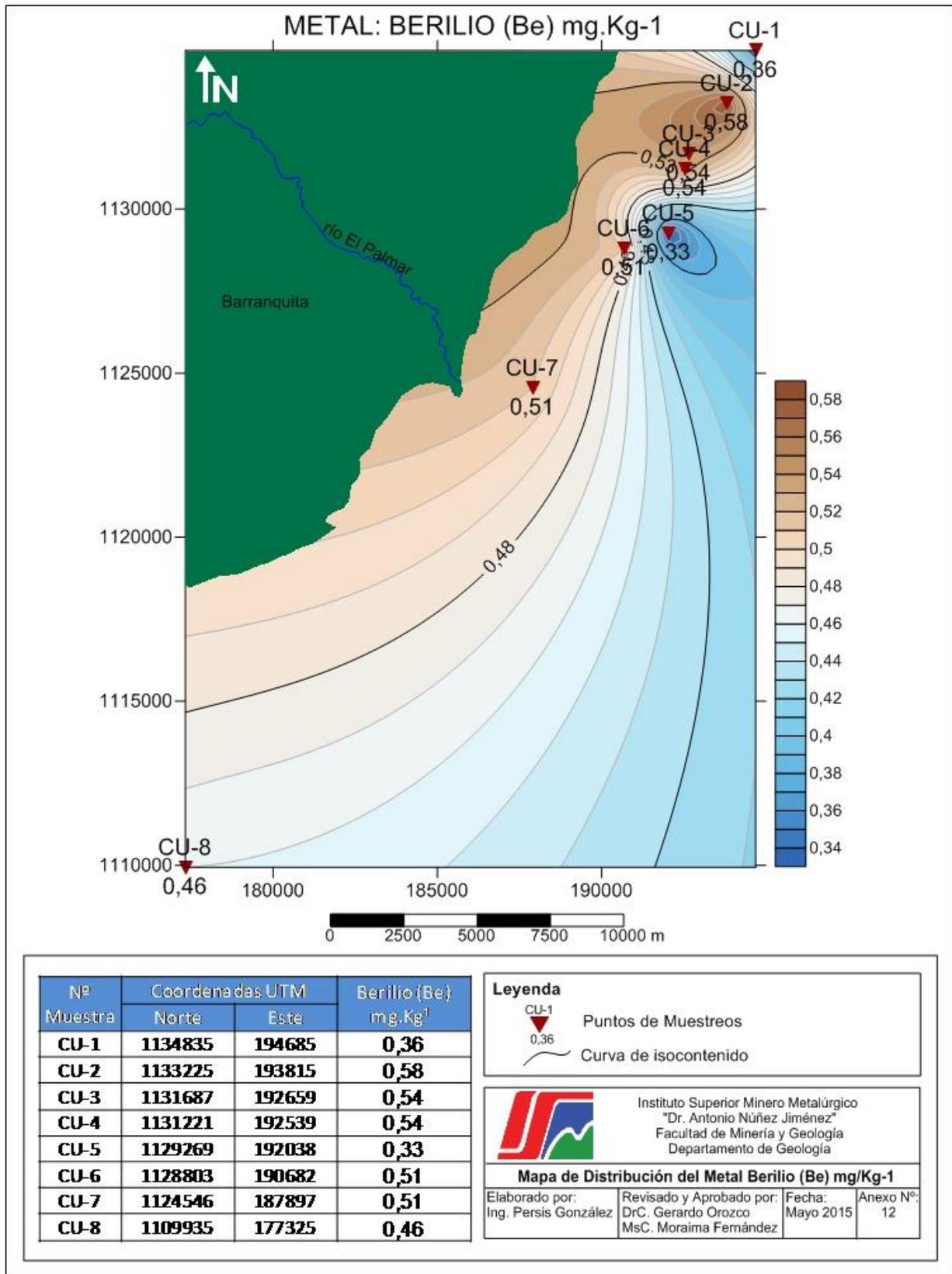
# Estudio de la Contaminación por Metales Pesados en Sedimentos en el Campo Urdaneta del Lago de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela.

## Anexo 11. Mapa de Ubicación de los Puntos de Muestreos



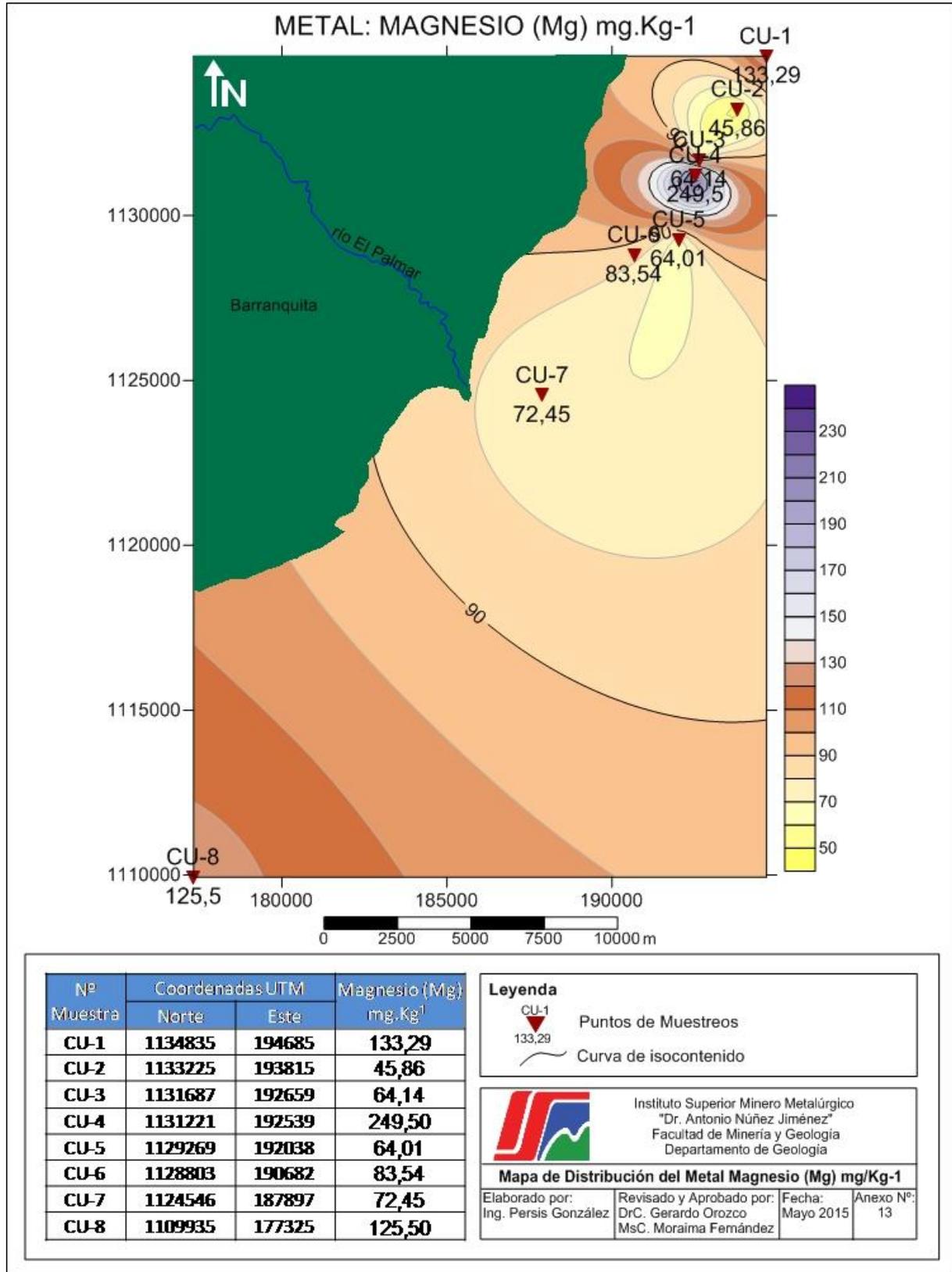
**Estudio de la Contaminación por Metales Pesados en Sedimentos en el Campo Urdaneta del Lago de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela.**

**Anexo 12. Mapa de Distribución del Metal Berilio (Be) mg. Kg-1**



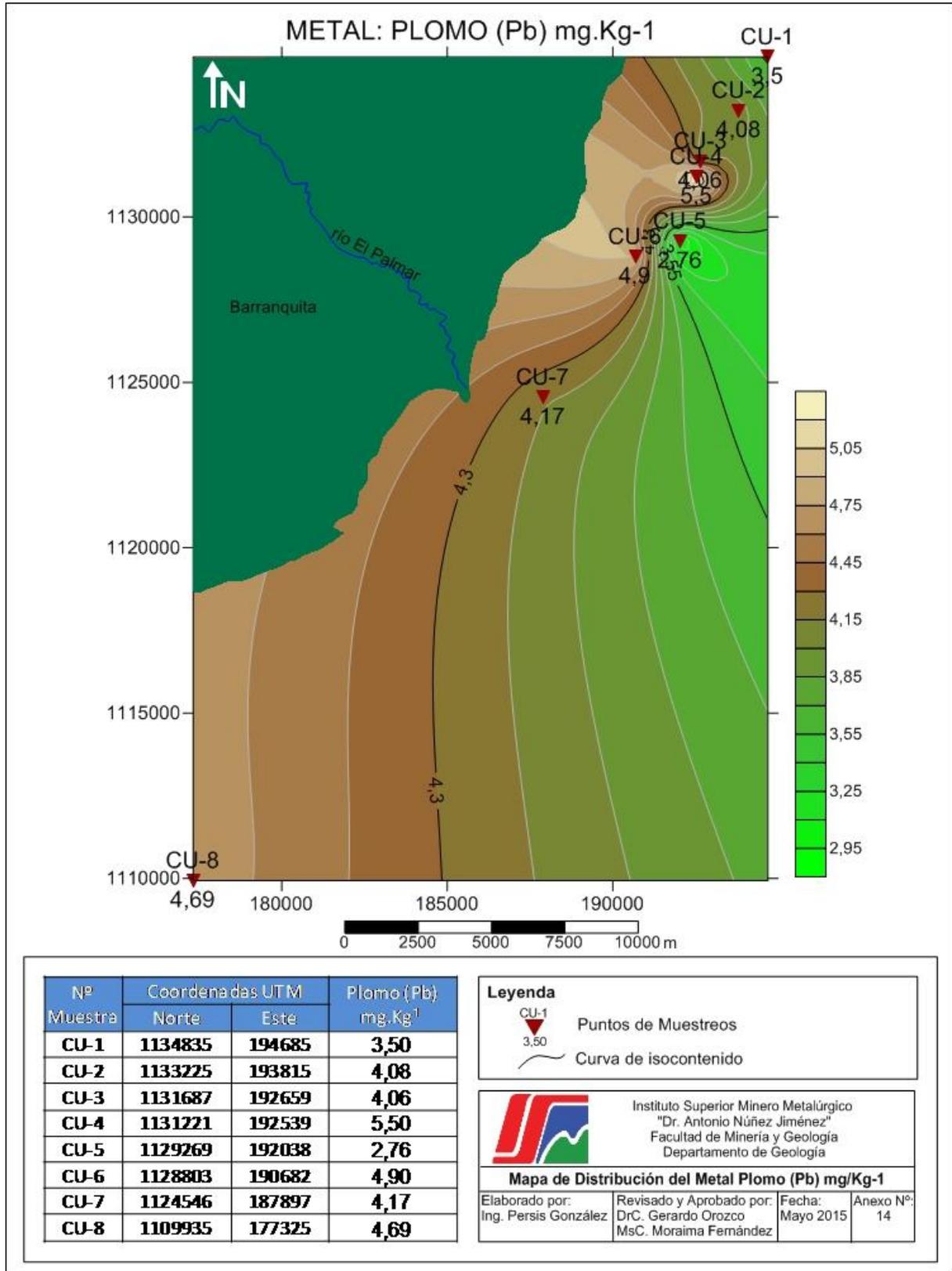
**Estudio de la Contaminación por Metales Pesados en Sedimentos en el Campo Urdaneta del Lago de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela.**

**Anexo 13. Mapa de Distribución del Metal Magnesio (Mg) mg. Kg-1**



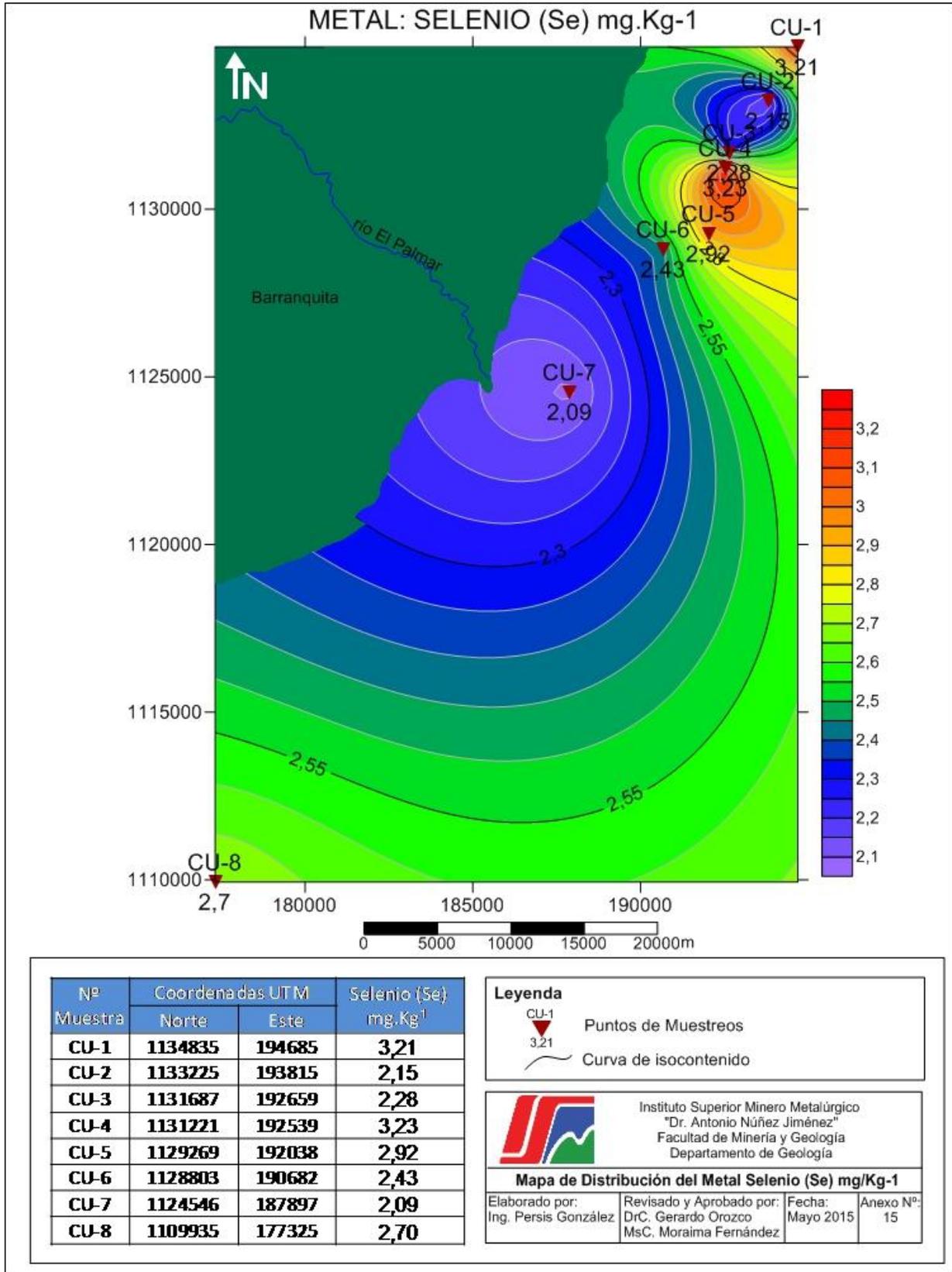
**Estudio de la Contaminación por Metales Pesados en Sedimentos en el Campo Urdaneta del Lago de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela.**

**Anexo 14. Mapa de Distribución del Metal Plomo (Pb) mg. Kg-1**



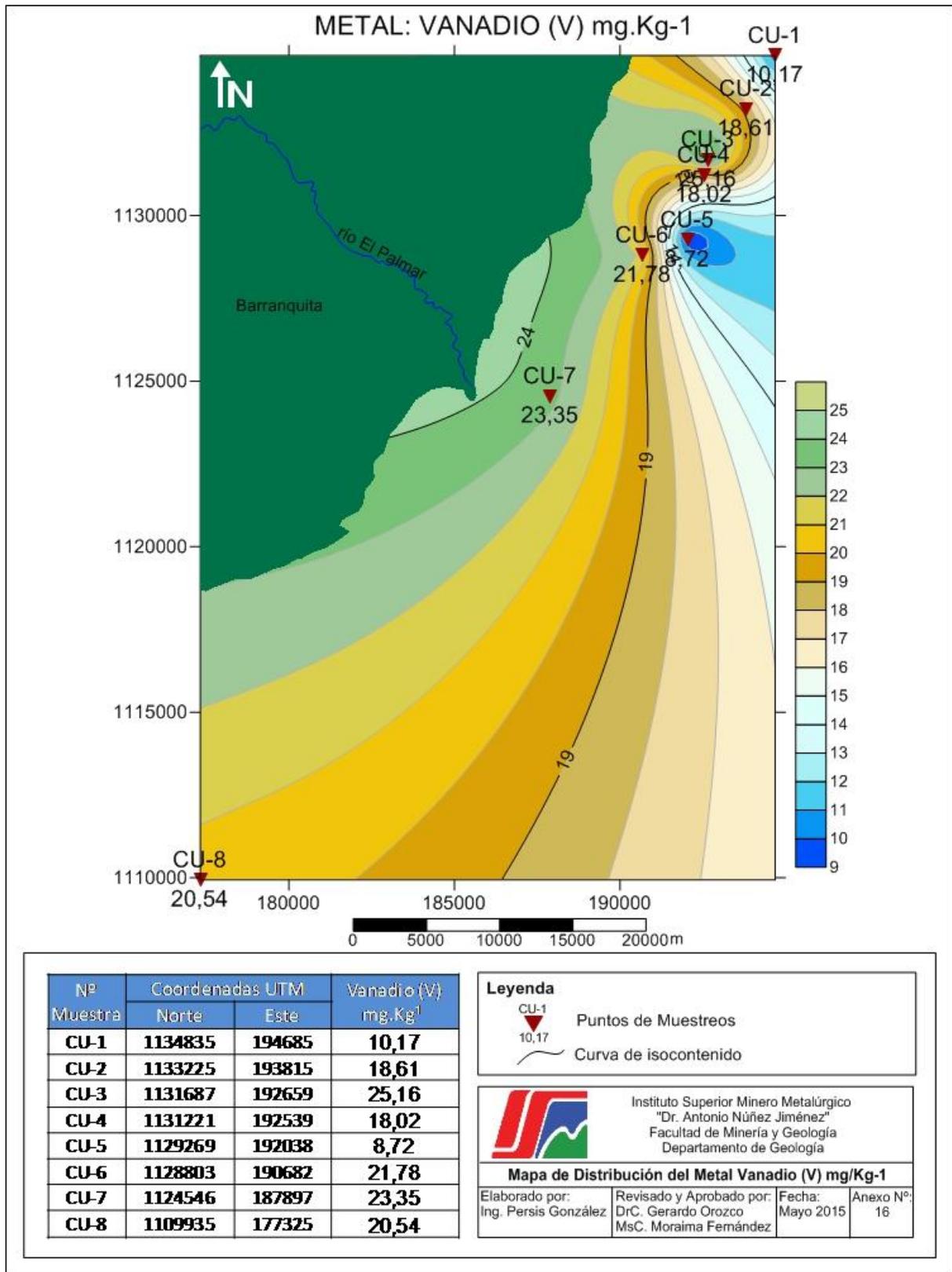
**Estudio de la Contaminación por Metales Pesados en Sedimentos en el Campo Urdaneta del Lago de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela.**

**Anexo 15. Mapa de Distribución del Metal Selenio (Se) mg. Kg-1**



**Estudio de la Contaminación por Metales Pesados en Sedimentos en el Campo Urdaneta del Lago de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela.**

**Anexo 16. Mapa de Distribución del Metal Vanadio (V) mg. Kg-1**



**Estudio de la Contaminación por Metales Pesados en Sedimentos en el Campo Urdaneta del Lago de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela.**

**Anexo 17. Mapa de Distribución del Metal Zinc (Zn) mg. Kg-1**

