

**REPUBLICA DE CUBA
MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALURGICO
“Dr. Antonio Núñez Jiménez”**



**INFLUENCIA DE LA CONTAMINACION POR METALES
PESADOS EN LA BAHIA DE MANZANILLO**

Tesis presentada en opción al Título Académico de Master en

**Protección del Medio Ambiente y los Georrecursos
Mención en Ciencias Ambientales**

Autor: Lic. Pilar Dania Amat Infante

Tutor: Dr. Allan Pierra Conde

Septiembre 2000

RESUMEN

En el presente trabajo se evalúan los niveles de contaminación por metales pesados en el tramo costero de la Bahía de Manzanillo comprendido desde el estero del río Felipe hasta el río Guá determinando las características espacio temporales y sus efectos acumulativos en la zona de referencia en sedimentos, ostiones y camarones.

Mediante un recorrido geoecológico se identificaron y caracterizaron diferentes geosistemas con diferentes características y comportamiento ante la contaminación así como con diferente grado de alteración, a su vez se confeccionó una matriz de causa - efecto en la que se evalúan los impactos identificados mediante la observación y las posibles causas que los originan. En la zona investigada fueron situadas siete estaciones de muestreo, donde se colectaron muestras de sedimentos de fondo y organismos. Se realizó el montaje del método analítico, se utilizó la Espectrofotometría de Absorción Atómica (E.A.A), con nebulización por llama; para la determinación de los elementos Plomo, Cobre, Cinc; y la generación de hidruros con atomización en celda de cuarzo para el Arsénico. Se observa un incremento progresivo de considerable magnitud en los niveles de Pb detectados en sedimentos y camarones respecto a estudios anteriores. Los contenidos de Cu y Zn se mantienen en los límites normales. Los contenidos hallados en particular para el Pb en sedimentos son muy elevados en la zona de la desembocadura del río Yara, así como en la zona costera cercana en la dirección del movimiento de las aguas. En el caso de los camarones el nivel de Pb encontrado es muy inferior al LMP fijado por la OMS para considerar las especies marinas aptas para el consumo. Los niveles hallados son superiores al LMP establecido, para que no ocurran afectaciones al metabolismo de las especies marinas Se determinó el índice de Geoacumulación así como el índice de Contaminación Urbano - Industrial lo que permite valorar el grado de afectación que presenta el ecosistema marino en general y su distribución espacial.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Planteamiento del Problema

La zona de la Bahía de Manzanillo es una zona de la plataforma insular rica por su diversidad biológica y de importancia económica por las especies existentes. El crecimiento de la actividad industrial y desarrollo urbano en la zona costera en los alrededores de la ciudad de Manzanillo en los últimos 20 años ha provocado un incremento paulatino de los niveles de fondo de los metales pesados en el ecosistema marino. Diferentes autores como Emilson y Tápanes (1971), Suárez et al (1977), Perigó et al (1983), han efectuado investigaciones en la zona desde diferentes puntos de vista contribuyendo al conocimiento del régimen abiótico del área.

En la zona se observa en los últimos diez años una disminución progresiva de los volúmenes de captura de organismos de la especie *Penaeus schmitti* (camarón blanco), la cual está entre las especies económicamente más importante a nivel mundial. Esta especie tienen la capacidad de tolerar amplias variaciones de los parámetros abióticos (Cun, 1982). Esta situación inicialmente fue interpretada como resultado de la disminución de los barcos camaroneros disponibles para la pesca, falta de combustible, y otra afectaciones asociadas a las dificultades económicas de los primeros años del período especial.

Si analizamos el período desde 1977 hasta 1999 se observa un decrecimiento en los volúmenes de captura de 1 791,6 t a 500 t . Hay que tener en cuenta que simultáneamente se produjo una disminución del número de embarcaciones disponibles para la pesca de 7 845 a 4 568, no obstante es significativo que en este período el promedio de captura por embarcación descendió drásticamente de 0,24 t a 0,14 t , además se ha producido el desplazamiento de la zona de pesca hacia la provincia de Camagüey lo cual sugiere un posible incremento de la contaminación de las aguas de la bahía que provoque en alguna medida interferencia en el hábitat del camarón que lo obligue a buscar refugio en zonas de mejores condiciones para

su desarrollo, sin dejar de tener en cuenta la influencia del alto represamiento de los ríos en particular del Cauto lo cual influye en el aporte de nutrientes necesarios para esta especie y que requiere de un estudio que rebasa los marcos del presente trabajo.

Como política de estos estudios y en el marco del programa territorial de Ciencia y Técnica de la Provincia Granma se llevo a cabo un crucero en el cual se muestrearon sedimentos, ostiones y camarones con vista a conocer, el estado de los niveles metálicos en los mismos.

Objetivo general

Evaluar los niveles de contaminación por metales pesados en el tramo costero comprendido desde el estero del río Felipe hasta el río Guá determinando las características espacio temporales y sus efectos acumulativos en la zona de referencia en sedimentos, ostiones y camarones.

Objetivos específicos

1. Determinar los contenidos de Pb, Cu, Zn y As en las especies: Camarón Blanco *Penaeus schmitti*, Ostión de Mangle *Crassotea rhizophora* así como en sedimentos de fondo y comparar los resultados obtenidos con parámetros de referencia.
2. Determinar las características espacio-temporales de la contaminación en los medios muestreados evaluando sus efectos acumulativos.
3. Caracterizar los geosistemas presentes en la región de estudio.

4. Identificar los impactos fundamentales que se han producido sobre el eco sistema marino.
5. Determinar el índice de geoacumulación y el índice de contaminación urbano industrial en la región de estudio.

Problema

¿ Que niveles de concentración de Pb, Zn, Cu y As existen en la zona comprendida desde el estero del río Felipe hasta el río Guá en sedimentos camarones y ostiones a partir de la incorporación al río Yara a través del sistema pluvial de residuales de la fábrica de Acumuladores de Manzanillo XX Aniversario y otras posibles fuentes?

Hipótesis

- Se han incrementado los niveles de concentración de Pb, Zn, Cu y As en la zona desde el estero del río Felipe hasta el río Guá por la incorporación a través del sistema pluvial de residuales de la Fábrica de Acumuladores XX Aniversario de Manzanillo al río Yara y de este a la zona costera de referencia.
- Los niveles de acumulación de metales pesados se comportan según registra la literatura ($Zn > Cu > Pb$) en los medios muestreados en la zona objeto de estudio.
- Los niveles de contaminación por metales pesados en la zona constituyen la causa fundamental de la disminución de la población de camarón blanco.

1.2 Características generales de la contaminación del medio marino

De todos los dominios naturales que pueden ser afectados por los procesos de contaminación, los océanos han sido quizás los últimos en llamar la atención y despertar inquietudes. Sus enormes dimensiones, su capacidad de depuración natural por medio de la acción de sus sales, de la luz solar, del yodo y de los seres vivos que los pueblan para los que directa o indirectamente las bacterias y microbios constituyen un excelente alimento hicieron que se les atribuyera un poder de autopurificación (biológica y química) suficiente como para hacerlos invulnerables a toda clase de contaminación y con capacidad para enfrentarse con éxito con cualquier tipo de desecho procedente de tierra firme.

Para que la humanidad tomara conciencia de los peligros a que esta sometido el mar fue necesario que ocurrieran una serie de catástrofes relacionadas fundamentalmente con el derrame de petróleo que ha ocasionado la muerte masiva de millones de organismos marinos. En 1967 el petrolero Torrey Canyon sufre un accidente y vierte una gran cantidad de petróleo en las playas del sur de Inglaterra desde entonces la contaminación por petróleo se convierte en algo común. En los últimos años se destaca entre los mayores desastres el del Exxon Valdez, Alaska en 1989. Amplia es a su vez la historia de la contaminación por metales pesados en sistemas acuáticos, el primer caso de envenenamiento masivo por el consumo de peces contaminados con mercurio se produjo en la bahía de Minamata, Japón en 1953, también se destaca la muerte de cientos de peces y otras especies marinas debido al envenenamiento por cobre en las costas de Holanda en 1972 (Forstner y Witmann, 1979).

La contaminación causa la destrucción del capital biológico del mar puesto que no solo destruye la flora y la fauna sino que impide su recuperación. Las aguas marinas contienen en solución gases y materias orgánicas y minerales que contribuyen al desarrollo de la vida animal y vegetal en el mar, los innumerables

millones de seres microscópicos que en él habitan influyen a su vez en la composición química de los océanos y sirve de alimento a los peces, por su parte la flora acuática actúa mediante la acción solar sobre los elementos minerales transformándolos en elementos orgánicos carbonosos o nitrogenados indispensables para el desarrollo de la fauna. La contaminación destruye esta simbiosis natural agua-elementos-flora o fauna y su acción es más devastadora cuando el mar pierde su riqueza en plancton a su vez la contaminación en los ríos va transformando los estuarios y desembocaduras fluviales en inmensas alcantarillas en cuyas inmediaciones desaparece la vida.

El peligro más grave sin embargo es el daño a la salud humana, bien por contacto directo de la piel con los contaminantes o indirectamente a través de la cadena alimentaria, la causa de estos efectos perjudiciales radica en que se ha demostrado que los organismos marinos tienen la capacidad de acumular dosis muy elevadas de las sustancias en suspensión en el agua por muy diluidas que estén.

Una de las formas de contaminación del mar es la química, la cual es causada por la actividad antropogénica, que aunque actúa de una forma indirecta en el proceso de contaminación progresiva de las zonas costeras no es por ello menos inquietante.

Es importante conocer que para definir y decidir acerca de las tecnologías de control químico, hay que tener un conocimiento primario del comportamiento químico de los contaminantes, y que ambas cuestiones no pueden analizarse aisladas de las llamadas "Leyes Naturales de los Residuos Peligrosos", (Tibodeaux, 1996) que se enunciaron de la siguiente forma:

Primera Ley: *"Existo, por tanto contaminao"*.

Parte de que los procesos más sencillos relacionados con la existencia humana no escapan a la contaminación, tales como: procesos de alimentación, fabricación

de productos químicos y transformaciones de materiales. Estos producen residuos dañinos, es decir, la propia existencia humana genera residuales peligrosos.

La transformación de una materia prima en un producto final, salvo raras excepciones, involucra la creación de un residual. Haciendo un paralelo con relación a la primera Ley de la Termodinámica: Toda la energía térmica no puede ser convertida en trabajo útil, pues siempre una cierta cantidad de energía térmica residual es transferida al ambiente. Por analogía podemos plantear que la conversión de materias primas en productos útiles, lleva implícito la creación de residuales que son retornados al ambiente. La Primera Ley de la Termodinámica soporta la primera Ley de los Residuales Peligrosos.

Segunda Ley: “ *La recirculación completa de los residuos es imposible*”.

Como causa de la **Primera ley**, muchos residuales pueden ser creados. Para evitar la contaminación del aire, el agua y el suelo, deben procesarse los residuales, y recircularlos es una opción. El propósito de la recirculación tiene como principal fin la eliminación de estos materiales, lo que es análogo al propósito de una máquina de movimiento perpetuo. Esta máquina violaría la Segunda Ley de la Termodinámica y hasta la fecha esto no ha ocurrido. Es por ello, que la recirculación, hay que verla como un aspecto de minimización más que de eliminación.

Tercera Ley: “*La disposición adecuada de un residual peligroso conlleva a convertir sustancias ofensivas en materiales compatibles ambientalmente*”.

Convertir sustancias compatibles ambientalmente significa que las sustancias sean afines a los diferentes compartimentos ambientales.

Cuarta Ley: “*Las fugas pequeñas de residuales son inevitables y aceptables*”.

Los ecosistemas pueden manejar pequeñas fugas o vertimientos de sustancias peligrosas, sin afectar localmente o globalmente, esto es, que las fuerzas o vertimientos deben tener un valor mínimo que pueda ser definido.

Quinta Ley: *“La naturaleza fija las normas a los efectos acumulativos, impacto ambiental que es el resultado de acciones que se suman a otras del pasado, el presente y el futuro previsible, causado por múltiples actividades humanas y/o sucesos naturales que se repiten u ocurren en combinación”.*

Los impactos acumulativos conducen a factores regionales de variación ambiental, por lo general de empeoramiento. El desarrollo sostenible no se puede lograr si los efectos acumulativos no se controlan, pues los organismos vivos (plantas, animales, hombres) absorben en su organismo cantidades excesivas de elementos, provocando transformaciones principalmente en los más sensibles

La falta de instalaciones de depuración de las aguas residuales industriales y de sistemas de canalización subterránea para la evacuación de aguas de uso doméstico ha dado lugar a que en muchas regiones las poblaciones costeras encuentren más cómodo conducir directamente al mar las tuberías de desagüe.

En épocas anteriores esto no constituía un grave problema por la escasa concentración demográfica existente en las zonas del litoral, en la actualidad el desarrollo industrial y el crecimiento demográfico han agravado esta situación. Las estadísticas muestran que en los últimos cincuenta años, la industria ha arrojado al ambiente natural más desechos que los vertidos en los veinte siglos precedentes.

Tanto la industria agrícola como la química textil o metalúrgica consumen grandes cantidades de agua que evacuan después cargadas de materias tóxicas en solución llevando consigo compuestos químicos: ácidos, básicos o tóxicos.

Tanto en el caso de las aguas industriales como de los residuales domésticos el factor contaminante del litoral proviene de los ríos que en el transcurso de su recorrido acumulan una gran cantidad de materias nocivas que arrastran hasta el

mar causando en éste fenómenos de contaminación química, bacteriológica y orgánica.

Los residuales industriales son el tipo de contaminantes que más llama la atención en nuestro país por el creciente desarrollo de la industria que hace que cada día se introduzcan en mayor escala en el mar desechos provenientes de la misma.

Dentro de la categoría residuales industriales se incluyen todos aquellos desechos que provengan del resultado de un proceso industrial, los cuales están constituidos por todas las materias sobrantes sólidas o líquidas y de diversa naturaleza química de las distintas etapas por las que atraviesa la actividad industrial más el gran volumen de agua que la misma emplea.

Existen tres elementos fundamentales que definen su carácter como contaminantes: la alta concentración de compuestos orgánicos por lo general provenientes de la materia prima original, la presencia de muchas sustancias químicas que pueden ser tóxicas y la alta concentración de partículas suspendidas en las aguas de desecho.

De estos elementos las sustancias tóxicas dependiendo de la concentración en que se encuentren o de su toxicidad en particular pueden provocar serios efectos que van desde interferencias en los procesos vitales de plantas y animales hasta la total eliminación de la vida marina.

La entrada de un agente contaminante en el medio marino es causante de dos efectos, uno que ocurre inmediatamente y se manifiesta en forma de cambios en las propiedades físico químicas de las aguas receptoras y otro que ocurre a largo plazo por la sedimentación de estas partículas en el fondo marino cuya alteración puede traer graves problemas al modificarse sus características químicas, físicas ó biológicas (Herrera, 1987).

Ostras, almejas, camarones langostas y centenares de especies marinas se crían en los estuarios, esos lugares en que se juntan los océanos y los ríos del mundo formando bahías, marismas y fiordos. Con una rica alimentación a su alcance y perseguidos por voraces depredadores marinos buscan la protección de las aguas bajo el impenetrable tejido del mangle o de las zonas bajas donde las especies ya desarrolladas no acostumbran a vivir pero hay una perspectiva oscura que amenaza esta vida y en muchos lugares la ha hecho desaparecer se llama, contaminación.

Gran parte de la humanidad vive al lado o cerca del mar y existe la tendencia de considerar los estuarios y los ríos solo en función de las necesidades humanas, como puertos, canales de navegación, lugares de desagüe o como terrenos recuperables para la construcción lo que puede provocar una verdadera contradicción entre la geografía humana y la natural. Numerosas bahías del mundo niegan ya casi toda forma de vida animal sobreviviendo solo una que otra especie de gran poder de adaptación.

Aunque en menor escala en Cuba el problema de la contaminación de las aguas ha tenido sus consecuencias, en la bahía de La Habana por ejemplo sólo puede ser capturado el sábalo especie de gran adaptación, también muestran alto grado de contaminación las bahías de Cienfuegos y Cárdenas.

Los organismos y el gobierno a sus distintos niveles trabajan muy seriamente en la solución de los problemas originados por la contaminación, pues de mantenerse se pone en riesgo la perspectiva de un crecimiento sostenido de la producción pesquera en las aguas nacionales, siendo éste un objetivo de la política trazada por la dirección del país encaminado a mejorar el abastecimiento de pescado y otros productos del mar al consumo nacional e incrementar las exportaciones de productos pesqueros que representan una fuente de obtención de divisas para el país (Morales 1984).

En nuestro país existen diferentes planes y proyectos que se ejecutan en función de garantizar la protección de las bahías y zonas costeras en general, al respecto se encuentra en funcionamiento el proyecto para la Protección de la Bahía de la Habana y Santiago, así como el Plan de Manejo Integrado de zonas costeras en Cienfuegos.

La contaminación afecta más directamente aquellas especies que tienen su ciclo de vida asociados a los sistemas lacunares, los esteros, las bahías y la zona costera en general y como es natural a los que habitan en los ríos y embalses por ser éstos lugares generalmente los receptores inmediatos de las descargas de los contaminantes. Entre estas especies se encuentra el ostión y el camarón. En la actualidad los organismos acuáticos en particular los del Bentos son utilizados como bioindicadores de la contaminación del mar. Según (Georges et al, 1993) se consideran bioindicadores a organismos que mediante variaciones en su metabolismo, en sentido amplio, reaccionan ante las sustancias contaminantes ó bien las acumulan. Los organismos indicadores adecuados no sólo reaccionan ante la suma de los parámetros presentes sino que integran los complicados efectos sinérgicos relacionándolos con las condiciones naturales locales. Los bioindicadores representan el complejo efecto de las sustancias contaminantes mejor que los métodos de medición técnicos ya que dentro de un límite racional se pueden sacar conclusiones por analogías sobre el peligro para otros organismos.

Los distintos contaminantes ejercen variados efectos sobre los organismos acuáticos vivientes y la pesca. Estos efectos varían en dependencia de la naturaleza física o química del compuesto, peso, temperatura, solubilidad, toxicidad entre otros, la cantidad o dosis que se pone en contacto con el organismo, es decir su concentración que puede o no ser letal, la forma en que entra en este, ya sea por vía oral o superficial y la presencia de otras sustancias que puedan incrementar o disminuir sus efectos. En la Fig. 1.1. se observa el efecto que ejerce un contaminante sobre un organismo en dependencia de la dosis a que halla sido expuesto.

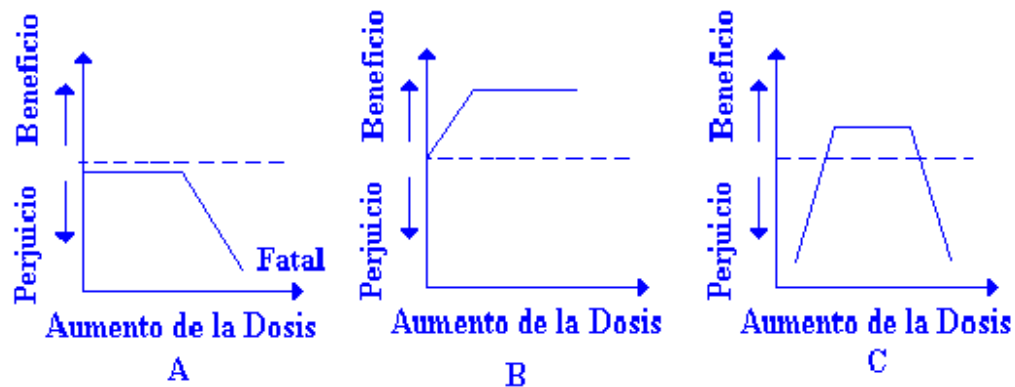


Fig. 1.1 Curva de dosis respuesta para diferentes tipos de elementos.

A: Tóxico a altas concentraciones. A medida que aumenta la dosis, aumenta el perjuicio hasta llegar a ser fatal.

B: Elemento beneficioso. Al aumentar la dosis aumenta su efecto, llegando a estabilizarse.

C: Elemento esencial, se requiere a niveles de trazas, tóxico en altas concentraciones. A partir de una dosis determinada se comporta como A. Un exceso es perjudicial y si está por defecto también.

El vertimiento de algunas sustancias químicas consideradas como tóxicas y su acumulación en el agua, en los sedimentos y en los organismos acuáticos puede ser la ruina de la pesquería en un área pues está prohibida la comercialización y el consumo de especies con concentraciones de dichas sustancias superiores a los límites admisibles para la salud

Se ha comprobado que los contaminantes en concentraciones que no provoquen la muerte pueden sin embargo provocar cambios en la estructura normal de migración de algunas especies variando sus características. Esto puede resultar muy dañino ya que las migraciones ocurren fundamentalmente con el objetivo de buscar alimentos, reproducirse o protegerse aspectos claves en la supervivencia de cualquier especie.

Una de las consecuencias del deterioro del medio acuático por la contaminación es la afectación al ciclo de vida de las especies, un factor adicional como la presencia de contaminantes al actuar sobre los huevos, larvas o juveniles en desarrollo pueden provocar que no sobreviva el número de ejemplares suficiente para mantener la población y ésta se extinga.

Algunos crustáceos son capaces de desovar entre 150 000 y 1 500 000 huevos durante la época de la reproducción pero su alta fertilidad puede verse reducida ilimitadamente como consecuencia de la contaminación poniendo así en peligro la existencia de la especie.

Procesos fisiológicos importantes pueden ser interrumpidos sin que necesariamente se produzca la muerte. Las mortandades masivas de organismos de la especie *Crassotea rhizophora* (ostión de mangle) en varios lugares y otros trastornos que lo azotan como la escasez de fijación de larvas y el crecimiento retardado de los animales que lo logran pueden tener explicación en estos fenómenos.

En nuestro país la desaparición de algunas especies comerciales de ciertas zonas tradicionales de pesca en la plataforma se asocia al deterioro a que es sometido el hábitat en estos lugares, provocando caídas bruscas de los volúmenes de captura y encareciendo las operaciones de pesca al tener que explotar zonas mas alejadas y en condiciones más difíciles.

A pesar de las grandes riquezas que ellos atesoran y a que dan origen y de la amplia área que cubren sobre la tierra (casi 2 millones de km cuadrados) el estudio de las plataformas marinas tanto continentales como insulares, así como de los ríos y estuarios ha sido tema de poco interés hasta fecha muy reciente.

1.3 Características generales de los sistemas estuarinos

Un estuario es un sistema hidrográfico semicerrado que tiene una conexión libre con el mar abierto y en el cual el agua del mar se encuentra apreciablemente diluida con agua dulce proveniente de los ríos ó de los escurrimientos de tierra firme (Tápanes, 1975). Debido a las similitudes en los procesos fisicoquímicos así como a las técnicas empleadas en su estudio, las investigaciones estuarinas incluyen a veces ciertas aguas costeras que propiamente definidas no pueden ser consideradas como estuarios. Los estuarios pueden ser clasificados según diferentes criterios, ninguno de los cuales está hoy universalmente aceptado .

El agua está compuesta por dos capas en la superior de las cuales hay un flujo neto hacia el mar y en la inferior hacia el interior del estuario, separadas ambas por una superficie que coincide casi siempre con la haloclina y que se encuentra situada más profundamente hacia la orilla derecha en el hemisferio norte debido al efecto de las fuerzas de Coriolis.

Las corrientes en el estuario están relacionadas con la marea y son por tanto de carácter oscilatorio pero teniendo superpuesto un flujo que se debe a la estructura dinámica del estuario siendo el volumen del flujo (de la capa superior hacia el mar) mayor que el de la capa inferior hacia el interior.

Una característica esencial de los estuarios es la mezcla en mayor o menor medida de agua de mar con agua dulce proveniente del escurrimiento de tierra firme produciendo esta mezcla una variación tanto vertical como horizontal del contenido en sales de las aguas. Según sus características geomorfológicas se dividen en:

1 - Estuarios de llanos costeros

Se forman por la inundación del valle de un antiguo río, o por el aumento del nivel del mar, por lo que usualmente tienen un río que los alimenta con agua dulce, siendo

alargados y con orillas dendríticas de aguas relativamente poco profundas en las que existen importantes recursos pesqueros

2 - Estuarios de cuenca profunda

Corresponden a los fiordos, son de forma alargada y tienen una boca relativamente poco profunda.

3 - Estuarios de barra

Son el resultado de la formación de una barra frente a una costa baja y de poca profundidad por lo que se comunica con el mar por un canal muy angosto. Son característicos de regiones muy áridas

El conocimiento de la circulación de los estuarios y zonas costeras tiene importantes implicaciones en el estudio y control de la contaminación. El total del volumen contaminado participa de los movimientos oscilatorios de la marea así como de los movimientos de la circulación del estuario y es dispersado en los procesos de difusión turbulenta. Finalmente el intercambio de agua con el mar exterior lleva al contaminante fuera de dicho estuario.

Cuando el contaminante es menos denso que el agua del estuario (flujo hipopical se contrae inicialmente en una capa superficial de poco espesor conllevando esto a que la dilución inicial así como su difusión se vean reducidas, el paso al mar exterior se ve condicionado por la velocidad de circulación superficial. Si el contaminante es más denso que el agua se produce poca dilución inicial y una difusión posterior reducida ya que tiende a concentrarse en una capa cerca del fondo ó en el mismo fondo para las aguas residuales industriales.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 Estado actual de los estudios de contaminación por metales pesados en el medio marino

A continuación se analizan algunos trabajos que contribuyeron científica y metodológicamente a la realización de nuestro estudio:

En estudios realizados por Villanuevas et al (1988) en México se plantea que: La contaminación por metales pesados esta asociada generalmente con las descargas municipales y con los procesos industriales que van directamente hacia los ríos estuarios y al aire sin embargo se relaciona también con la lixiviación de desechos sólidos y por intemperismo de las rocas que aportan materiales al sistema fluvial. Debido a la capacidad que tienen los metales pesados para formar complejos con la materia orgánica tienden a fijarse en los tejidos de los organismos expuestos. La evaluación del contenido de metales pesados en los organismos acuáticos se realiza especialmente entre los de hábitos bentónico y filtradores empleándose como indicadores de la contaminación. Esta evaluación es posible ya que las tasas de absorción y excreción les permite retener en sus cuerpos concentraciones de contaminantes proporcionalmente mayores a las del medio que los rodea.

La disponibilidad que tienen los metales pesados para asociarse a la biota dependen de la naturaleza física y química de los elementos, así como de la calidad del agua. En estudios de campo han considerado que la bioacumulación de los metales pesados, varía dentro de un rango de parámetros incluyendo tipos de organismos, tiempo, exposición, salinidad y otros. De esto se deriva el peligro que existe en las zonas costeras dada la dinámica de las tasas de renovación de nutrientes, al permitir que los metales pesados queden atrapados en los sedimentos que actúan como reservorios naturales de los contaminantes y se

hacen disponible para los organismos que lo acumulan en sus tejidos, sufriendo de esta forma sus efectos tóxicos

Los autores exponen el método para la preparación de las muestras así como el método de análisis. El material empleado se lavó con HNO₃ 3N y HCl 3N durante 5 días permaneciendo en cada uno de los ácidos las soluciones obtenidas fueron guardadas en recipientes de plástico para su posterior lectura por Espectrofotometría de Absorción Atómica (EAA). Se obtuvo 1g de tejido de las diferentes especies de organismos, se liofilizó y se sometió a digestiones con HNO₃ concentrado grado reactivo en cápsulas de porcelanas.

Paez - Ozuna et al (1988) determinaron la concentración de metales pesados en organismos marinos en Veracruz, México, para ello investigaron el efecto de la composición de la mezcla ácida y la cantidad de muestra digerida sobre la eficacia de la extracción de metales pesados en cuatro organismos marinos para su posterior análisis por EAA.

Los autores explican el método para coleccionar las muestras así como la marcha analítica. Se utilizaron muestras homogeneizadas de tejidos de ostiones coleccionados en varios periodos de muestreo, secados previamente (90 ± 10^0) molido en mortero de teflón y tamizado por una malla de nylon de 0,2 mm.

Todo el material empleado fue previamente lavado y enjuagado en una mezcla de ácido clorhídrico y nítrico. El procedimiento de la digestión consistió en añadir el ácido a una porción alícuota de la muestra homogeneizada aproximadamente de 1g de tejido molido la muestra se sometió aun baño sónico y posteriormente calentada hasta sequedad a (120 °C) posteriormente se agregó HNO₃ caliente para disolver. El sobrenadante con los enjuagues se llevo al espectrofotómetro de absorción atómica y se efectuó la lectura por aspiración directa en la llama. Los resultados obtenidos se comparan con los limites reportados por la literatura, entre los organismos estudiados se encuentra el ostión de mangle.

El estudio realizado por Villanuevas y Botello (1992) en la zona costera del Golfo de México constituye una revisión bibliográfica acerca de la concentración de algunos metales pesados no esenciales para la vida entre ellos el Pb en agua sedimentos y ostiones en ríos y estuarios. Se concluye que el método mas utilizado es la EAA con variantes en la digestión ácida de las muestras en las que se utilizaron diferentes concentraciones de ácidos clorhídrico, nítrico y perclórico y que los metales que se encuentran disponibles en el agua de mar son bioacumulados a través de la cadena alimentaria por lo que se hace imprescindible el monitoreo de las lagunas costeras y estuarios ya que son el receptáculo más importante de los desechos líquidos y antropogénicos. También se plantea la teoría de que el plomo puede precipitar como carbonato tornándose inerte geoquímicamente y por lo tanto muy difícil de incorporarse a los tejidos de los organismos acuáticos, ésta teoría no está acorde con los resultados registrados por la literatura consultada ni con los obtenidos en el presente trabajo.

Ávila et al (1993) estudiaron la concentración de metales pesados en ostiones del canal El Chijol, México, en este trabajo se determinan el Pb, Zn, Cu en sedimentos, y ostiones. Se realiza un análisis amplio acerca de cómo ocurre la bioacumulación de los metales en los bivalvos y se comparan los resultados obtenidos en diferentes regiones muy contaminadas de México.

El Zn es el metal que más rápidamente se distribuye entre los organismos bentónicos, principalmente en los ostiones, interviniendo en sus reacciones bioquímicas sobre todo en los organismos enzimáticos. Se demostró que los ostiones tienden a acumular el Zn cuyo balance geoquímico es de importancia para el ecosistema estuarino.

Los moluscos por tener hábitos filtradores, ingieren material del agua y sedimentos haciendo que se acumulen elevadas concentraciones de contaminantes en sus tejidos.

En los ambientes acuáticos los moluscos son considerados monitores del cambio causado por la contaminación ambiental, dentro de este grupo los bivalvos son estimados como los mejores bioindicadores no solo por su forma de vida y hábitos tróficos sino también por ser una fuente importante de alimentos, tal es la situación de los ostiones. Los autores anteriormente señalados consideran que la estimación de las concentraciones naturales y de los aportes antropogénicos de los metales pesados permite evaluar el nivel en que se encuentra afectada una zona. Para tal propósito es indispensable analizar entre otros factores los sedimentos y los organismos especialmente los de hábitos bentónicos y filtradores los cuales han sido extensamente empleados como indicadores de contaminación.

Para poder evaluar el fenómeno de bioacumulación en el ostión es necesario conocer las vías a través de las cuales el contaminante penetra al organismo. Esta bioacumulación normalmente está regida por niveles de captación del metal a través del agua, alimento y sedimento con los cuales es posible establecer un modelo que permita conocer la interacción del metal entre el organismo y el ambiente que lo rodea. Ciertas formas químicas de los metales son favorables para la bioacumulación en los bivalvos, dependiendo del tipo de compuesto al que esté unido, éstos pueden favorecer en algunos casos su incorporación a los organismos. Diversos autores han descrito una aparente competencia entre varios metales en el metabolismo de los bivalvos, lo cual indica que estos, dependiendo de su fisiología individual tienen un número dado de sitios disponibles para la fijación de los metales tales como sustitución de iones por competencia y sitios proteicos.

Se comparan los resultados obtenidos con trabajos realizados por WHO (1971) se observa que los metales esenciales (Cu y Zn) presentan valores altos en relación con los no esenciales (Pb y V). Estos datos son congruentes con las características de esencialidad de estos elementos los cuales al ser necesarios para el metabolismo del ostión son por consecuencia bioacumulados en grandes cantidades lo cual no ocurre con los no esenciales. Se plantea la siguiente relación entre la esencialidad y la toxicidad de estos metales para la fauna.

Tabla # 1 Relación entre esencialidad y toxicidad de algunos metales para la fauna.

	ESENCIALIDAD	TOXICIDAD
Cu	Si	Moderada
Pb	No	Alta
Zn	Si	Baja

La toxicidad del Pb se considera alta por su acumulación en la cadena trófica. Este artículo constituye la fundamentación teórica principal acerca de la imposibilidad de utilizar el ostión de mangle como bioindicador de la contaminación por Pb, por ser éste metal no esencial para su metabolismo lo cual coincide con los resultados obtenidos en el presente trabajo.

Herrera (1987) ofrece una clasificación del bentos según composición trófica, así como se explica la división de los organismos marinos en plancton, necton y bentos y se fundamenta porqué el bentos es el mejor monitor de la contaminación ambiental. El autor plantea que para medir el impacto sobre la biología del área los organismos del plancton no reflejan en toda su magnitud la contaminación ya que al ser transportados continuamente por las corrientes se desplazan de forma rápida del área afectada y están expuestos a los efectos del vertimiento durante períodos muy cortos de tiempo, por otra parte los peces representantes del necton poseen una amplia capacidad de natación y pueden migrar en busca de mejores condiciones. Los organismos bentónicos en cambio poseen numerosos representantes sésiles, es decir inmóviles ó de movimientos muy lentos por lo que se ven obligados a permanecer en la zona afectada durante todo el tiempo.

En éste trabajo no se analiza el hecho de que el uso de estas especies como bioindicadores depende en los organismos filtradores de la esencialidad para el metabolismo de los diferentes elementos químicos.

Forstner y Witmann (1983) en su artículo acerca de la contaminación por metales en ríos y estuarios, plantea que la introducción de desechos de origen industrial en estos ecosistemas ha dado lugar a que se produzca un incremento significativo en los niveles de contaminación por metales, especialmente se demuestra un enriquecimiento en Pb, Hg, Cd, Cu, y Zn así las muestras de sedimentos tomadas en zonas costeras durante el último siglo revelan un incremento que es en muchos casos exponencial. En el caso de sedimentos el autor recomienda para el análisis de metales antropogénicos típicos (Pb, Cu y Zn) utilizar la fracción de $< 63 \mu m$ por las siguientes razones:

1. Estos metales trazas se encuentran presentes sobre todo en partículas de fango arcilloso
2. Esta fracción es aproximadamente equivalente al material en suspensión.
3. Al tamizar no se altera la concentración metálica
4. Numerosos metales estudiados se encuentran bien representados en esta fracción permitiendo una mejor comparación de los resultados.

Este artículo es de gran importancia ya que el autor establece en el mismo la metodología para la determinación cuantitativa del enriquecimiento metálico en una región a través del índice de geoacumulación lo cual nos sirvió de base para establecer el grado de contaminación en la región de estudio.

Arencibia y Perigo (1985) exponen los resultados de 5 cruceros de investigación en los que se determinó oxígeno, demanda bioquímica de oxígeno y otros parámetros como salinidad y temperatura que les permitió evaluar el estado de contaminación que

presenta la franja costera del Golfo de Guacanayabo, el estudio incluyó la determinación de Zn, Cu, Pb, en camarón blanco (*Penaeus schmitti*) y rosado (*Penaeus notialis*) y en sedimentos.

Los resultados obtenidos demuestran que los posibles efectos de vertimientos que pudieran provocar altas densidades en el agua de la línea costera son disipados por dilución de las corrientes de marea de forma que no llegan a tener efecto sobre la cayería.

Se define la zona como una cuenca de alta evaporación, temperatura y salinidad normales. Se plantea que existe una ligera contaminación dada por la naturaleza de las aguas (fango-arenosas) y de poca profundidad, así como la existencia de focos puntuales de mayor contaminación en las zonas: Santa Cruz del Sur, Campechuela, Manzanillo y Media Luna por el aporte de las industrias. Se plantea la posible eutroficación en áreas costeras muy fertilizadas con residuales tratados procedentes de la industria cárnica, combinados lácteos y pesqueros. Las concentraciones de fósforo están en el límite de calidad para aguas normales, se encontraron valores superiores a los límites para considerar aguas contaminadas con aguas negras industriales en las desembocaduras de los ríos Yara y Cauto.

La zona presenta una gran variabilidad en cuanto a la estabilidad de los fondos que no depende en muchas estaciones de los aportes terrestres y hace pensar en un proceso de alteración de la estratificación original de los sedimentos producido por los organismos bentónicos y por factores ambientales de la columna de agua.

Se concluye que la zona costera dispone de condiciones favorables para la vida del bentos en lo que respecta a contenido orgánico, a pesar de existir estaciones donde en ciertos meses del año se pueden dar condiciones drásticas del medio para el desarrollo de una vida marina equilibrada.

Se muestrearon cuatro cuadrículas importantes de la zona pesquera con vistas a la determinación de metales pesados en camarones y sedimentos, se seleccionó la zona frente al Yara pues ahí llegan los residuales a través del río que son vertidos por la Fabrica de Acumuladores que contienen Pb. Se tomaron 10 muestras de cada especie (camarón blanco y rosado) y cada muestra se conformó con 15 organismos, los cuales se conservaron según la metodología FAO,1979. Se usó la técnica de EAA para la determinación de Pb, Zn y Cu. Como conclusión se plantea que a pesar que los valores hallados están por debajo del LMP, los contenidos están elevados respecto al estudio anterior.

Guinarte (1999) plantea que en la Provincia Granma, municipio Manzanillo, se encuentra en explotación la única fábrica de acumuladores de Plomo del país. Para la fabricación de los acumuladores se utilizan como materia prima: Plomo puro, Antimonio, Arsénico, Ácido Sulfúrico, caucho, polietileno y acumuladores de desecho. Tres de estas materias primas son consideradas como metales pesados muy peligrosos. Después de transcurrir veinte años de la puesta en marcha de la fábrica de acumuladores "XX Aniversario", y de no tener conocimiento de la contaminación ambiental por metales pesados en el entorno de la misma, se consideró importante:

Hacer una valoración de la situación ambiental del entorno de la fábrica y de la contaminación por metales pesados, determinando la distribución regional de los elementos : Pb, Cu, Zn, y As en suelos y plantas. El trabajo se realizó con la finalidad de valorar la problemática de la contaminación por metales pesados, asociada a la producción de baterías ó acumuladores y su influencia en el medio ambiente, específicamente en suelos y plantas, en el entorno (área de 36 km²) de la Empresa de Acumuladores "XX Aniversario" en Manzanillo.

La fábrica de acumuladores utiliza como materia prima fundamental el Oxido de Plomo (IV), obtenido como desgaste mecánico del Plomo puro, y aleaciones Plomo - Antimonio - Arsénico (Pb - Sb - As). Estos metales pesados y sus iones tienen como característica fundamental el no ser biodegradables, no se descomponen de forma natural en el

ambiente, y son tóxicos para los seres vivos a niveles de trazas; tienen la propiedad de acumularse en las plantas y otros organismos. El mayor peligro existente es la incorporación a la cadena trófica, donde pasan a las plantas a través de los microorganismos que se alimentan del suelo, llegando a los animales, siendo el último receptor el hombre. Ya en el organismo, no sufren ninguna transformación metabólica, se acumulan hasta alcanzar niveles elevados con gran peligro para la salud.

En la parte noroeste de la fábrica, descargando al río Yara, se ubican tres cañadas. En tiempos de lluvias por estos cauces el drenaje superficial se incorpora al río. Con el fin de conocer la evolución histórica de los contaminantes se tomaron muestras de sedimentos, dos muestras patrones y tres en diferentes puntos.

Al comparar los sedimentos con el patrón del río Yara se obtuvo que el contenido de Pb del sedimento de la cañada que desemboca al río Yara es mayor que el de la muestra patrón, los aportes que conduce la misma hasta el río es 7 veces más que la recibida en la zona patrón, escogida en dirección contraria a la corriente. La muestra de sedimento del río Yara presenta el doble de As y un contenido de Pb 25 veces más que el contenido en el patrón .

2.2 Problemática de los metales pesados

Actualmente se conocen 109 elementos químicos, 25 no metales, 15 metales ligeros y 69 como metales pesados con densidad superior a 5 g/cm^3 , se encuentran ampliamente distribuidos por la litosfera, hidrosfera y atmósfera. Los metales se encuentran en la mayoría de los materiales que se conocen y que el hombre utiliza. Fueron uno de los primeros elementos que la civilización utilizó y han representado un importante papel en la misma.

Una parte de los metales se vierten de manera natural al ambiente como resultado de fenómenos geológicos, meteorización de rocas, lixiviación, desgasificación, erupciones volcánicas, llamándose a esta fracción litogénica. En oposición se encuentra la fracción

liberada por el hombre en la quema de combustible, en la extracción de minerales de reserva, en la fusión y refinamiento hasta convertirlo en bienes de consumo, en la descarga de residuos industriales, agrícolas o domésticos, en la aplicación de plaguicidas, en la fabricación de acumuladores, constituyendo ésta la fracción antropogénica.

Se consideran contaminantes tóxicos aquellos materiales o formas de energía que exceden de las concentraciones naturales (geoquímica) y pueden causar efectos adversos a la vida, según esta simple definición todas las sustancias sintéticas son potenciales contaminantes tóxicos, ya que su concentración en la naturaleza es nula. En general, tóxico es cualquier sustancia que, una vez dentro del organismo es capaz de dañar y destruir la vida. Los efectos nocivos producidos por los compuestos tóxicos se clasifican en tres clases: efectos acumulativos, umbral y de interacción. La fuente de toxicidad por metales pesados la forman los metales trazas que se encuentran en una concentración inferior a 1 ppm en la corteza terrestre. De estos metales trazas son clasificados como metales pesados los que tienen una densidad superior a 5 g/cm^3 y ligeros los restantes. Muchos metales trazas son esenciales para la vida a bajas concentraciones. Según la EPA (Environmental Protection Agency), se consideran unos doce elementos trazas y pesados como muy peligrosos. Estos son Antimonio (Sb), Arsénico (As), Berilio (Be), Cadmio (Cd), Cromo (Cr), Estaño (Sn), Mercurio (Hg), Níquel (Ni), Plomo (Pb), Vanadio (V) y Zinc (Zn) (Casas – Sabata, 1996).

La contaminación ambiental se clasifica atendiendo a la naturaleza del agente contaminante puede ser física, química o biológica. En el caso que nos ocupa tenemos en cuenta solo la contaminación química provocada por los metales pesados a estudiar.

Metales pesados en sedimentos

Los sedimentos están formados por materiales silíceos, silico-aluminato (arcillas), férricos, fosfatos, y otros, restos de organismos y materia orgánica, esta última proviene de la degradación de la fauna y de la flora acuática. Los sedimentos presentan algunas ventajas sobre las aguas para determinar el contenido de metales traza debido a la

2.2.1 Elementos químicos a estudiar. Utilización, Toxicidad e influencia en el medio

Plomo (Pb)

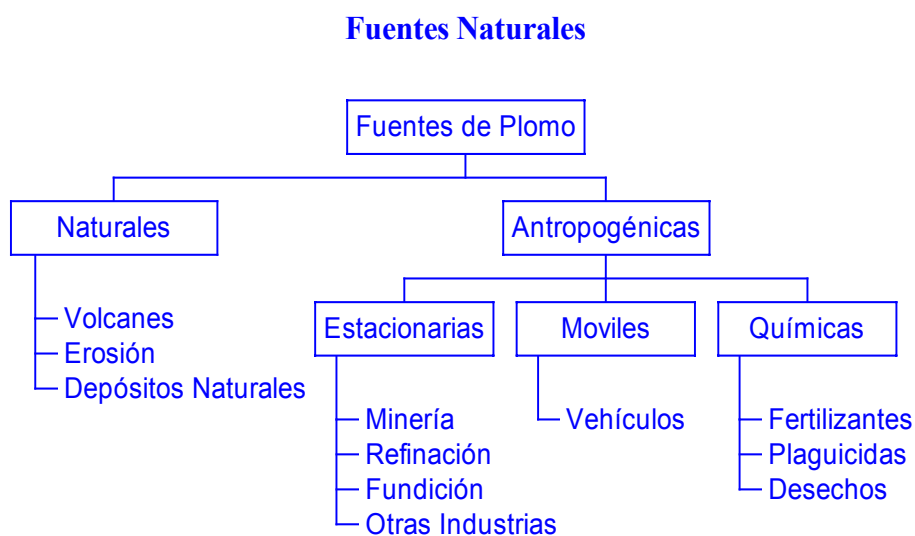
Propiedades generales

El Plomo es un metal típico representante del Grupo IV, de color azulado con número atómico 82, peso específico 11.3 g/cm^3 , temperatura de fusión y ebullición de $327 \text{ }^\circ\text{C}$ y $1745 \text{ }^\circ\text{C}$ respectivamente, la dureza y fragilidad del Plomo es pequeña comparada con el Germanio y el Estaño.

Fuentes naturales

El Plomo es uno de los metales más antiguos utilizados por el hombre, los egipcios lo usaban para vidriar vajillas y los romanos para las tuberías de agua e innumerables objetos. El Plomo es un elemento abundante que se encuentra en el aire, el suelo, las plantas y los animales. Las fuentes naturales son, las emanaciones volcánicas y el desgaste de los minerales de Plomo.

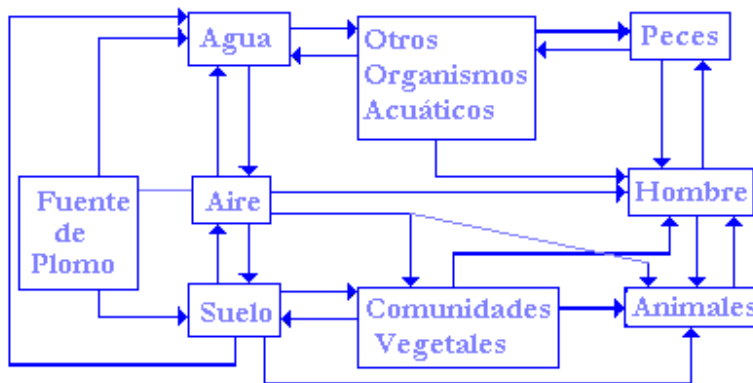
Los minerales de Plomo más importantes son la Galena (PbS), la Cerusita (PbCO_3) y la Anglesita (PbSO_4).



Utilización industrial

- Fabricación de baterías y acumuladores.
- Aditivos antidetonantes en gasolina.
- Municiones, soldadura, pigmentos para pinturas (minio).
- Minería, artes gráficas y pirotecnia.
- Aditivo en algunos plásticos.

Efectos en el medio ambiente



El Plomo que es expulsado a la atmósfera es transportado por el viento, se deposita en el suelo, en el agua y en la vegetación, además de ser inhalado por los seres humanos. Una vez que el Plomo ha llegado al suelo, la planta absorbe por las raíces las soluciones que contiene el suelo y se incorpora a la cadena trófica.

Toxicidad en el hombre

La intoxicación por Plomo se considera una enfermedad profesional denominada Saturnismo, pero la verdad es que los que no trabajan directamente vinculados a industrias en las que se utiliza este metal también se encuentran expuestos a una atmósfera que puede estar contaminada.

El Plomo penetra en el organismo por tres vías diferentes:

- Respiratoria (inhalación de polvo ó vapores).
- Digestiva (pequeña proporción).
- Cutánea (solo en el caso del Tetraetilo de Plomo).

Una parte del Plomo ingerido se elimina por la orina o el sudor, pero la mayor parte se deposita, se acumula en ciertos órganos específicos del cuerpo humano, como son los huesos, el hígado y los riñones, destacando que esta acumulación es del orden de cinco veces superior en los niños que en los adultos.

Las personas expuestas al Plomo en un ambiente industrial, presentan intoxicación crónica con aparición de anemia, efectos al sistema nervioso, encefalopatías, temblores, dolor de cabeza, pérdida de memoria y debilidad en los músculos.

Arsénico

Propiedades generales

El Arsénico con número atómico 33, peso atómico 74.9216, es un metal gris, cristalino, brillante con tres modificaciones alotrópicas (blanco, amarillo y gris). Pertenece al Grupo V-A y tiene una densidad de 5.73 g/cm³. Los estados de oxidación más comunes son: -3, 0,+3 y +5. Temperatura de fusión 817 °C (a 28 atm) y se sublima a 615 °C .

Fuentes naturales

Más de 150 minerales contienen Arsénico, generalmente pentavalente, y en forma de óxidos y sulfuros. El Arsénico llega a las aguas naturales por erosión de rocas y volcanes. Se han encontrado concentraciones elevadas de Arsénico en aguas subterráneas y termales.

El Arsénico está presente en pequeñas cantidades en toda la corteza terrestre, en un promedio de 1.5 a 2 µg/g. El aire contiene bajos valores de Arsénico aproximadamente 0.001 a 0.008 mg/l.

Utilización industrial

La actividad humana utiliza el Arsénico metálico, el Pentóxido (As_2O_5) y el Trióxido (As_2O_3), los Arsenicatos de Calcio y Plomo, $\text{Ca}_3(\text{AsO}_4)_2$, $\text{Pb}_3(\text{AsO}_4)_2$.

- Insecticidas, herbicidas, defoliantes.
- Preservadores de madera.
- Antiparasitario para los animales.
- Aleaciones de Plomo (Fabricación de acumuladores). Con el fin de elevar la dureza del metal.
- Fabricación de semiconductores y de vidrio.

La producción mundial de Arsénico es de 50 000 t/anales.

Toxicidad en el hombre

El Arsénico y sus derivados una vez absorbidos se distribuyen por todos los compartimentos del cuerpo, la intoxicación aguda por el Arsénico no se manifiesta inmediatamente, ella va acompañada de dolores de estomago, vómitos, diarrea, descomposición del tracto digestivo y afectaciones de la membrana mucosa.

El arsénico inorgánico está reconocido como un veneno humano desde los tiempos antiguos y en dosis elevadas produce la muerte. Niveles bajos de exposición pueden producir lesiones en varios tejidos del cuerpo en diferentes sistemas del mismo, estos son los llamados efectos sistémicos.

La cantidad de arsénico que se requiere introducir para causar un efecto dañino depende de la forma física o química del As. En general las formas inorgánicas son más tóxicas que las orgánicas y las formas solubles tienden a ser más tóxicas que las de difícil solubilidad.

Algunos peces comestibles y mariscos contienen elevados niveles de As, pero este está predominantemente en una forma orgánica denominada el arsénico del pez, que es de baja toxicidad.

Cobre

Propiedades generales

El Cobre fue el primer metal que se utilizó para fabricar utensilios e instrumentos de trabajo. El peso específico es de 9.0 g/cm^3 , punto de fusión $1083 \text{ }^\circ\text{C}$ y de ebullición $2543 \text{ }^\circ\text{C}$ y número atómico 29. Este metal se caracteriza por su ductilidad y maleabilidad, así como su elevada conductividad electrónica y térmica.

Fuentes naturales

El Cobre constituye el 0.003% de la corteza terrestre. El Cobre proviene de los óxidos (Cuprita), Carbonatos (Malaquita), Sulfuros (Bornita y Calcopirita).

Utilización industrial

- Electrotecnia: Conductores eléctricos.
- Metalurgia: Aleaciones de Latón (Cu y Zn), Bronce (Cu y Sn).
- Insecticidas y pigmentos.

- Catalizadores para la industria química, textil y fotografía.
- Bisutería, radiadores de autos.

Toxicidad en el hombre

El Cobre es un elemento necesario para la vida de los seres vivos. La insuficiencia del Cobre en el organismo (la norma diaria para el hombre es de 5 µg) conduce a la formación nueva de hemoglobina y al desarrollo de la anemia, la cual puede ser curada introduciendo compuestos de Cobre en los alimentos. Sin embargo puede llegar a ser un elemento tóxico según la cantidad que se absorba. Interacciona (sinergesis) con otros elementos, tales como Hierro (Fe), Cobalto (Co), Manganeseo (Mn), Zinc (Zn) y el ión Sulfato.

Participa en reacciones enzimáticas y puede producir efectos tóxicos en cantidades excesivas, como trastornos gastrointestinales, hepáticos, anemia. También se ha comprobado la existencia de una relación entre el déficit de vitamina A y el exceso de Cobre en el organismo.

Una persona adulta contiene 30 mg/kg de Cobre y al contrario de la mayoría de los metales, este se absorbe por el estomago.

Son muchos los factores que influyen en la toxicidad del Cu y de los metales pesados en solución. Una fracción muy grande de metales traza disueltos están presentes en la condición de complejos y pares iónicos .

Según (Morris ,1980) su biodisponibilidad y sus efectos fisiológicos y tóxicos están sujetos a la actividad de los iones metálicos libres y cuando estos iones forman complejos con un agente quelante dejan de estar biodisponibles para las células.

Efectos en el medio ambiente

El Cobre pertenece a los elementos interesantes desde el punto de vista biológico. Es el catalizador de los procesos de oxidación intracelulares. En pequeñas cantidades el Cobre es necesario para el desarrollo normal de las plantas. La fertilización de los terrenos con sus compuestos va acompañada de un aumento del rendimiento de la cosecha, pero, un contenido excesivo de Cobre traería como consecuencia la ruptura de la estabilidad de los organismos vegetales.

Cinc

Propiedades generales

Es un metal de color blanco. En el aire húmedo se recubre de una capa de óxido, perdiendo su brillo metálico. Su peso específico es de 7.1 g/cm^3 , temperatura de fusión de $419 \text{ }^\circ\text{C}$ y de ebullición de $906 \text{ }^\circ\text{C}$. El Cinc es quebradizo a temperatura habitual, forma aleaciones fácilmente con otros metales. Forma una sola serie de compuestos que actúan como divalentes.

Fuentes naturales

La cantidad de Cinc en la corteza terrestre se calcula en un 0.001% . Las menas más importantes de Cinc son los minerales Blenda (ZnS), Smithsonita (ZnCO_3).

Los minerales de Cinc se encuentran con gran frecuencia junto con los de Plomo y Plata.

Los Sulfuros, Carbonatos y Silicatos son las fuentes más importantes de obtención de Cinc.

Utilización industrial

- Recubrimiento de los metales.
- Metalurgia, galvanoplastia y aleaciones (Latón).
- Acumuladores eléctricos.
- Industrias farmacéuticas y químicas.
- Fungicidas e insecticidas.
- Pigmentos y pintura.
- Células fotoeléctricas.
- Industria del caucho y del papel.

La producción mundial es de 3 millones de t/anuales.

Toxicidad en el hombre

El organismo humano contiene más de 0.001% de Cinc, predominando en los dientes (0.02), páncreas, hipófisis y las glándulas genitales. La necesidad diaria de la persona de Cinc constituye cerca de 15 mg y se cubre completamente con la comida corriente.

Los efectos tóxicos se deben a la inhalación de humos procedentes de baños de galvanoplastia. Su inhalación continuada provoca la llamada Fiebre del Cinc, caracterizada por escalofríos, fiebre y mareos. Un factor que minimiza el riesgo por envenenamiento debido al Cinc, es que el elemento se pierde a lo largo de cadena trófica, ya que no se acumula.

Los contenedores de Cinc o galvanizados no son recomendables para almacenar alimentos, pues los alimentos ácidos pueden disolver el Cinc y causar envenenamiento.

Efectos en el medio ambiente

El Cinc pertenece a los elementos metálicos que consideran como muy interesantes desde el punto de vista biológico. Las plantas habitualmente contienen Cinc en el orden de 10^{-4} %, pero en algunas especies el contenido de este elemento aumenta. Así, el Llantén contiene 0.02 % de Cinc y la Violeta 0.05%. Es un micronutriente esencial y un elemento poco peligroso aunque su toxicidad aumenta debido a la presencia en el medio del Arsénico, Plomo, Cadmio y Antimonio pues se produce el sinergismo.

3. CARACTERÍSTICAS DE LA REGIÓN DE ESTUDIO

3.1 Características geográficas

El área objeto de estudio comprende la faja costera desde la desembocadura del estero Felipe hasta la desembocadura del río Guá, la misma tiene una extensión de 162 km², estando situada entre los 20° 17' 00" y 20° 25' 00" de latitud norte y los 77° 05' 00" y 77° 15' 00" de longitud oeste, esta comprende las cuadrículas 62, 50, 51 y 39 de las zonas de pesca I y III, definidas por la Delegación Provincial de la Pesca.

3.1.1 Clima

La temperatura media anual es de 26°C o más, existiendo un promedio de precipitaciones que alcanza los 1 110 mm (media anual) que alcanza máximos en el período lluvioso mayo - octubre hasta de 1 200 mm y mínimas en el período de seca de 250 mm .

Las variaciones térmicas del agua en los acuatorios costeros están influidos fundamentalmente por factores tales como la radiación solar, la profundidad, la geomorfología, la velocidad y dirección de los vientos, así como el régimen de lluvias. En la época del año en que se realizó el estudio (invierno) el factor principal que afecta éste acuatorio son los frentes fríos. En estos eventos se combina la baja temperatura de las masas de aire con el fuerte oleaje que generan los vientos lo cual provoca un descenso en la temperatura de varios grados con respecto a los meses más cálidos del año y mayor mezcla vertical de las aguas que provoca aumento de la homogeneidad térmica en la vertical.

3.1.2 Geomorfología

La Bahía de Manzanillo es un entorno marino limitado con el mar abierto por los Cayos de Manzanillo (que son denominados Cayita, Largo, Perla y Jorobado) y zonas bajas de arrecifes. Presenta varios canales de acceso, la influencia de las aguas adyacentes, de los escurrimientos fluviales y de las zonas bajas aledañas a la bahía. Por sus ubicaciones y las características geomorfológicas de su geografía debe comportarse como un estuario de llanos costeros en el entorno de los efluentes fluviales.

El terreno costero es deltaico y pantanoso, el fondo marino es de llanuras abrasivas acumulativas, siendo de naturaleza fango-arenosa en su mayor parte, con formaciones coralinas y carsos sumergidos, en la zona de la desembocadura de los ríos existe una cubierta de sedimentos de origen terrígeno, la parte al noroeste de la desembocadura del Yara hasta la desembocadura del río Felipe está cubierta de marismas y pantanos de agua salobre.

3.1.3 Geología

La zona de estudio se emplaza sobre sedimentos de la Formación Manzanillo, la cual se extiende superficialmente por el Golfo de Guacanayabo, aflorando en su borde oriental entre Manzanillo y Niquero, en la parte sur se acuña contra las elevaciones de 150 m y más, contra la zona premontañosa de la Sierra Maestra, al norte penetra el valle del río Cauto, quedando cubierta por los potentes horizontes aluviales de la formación Cauto.

La formación Manzanillo está constituida por calizas organodetríticas, duras, masivas, cavernosas, a veces brechosas, de color blanco, crema y amarillo pardusco. Estas calizas muchas veces son fosilíferas y en mayor ó menor grado margas. Están intercaladas con margas, arcillas calcarenitas, margas arenosas y limonitas calcáreas friables o moderadamente consolidadas. La estratificación de estas rocas es irregular, predominando los horizontes masivos y menos frecuentes

los de estratificación mediana, ondulada o lenticular. Tiene una edad del Mioceno medio parte alta al Plioceno.

Los sedimentos carbonatados se vinculan a la asociación estructuro formacional del desarrollo platafórmico de Cuba Oriental, que se caracteriza por un ambiente de deposición con predominio de condiciones marinas de subsistencia y ausencia total de magmatismo. En esta etapa la tectónica se caracterizó por movimientos verticales a los que se asocia un aumento de la actividad sísmica cuyas manifestaciones se observan hasta nuestros días. El territorio se encuentra enclavado en una zona donde pueden ocurrir movimientos sísmicos con intensidad de VII grados en la escala MSK y con período de recurrencia de 100 años.

3.1.4 Parámetros hidrológicos

Resultados de mediciones de temperatura y salinidad realizados en otros estudios Emilson y Tapanes (1971), Suárez et al (1997) y Perigo et al (1983) indican que en la capa superficial se observa un gran gradiente de temperatura, salinidad y densidad de las aguas que demuestra la transición del agua oceánica, más caliente salina y densa, a las aguas interiores de la bahía con fuerte influencia de los escurrimientos terrestres (con menor temperatura, salinidad y densidad)

En toda la bahía se observa un gradiente de estos parámetros hidrológicos que demuestra la presencia en la superficie de las aguas menos densas y salinas provenientes del escurrimiento terrestre y aguas con características oceánicas en las capas inferiores. Este comportamiento sugiere un mecanismo de circulación estuarina, con flujo de las aguas superficiales en dirección al océano y entrada de las aguas oceánicas por los horizontes inferiores del océano a la bahía.

En el interior de la bahía y cerca de la costa, la tendencia de la corriente es tener baja magnitud, seguir un patrón de circulación según la variación del nivel del mar provocado por las mareas. El vector velocidad es, en general, paralelo a la costa

con gran influencia de los vientos predominantes y la difusión de los escurrimientos costeros. Esto implica que gran parte de los sedimentos arrastrados por los ríos, entre ellos el Yara, se depositen en el entorno costero y zonas aledañas.

4. PARTE ESPECIAL

4.1 Selección de las estaciones de muestreo

En la zona investigada fueron situadas siete estaciones de muestreo, distribuidas buscando la representatividad zonal de los distintos geosistemas y de las distintas situaciones de influencia antropogénica, en las mismas se colectaron muestras de sedimentos de fondo y organismos (ver fig. 4 del anexo). A continuación se muestran en la tabla 4.1 las coordenadas según la proyección cónica conforme de Lambert para la zona sur de Cuba.

Tabla 4.1 Estaciones de Muestreo

# de la Estación	Lugar	X	Y
1	Estero del río Felipe	472,500	196,000
2	Desembocadura del Yara	470,400	190,300
3	Cayo Cayita	467,400	190,600
4	Cayo Jorobado	460,200	187,900
5	Desembocadura del Guá	459,500	182,500
6	Ensenada del Guá	459,750	180,500
7	Punta Caimanera	466,000	186,300

Estación #1 Estero del río Manuel Felipe, la misma se ubica en la cuadrícula #62 de la zona de pesca I definida por la Delegación Provincial de La Pesca, en un punto alejado de la principal fuente contaminante y en sentido contrario al vector velocidad de la corriente, recibe la influencia de los residuales del central Ranulfo Leyva.

Estación #2 Desembocadura del río Yara, por el mismo a través de los escurrimientos pluviales llegan a la Bahía residuales de la fábrica de acumuladores XX Aniversario, de la fábrica de Tubos la cual utilizó hasta hace 10 años como tecnología la galvanización por Zn, así mismo se incorporan a su

cauce residuales del Combinado Cárnico y Combinado Lácteo, recibe también la influencia del central Bartolomé Masó y de los residuales del Hospital Celia Sánchez Manduley, esta estación se encuentra dentro de la cuadrícula # 50.

Estación #3 Cayo Cayita, ésta estación se encuentra en dirección frontal a la desembocadura del río Yara en un lugar alejado de la zona costera y se ubica también en la cuadrícula # 50.

Estación #4 Cayo Jorobado, este cayo se encuentra en el punto más alejado de la costa y marca el extremo final de los cayos de Manzanillo, recibe muy poca influencia de la contaminación, se ubica en la cuadrícula #51.

Estación #5 Desembocadura del río Guá, pertenece a la cuadrícula #39, este río recibe el aporte de residuales domésticos fundamentalmente.

Estación #6 Ensenada del Guá, situado en la cuadrícula 39 recibe directamente la influencia del vertimiento de residuales del central La Demajagua así como de residuales domésticos.

Estación #7 Punta Caimanera, situado en las cercanías de la costa recibe la influencia de los residuales proveniente del Combinado Pesquero en el que hasta hace poco tiempo se encontraba una planta procesadora de harina de pescado y está sometido a su vez a una gran actividad portuaria así como recibe residuales del central J. M. Figueredo.

Para la selección de las estaciones de muestreo se tuvieron en cuenta además de los resultados del recorrido geoecológico, los resultados obtenidos por Arencibia (1985) para esta zona, así como los intereses de la Industria de la Pesca debido a la importancia comercial de la especie camarón blanco y los problemas que presenta la captura de los mismos en los últimos años.

4.2 Toma de Muestras

Las muestras de sedimentos de fondo fueron colectadas mediante el empleo de buceo autónomo, empleándose un tubo muestreador plástico. Las muestras tomadas en los primeros 5 cm de profundidad fueron envasadas en bolsas de PVC y almacenadas en refrigeración.

Con el objetivo de determinar el contenido de metales pesados en organismos reportados como bioindicadores de la contaminación, se valoró hacer una toma de muestras del zoomegabentos que incluyera al menos 10 organismos en cada estación para garantizar la representatividad. Se escogió el ostión de mangle (*Crassotea rhizophora*), especie filtradora muy abundante en la zona. Los ejemplares se colectaron manualmente en cinco de las estaciones; los mismos fueron abiertos con una espátula de material plástico y las partes blandas se almacenaron en bolsas de PVC que fueron sometidas a un proceso de congelación profunda.

Dada su importancia comercial, fue seleccionada también la especie de camarón blanco (*Penaeus schmitti*), la cual se pudo colectar en 4 de las estaciones mediante una red de pesca, haciendo múltiples lances hasta colectar el número adecuado de ejemplares que conformaron cuatro muestras de esta especie formadas por 10 organismos como mínimo, los cuales fueron descabezados, desvenados y conservados acorde a la metodología de la FAO, (1975).

4.3 Montaje y puesta a punto del método analítico

El método instrumental utilizado es la Espectrofotometría de Absorción Atómica (E.A.A.), con nebulización a la llama; para la determinación de los elementos Plomo, Cobre, Cinc; y la generación de hidruros con atomización en la celda de cuarzo para el

Arsénico. Debido a que en el Laboratorio del CIL no se realizan análisis de estos metales en sedimentos y organismos marinos fue necesario realizar el montaje de esta técnica teniendo en cuenta la literatura consultada, así como la disponibilidad de recursos existentes.

La E.A.A es una técnica ampliamente utilizada debido a su versatilidad, dada por los más de 65 elementos determinables, los cuales comprenden, salvo excepciones, los elementos de transición, los lantánidos, los metales alcalinos y alcalinotérreos y la mayoría de los representativos, incluidos algunos de características no metálicas como Yodo (I). Para elementos como el Cobre, Plomo, Cinc, Hierro, Manganeso, Níquel, Cobalto, Cadmio, Cromo, Mercurio ha resultado la técnica, más empleada.

4.3.1 Principios de la Espectrometría de Absorción atómica

Los átomos de cada elemento, absorben energía luminosa en determinadas y específicas longitudes de onda (línea de resonancia para elemento dado). La intensidad de absorción al rayo de luz depende directamente de la concentración del analito en la solución analizada.

Un Espectrofotómetro de Absorción Atómica está formado por:

- Fuente emisora de luz capaz de emitir la línea espectral de resonancia adecuada, generalmente se emplea la lámpara de cátodo hueco (HCI).
- Medio atomizador. Existen diferentes variantes: nebulizador a la llama, horno de grafito, generación de hidruro con atomizador de cuarzo a la llama, entre otros.
- Sistema de medición de Absorción atómica: Su función es seleccionar y procesar adecuadamente la señal luminosa para brindar una respuesta cuantitativa del fenómeno, la cual puede expresarse en absorbancia o directamente en concentración.

La magnitud de medición directa en un campo de absorción atómica es la absorbancia la cual se define como:

$$A = \log I_0 / I$$

Donde: I= Intensidad de luz transmitida por el analito.

I_0 = Intensidad de luz emitida por la fuente.

Dos variables fundamentales caracterizan la E. A. A:

- Cualitativa: Es la longitud a la que ocurre la absorción, la cual es característica para cada elemento. Para un elemento pueden existir diferentes longitudes de onda a la que ocurre el fenómeno, aunque aquella que caracteriza el salto energético más probable, la que ocurre entre el estado base y el primer estado excitado, es conocida como línea de resonancia principal, caracterizada también por su mayor sensibilidad y empleo.
- Cuantitativa: La magnitud de la absorción es función de la concentración del Analito pero también de otras variables instrumentales y de otros componentes de la muestra, que podrán ejercer un efecto interferente al incrementar o disminuir la señal instrumental

4.3.2 Condiciones de trabajo para el equipo de E.A.A.

Las condiciones de trabajo seleccionadas para la realización de la lectura en el equipo de Absorción Atómica para la determinación de Pb, Cu y Zn se muestran en la tabla 4.3.1

Tabla 4.3.1 Condiciones de trabajo para el equipo de E.A.A.

Parámetros	Cu	Pb	Zn
Intensidad de la corriente de lámpara (mA)	4	5	5
Longitud de onda (nm)	324.7	283.3	213.9
Ancho de la rendija (mm)	0.5	0.5	1
Flujo de oxidante (aire)	17	17	17
Flujo de combustible (acetileno)	7	7	7
Altura del quemador (cm)	10	10	10
Flujo de la muestra (ml / min)	8	8	8
Corrector de fondo (deuterio)	si	si	si

El Arsénico se determinó por E.A.A, pero utilizando la de generación de hidruros, con el fin de aumentar la sensibilidad del método y obtener mejores lecturas, el empleo de una celda de cuarzo logra retener el As en la zona de observación durante un mayor tiempo.

En esta técnica, la muestra en medio ácido (HCl) se hace reaccionar con el NaBH_4 , produciéndose los hidruros de los elementos correspondientes en estado gaseoso, estos se transportan con una corriente de Argón hacia una celda de cuarzo en forma de T colocada en la llama del equipo, donde se produce la descomposición del hidruro y la atomización del analito.

A continuación se muestran las condiciones de trabajo para la determinación de As por el método de generación de hidruros:

Tabla 4.3.2 Condiciones de trabajo dell equipo de A.A. (Determinación de As)

Intensidad de la corriente de la lámpara	4 mA
Ancho de la rendija	0,5 mm
Longitud de onda	253,7 nm
Flujo de las disoluciones	
HCL 5M (1ml / min)	
NaBH ₄ 0,3% + NaOH 0,5%(1ml/min)	
Muestra (7ml / min)	

Además de la E.A.A, actualmente tienen gran aplicación en los estudios de contaminantes ambientales las técnicas de Espectrofotometría de Emisión con Plasma Inducido (ICP), el cual logra niveles de detección muy bajos tanto para los elementos metálicos como no metálicos; y el análisis por Activación neutrónica (N.A.A), entre otras. En nuestro estudio la técnica elegida es la E.A.A debido a su disponibilidad.

Para la disolución de las muestras de camarones y ostiones se utilizó la metodología de Casas Sabata (1970): Se pesó 1g de muestra en una balanza analítica, se añadió 8 ml de HNO₃ concentrado y 1 ml de H₂SO₄ concentrado llevándose en la plancha a sequedad a temperatura moderada, posteriormente se redisolvió con 10 ml de HCl 1:1 y se hizo ebulir hasta que quedaran aproximadamente 5 ml, y se filtró directamente en un volumétrico de 50 ml lavándose el residuo con H₂O destilada, finalmente se enrasó y homogeneizó para su lectura por EAA. En el caso de las muestras de sedimentos previamente fueron secadas al aire, homogeneizadas y cuarteadas, posteriormente se obtuvo la fracción < 63 µm mediante tamizado por vía húmeda. Se pesó 1g de muestra en una balanza analítica, se añadió 15 ml de HNO₃ concentrado y 5 ml de HCl

concentrado llevándose en la plancha a sequedad a temperatura moderada, posteriormente se redisolvió con 10 ml de HCl 1:1 y se hizo hervir hasta que quedaran aproximadamente 5 ml, y se filtró directamente en un volumétrico de 50 ml lavándose el residuo con H₂O destilada, finalmente se enrasó y homogeneizó para su lectura por EAA

Para la validación del método de disolución empleado se usaron los patrones de referencia CMR 141R y CMR 142R, del Institute for Reference Materials and Measurements (IRMM), Bélgica, obteniéndose los resultados siguientes:

Tabla 4.3.3 Resultados Experimentales obtenidos por el método de EAA

Patrón	Pb (mg/g)	Cu (mg/g)	Zn (mg/g)
CMR 141R	0,03	0,03	-
CMR 142R	0,02	0,03	0,08

Tabla 4.3.4 Resultados tabulados según Referencia BCR

Patrón	Pb (mg/g)	Cu (mg/g)	Zn (mg/g)
CMR 141R	0,05	0,04	0,27
CMR 142R	0,02	0,06	0,09

Se obtuvieron recobrados de aproximadamente un 80% como promedio para los elementos analizados, esto se debe a que este tipo de ataque ácido no disuelve completamente el residuo cristalino, pero a los efectos de este trabajo es aceptable, considerando que el contenido metálico de mayor potencial ecotoxicológico es el asociado a las fracciones más biodisponibles y que son ácido-solubles. Por esto referiremos nuestros resultados como la fracción ácido-soluble de los elementos analizados.

4.4 Identificación y caracterización de los geosistemas

Mediante un recorrido por la zona costera y la zona de los cayos se pudo realizar mediante la observación directa, la identificación de los diferentes geosistemas, los cuales presentan diferentes características y comportamiento ante la contaminación, así como un diferente grado de alteración, los geosistemas identificados se relacionan a continuación:

1. *Marino arrecifal.*

Corresponde a las crestas arrecifales que bordean los cayos. Constituye un elemento de protección de los geosistemas interiores pues funciona como una barrera contra el oleaje. Presenta una alta diversidad de especies y un buen estado de conservación.

2. *Marino nerítico de fondo arenoso.*

Se localiza en la zona posterior a la barrera arrecifal y al este de ésta. Su biodiversidad es media y presenta un estado relativamente bueno de conservación, afectado por la intensa captura de especies que en él se lleva a cabo.

3. *Marino nerítico de fondo arcilloso.*

Se localiza en las áreas de la desembocadura del río Yara, Ensenada de Caimanera, y Ensenada del Guá. Su biodiversidad es baja y posee altos índices de contaminación fundamentalmente asociada a metales pesados. Este geosistema se generó sobre el anterior debido al arrastre de sedimentos por los ríos.

4. *Marino nerítico de fondo rocoso.*

Ocupa la meseta arrecifal así como los canales interiores del acuatorio. Su biodiversidad es baja y el grado de contaminación relativa es de bajo a no contaminado.

5. *Transicional de fondo arcilloso.*

Se localiza en toda la zona intermareal al EN del río Yara y en la Punta Guá, ocupada por sedimentos terrígenos arrastrados por los ríos. Constituye una franja de ancho variable (30-50 m) paralela a la costa ocupada por manglares.

6. *Terrestre de costa arenosa.*

Se localiza al SW de la ciudad y en parte en los cayos. En el primer caso ha experimentado procesos erosivos durante mucho tiempo. Abundan en ellos los cantos rodados de pequeño diámetro.

7. *Tecnógeno - marino.*

Dársenas y malecón están sometidos a la constante acumulación de sedimentos terrígenos arrastrados por las corrientes litorales. Su biodiversidad es nula. Recibe los efluentes de todo el proceso portuario, embarcaciones e instalaciones terrestres.

4.5 Identificación de impactos ambientales

Se entiende por impacto ambiental el efecto que sobre el medio ambiente produce una determinada actuación humana, puede ser positivo ó negativo, los mismos se pueden clasificar en:

- Efectos de la contaminación
- Efectos Sociales
- Efectos Económicos
- Efectos Tecnológicos – Culturales
- Efectos Ecológicos sobre los elementos bióticos y abióticos de los ecosistemas y sobre sus sistemas funcionales y de relaciones.

Para poder evaluar el grado de afectación que presenta el medio ambiente en las diferentes zonas escogidas para el muestreo y a su vez el ecosistema marino en general en la zona de estudio, realizamos un recorrido geoecológico por la zona, con el objetivo de identificar los diferentes impactos que se han producido fundamentalmente a los manglares, al litoral, conocer las características de los sedimentos y de las aguas costeras aledañas a la ciudad de Manzanillo, así como la existencia de otras posibles fuentes contaminantes, mediante el mismo y teniendo en cuenta datos de estudios realizados en los años 1985 y 1997, así como entrevistas a personas residentes en la ciudad de Manzanillo y trabajadores de la Pesca, establecimos una Lista de Chequeo como el método escogido para una evaluación de impactos preliminar, teniendo en cuenta la misma se conformó una matriz causa – efecto para comprender mejor la magnitud de los impactos ocasionados al entorno

Lista de chequeo

1.- Degradación de manglares

En todo el litoral con excepción de la zona de la ciudad de Manzanillo se observan extensos manglares de las especies *Rhizophora mangle* (mangle rojo) y *Avicenia germinans* (mangle prieto) la primera es la especie mayoritaria en la región. En la zona de los Cayos: Cayita, Largo, Jorobado y Perla, los manglares presentan un buen estado de conservación. En el resto de la zona de estudio se pudo observar la degradación a que están sometidos los manglares afectados por la tala indiscriminada, los mismos alcanzan menor altura que en los Cayos, así como se observa una población de menor densidad . Otra de las causas del deterioro de estas especies radica en el vertimiento a la costa de los residuales del proceso productivo de los centrales por lo que el deterioro es acentuado en la desembocadura de los ríos Felipe, Yara y Guá. Como un efecto provocado por la degradación de los manglares, se ha afectado en varias zonas la línea costera produciéndose penetraciones del mar en particular en la zona de la desembocadura del río Yara.

2.- Alteración de la estratificación normal de los sedimentos

En la zona se observa una alteración de la estratificación original de los sedimentos, los cuales han sido clasificados como sedimentos en activa descomposición que retienen más el carbono orgánico que el nitrógeno. Esta alteración de la estratificación original de los sedimentos puede producirse por la acción de los organismos bentónicos, por factores ambientales así como por la captura de especies para lo cual se utiliza el arrastre sobre el fondo de los avíos de pesca (redes).

3.- Eutroficación en áreas costeras

En la zona de Manzanillo y hasta la desembocadura del río Guá se observa la eutroficación de todo el litoral debido a la gran cantidad de sólidos en suspensión producidos entre otros factores por el tipo de fondo arenoso fangoso lo cual se agrava por la escasa vegetación de fondo, otro factor de gran incidencia es el vertimiento de residuales domésticos y la presencia de aguas albañales, en el recorrido se encontró indicadores de la presencia de aguas negras industriales en la zona de la desembocadura del río Yara y frente a la ciudad de Manzanillo.

4.- Contaminación química por residuales industriales

En la zona de estudio existe la influencia de cuatro centrales azucareros: Ranulfo Leyva, B. Masó, J.M. Figueredo y La Demajagua, los dos últimos vierten directamente a corrientes fluviales que van a la costa. Existe además un combinado pesquero que posee una planta procesadora de harina de pescado en la zona de Punta Caimanera. En el entorno del río Yara existe una Fábrica de Acumuladores, una Fábrica de Tubos que hasta hace poco tiempo usó como tecnología la galvanización por Zn, un Combinado Lácteo y un Combinado Cárnico.

5.- Contaminación química por residuales domésticos

En la zona costera frente a la ciudad de Manzanillo y al poblado de las Novillas se observa el vertimiento de residuales domésticos y de aguas albañales directamente a la costa (No existe sistema de alcantarillas). El hospital "Celia Sánchez Manduley" vierte directamente a la costa residuales sin tratar debido a que el tanque séptico del mismo se encuentra fuera de funcionamiento.

6.- Represamiento de los ríos

El alto grado de represamiento del río Cauto en particular ha provocado un impacto positivo en la Bahía ya que disminuye la contaminación por los residuales que el arrastra pero simultáneamente representa un impacto negativo debido a la disminución del aporte de nutrientes necesarios para el desarrollo de las especies del litoral en particular del camarón blanco lo que ha incidido en la disminución del número de ejemplares en la región.

7.- Actividad portuaria

La gran actividad portuaria debido a la actividad económica fundamental en esta zona, la captura de especies de gran importancia para el consumo nacional y la exportación; provoca la contaminación de las aguas debido a los derrames de combustibles, el lavado de los barcos y el vertimiento de otros residuos propios de la actividad humana .

8.- Afectación al Paisaje de los Cayos

En la zona de estudio existe un cementerio de barcos ubicado en Cayo Cayita lo que provoca un impacto negativo en el paisaje que ha sido objeto de críticas por los medios de prensa nacionales.

9.- Afectación a la producción pesquera

La producción se ha visto afectada por la disminución drástica de los volúmenes de captura de camarón blanco fundamentalmente, lo cual ha generado mayores gastos en combustibles al desplazarse la zona de captura hacia la región de Camaguey, así mismo se han producido afectaciones al disminuir la población de ostiones debido a la degradación que sufren los manglares.

4.5.1 Identificación, evaluación y clasificación de impactos en la zona de estudio

Para la evaluación del impacto medioambiental (EIA) se ha recurrido a criterios cualitativos y semicuantitativos que incorporen la naturaleza, magnitud, importancia, certidumbre, reversibilidad entre otros. Hemos empleado como herramienta la evaluación general de impacto de una matriz de causa – efecto y una matriz de evaluación elaborada en forma específica para este estudio. La evaluación de impacto ha seguido la siguiente metodología general:

- Identificación de los impactos mediante una matriz de causa - efecto que se relaciona con las acciones con los impactos identificados en cada componente ambiental y otra matriz para la evaluación de estos impactos.
- Se describen y analizan los impactos ambientales identificados mediante métodos cualitativos.
- Se especifica un multicriterio de cada impacto reflejándose un enfoque multidisciplinario.
- Los 8 criterios empleados (*naturaleza, magnitud, importancia, reversibilidad, duración, certeza, tipo, tiempo en aparecer*] corresponden a los requeridos para estos tipos de EIA según normas internacionales.

Para elaborar la matriz causa–efecto escogimos como factores: Geomorfología, Agua y Sedimentos, Camarones, Ostiones, Paisaje, Infraestructura y Servicios, Empleo, Salud y Desarrollo de la producción, para determinar las acciones tuvimos en cuenta dentro de la zona de estudio las que originan un mayor impacto al medio ambiente, a continuación se relacionan los impactos que se derivan de la Lista de Chequeo y que son utilizados en la matriz:

1. Alteración de la estratificación normal de los sedimentos.

2. Afectación a la línea costera.
3. Aumento de los niveles metálicos en zona costera por acumulación de los sedimentos arrastrados por los ríos
4. Eutroficación en áreas costeras.
5. Contaminación química por residuales industriales.
6. Contaminación química por residuales domésticos debido a la falta de alcantarillado.
7. Disminución de la población de camarones y afectación potencial a su metabolismo.
8. Disminución de la población de ostiones.
9. Afectación al paisaje en el entorno de Cayo Cayita.
10. Contaminación de las aguas del río Yara por roturas de tuberías que conducen residuales de la fábrica de Acumuladores.
11. La zona está incorporada al Sistema Electroenergético Nacional, existe acueducto.
12. Aumento de las fuentes de empleo.
13. Fuentes de empleo para la mujer.
14. Afectaciones potenciales a la salud por presencia de albañales y aguas negras industriales en zonas costeras.
15. Afectaciones a la economía por disminución de volúmenes de captura de camarones y ostiones.
16. Afectaciones a la economía por gastos de combustible al desplazarse la zona de pesca de camarones hacia Camaguey.
17. Disminución de la contaminación de la zona por represamiento de los ríos en particular el Cauto.
18. Disminución del número de micro nutrientes necesarios para la vida de los organismos marinos por represamiento de los ríos.
19. Afectaciones al paisaje por tala de manglares.

A continuación se muestra la matriz causa – efecto elaborada (tabla 4.5.1), la misma muestra que el mayor número de impactos son producidos por los

residuales del proceso productivo de la fábrica de acumuladores, así mismo se observa que la actividad portuaria afecta al ecosistema marino en particular por el aporte de desechos sólidos y líquidos, aunque es de señalar que el derrame de hidrocarburos ha disminuido en la zona debido al desplazamiento de la zona de pesca por los bajos volúmenes de captura en particular del camarón, se observa además que los factores más frecuentemente impactados son las aguas y sedimentos así como el desarrollo de la producción, sin dejar de tener en cuenta las afectaciones potenciales a la salud que existen en esta zona.

Tabla 4.5.1 Matriz causa - efecto

Factores	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Geomorfología						1		2	
Agua y Sedimentos	3,4,5,6,10	3,4,5,6	4,5,6	4,5,6	4,5,6	1	3,4,5,6		17
Camarones	3,7,10,15,16	3,7					3,7		17,18
Ostiones	4	4			4,8			8	17
Paisaje							9	19	
Infraestructura y servicios	6,10,11	6,11	6,11	6,11	6,11		6,11		10
Empleo	12,13	12,13	12,13	12,13	12,13	12	12,13		
Salud	6,10,14	6,10,14	6,14	6,14	6,14		6,14		17
Desarrollo de la Producción	3,4,5,10,15,16	4,3,5,10			4,5,10	16	3,4,15,18	15	18

A: Fábrica de Acumuladores

B: Fábrica de Tubos

C: Combinado Cárnico

D: Hospital

E: C.A.I

F: Pesca

G: Actividad Portuaria

H: Manglares

I: Ríos

Para la confección de la matriz de evaluación se emplearon 8 criterios los cuales se relacionan a continuación:

- La *naturaleza* del impacto puede ser:

- (+) positivo
- (-) negativo
- (n) neutro
- (x) previsible, pero difícil de cuantificar

- La *certeza* del impacto puede ser:

- (c) cierto, el impacto ocurrirá con una probabilidad de mas del 75 %
- (p) probable, Idem con probabilidad entre 50 y 70 %.
- (i) improbable, Idem con probabilidad menor del 50%.
- (d) desconocido, se requiere de estudios específicos para evaluar la certeza del impacto.

- Para *Tipo* se han utilizado las siguientes ponderaciones:

- (Pr) Primario (el impacto es consecuencia directa de la construcción del proyecto o de su operación)
- (Sc) Secundario; el impacto es consecuencia indirecta de la construcción u operación del proyecto)
- (Ac) Acumulativo; el impacto individual es repetitivo dando lugar a otro de mayor impacto.

- Para *tiempo en aparecer*:

- (c) Corto Plazo; aparece inmediatamente o dentro de 6 meses posteriores a la construcción.

(m) Mediano plazo ; aparece entre 6 meses y 5 años después de la construcción.

(l) Largo Plazo; se manifiesta 5 o más años después de la construcción.

- Los criterios que son naturaleza valorativa cuantificables son:

1. *Magnitud* (Intensidad y Area):

Baja Intensidad **(1)** (area afectada inferior a una ha o no afecta significativamente la línea base).

Moderada Intensidad **(2)** (el área afectada comprende entre 1 y 10 ha pero puede ser atenuada hasta niveles insignificantes).

Alta Intensidad **(3)** el área afectada por el impacto es mayor de 10 ha.

2. *Importancia*:

Sin importancia **(0)**

Menor **(1)**

Moderada **(2)**

Importante **(3)**

3. *Reversibilidad*:

Reversible **(1)**

No reversible **(2)**

4. *Duración*:

Corto Plazo **(1)**: si el impacto permanece menos de 1 año

Mediano Plazo **(2)**: si el impacto entre 1 y 10 años

Largo Plazo **(3)**: si el impacto permanece más de 10 años.

- Para la ponderación de los factores se ha considerado que la Magnitud e Importancia son factores principales, por lo que se ha utilizado la técnica de multiplicar estos factores.
- Para los criterios de Reversibilidad y Duración, se ha preferido sumarlos al producto anterior por su menor significación relativa, Así el valor máximo sería igual a:

$$3 \times 3 + 2 + 4 = 15$$

- Los criterios de naturaleza, certeza, tipo y tiempo de demora en aparecer han sido representados por letras, ya que se ha estimado que constituyen datos de utilidad en la aplicación de medidas y planes de manejo pero no representan una clara naturaleza cuantificables. No obstante ello, algunos tienen carácter restrictivo para la evaluación cuantitativa, como son:

1. Naturaleza:

(n) neutro

(x) previsible, pero difícil de cuantificar sin estudios previos.

2. Certeza:

(i) improbable; considerado con menos del 50% de las probabilidades

(d) desconocido; se requiere de estudios específicos.

- Cuando un impacto sea clasificado con cualquiera de estas nominaciones, su evaluación numérica no continua y se considera en la evaluación final.

La matriz de evaluación se muestra en la tabla 4.5.2

Tabla 4.5.2 Matriz de Evaluación

No.	IMPACTOS AMBIENTALES	CRITERIOS DE EVALUACIÓN								
		Naturaleza	Magnitud	Importancia	certeza	Tipo	Reversibilidad	Duración	T. de Aparición	Ponderación
1	Alteración de la estratificación normal de los sedimentos.	(-)	2	2	C	Pr	2	4	M	10
2	Afectación a la línea costera.	(-)	2	2	P	Pr	2	4	M	10
3	Aumento de los niveles metálicos en zona costera por acumulación de los sedimentos arrastrados por los ríos	(-)	3	3	C	Pr	2	4	M	15
4	Eutroficación en áreas costeras.	(-)	3	2	C	Pr	1	2	M	9
5	Contaminación química por residuales industriales.	(-)	3	3	C	Ac	1	4	C	14
6	Contaminación química por residuales domésticos debido a la falta de alcantarillado.	(-)	3	3	C	Ac	1	4	C	14
7	Disminución de la población de camarones y afectación potencial a su metabolismo.	(-)	2	2	P	Sc	1	2	L	7
8	Disminución de la población de ostiones.	(-)	2	2	P	Sc	1	2	L	7
9	Afectación al paisaje en el entorno de Cayo Cayita.	(-)	3	1	C	Pr	1	4	C	8
10	Contaminación de las aguas del río Yara por roturas de tuberías de residuales de la fábrica de Acumuladores.	(-)	3	3	C	Pr	1	2	C	12
11	La zona está incorporada al Sistema Electroenergético Nacional, existe acueducto.	(+)	2	2	C	Pr	2	4	C	10
12	Aumento de las fuentes de empleo.	(+)	2	2	I	Sc	1	2	C	7
13	Fuentes de empleo para la mujer.	(+)	2	2	I	Sc	1	2	C	7
14	Afectaciones potenciales a la salud por presencia de albañales industriales en zonas costeras.	(-)	2	2	C	Sc	1	2	M	7
15	Afectaciones a la economía por disminución de volúmenes de captura de camarones y ostiones.	(-)	1	2	P	Sc	1	1	M	4
16	Afectaciones a la economía por gastos de combustible al desplazarse la zona de pesca hacia Camaguey.	(-)	2	2	P	Sc	1	1	M	6
17	Disminución de la contaminación de la zona por represamiento de los ríos en particular el Cauto.	(+)	1	1	P	Pr	1	2	L	4
18	Disminución de micro nutrientes necesarios para la vida de los organismos por represamiento de los ríos.	(-)	1	1	C	Sc	1	2	L	4
19	Afectaciones al paisaje por tala de manglares.	(-)	2	1	C	Pr	1	2	C	5

De las tablas anteriores se puede inferir que:

- Los impactos identificados, descritos y evaluados, tienen una alta repercusión, debido al alcance de sus efectos.
- Los impactos negativos son superiores a los positivos, representando casi el 80 % del total de los impactos. Esto es debido a que el territorio se encuentra actualmente con un nivel de impactos elevados.
- La mayor cantidad de impactos negativos y los mas significativos, se relacionaron con acciones que tienen que ver con el vertimiento incontrolado de residuales industriales y urbanos a la bahía.
- La mayor cantidad de impactos positivos se relacionan con factores de índole socioeconómico.
- El factor que mas impactos negativos recibe son las aguas y los sedimentos.

4.6 Resultados del análisis de metales pesados en Ostiones

En estos organismos los contenidos de Pb están por debajo del límite de detección de la técnica analítica utilizada, el límite máximo permisible para alimentos de origen marino LMP según CAME (1982) es de 0,20 µg/g, en zonas muy contaminadas como la Laguna del Ostión, Veracruz, México, se encontraron valores de hasta 5,89 µg/g (Villanuevas et. al. (1988), el resultado obtenido está de acuerdo con la teoría de que los ostiones no acumulan los elementos no esenciales, en especial el Pb, según otros resultados obtenidos en estudios realizados (WHO, 1971).

Tabla 4.6.1 Contenido de metales pesados en Ostiones.

Referencia	Pb (µg/g)	Cu (µg/g)	Zn (µg/g)
LMP (CAME)	0,20	–	–
México (Laguna del Ostión)	5,89	59	1443
Manzanillo (Actual)	n.d.	121,02	534,45

El contenido promedio de Cu 121,02 µg/g, es muy superior al encontrado por Páez - Osuna (1988) y Villanuevas et al (1988) que es de 59 µg/g .

El Cu es un elemento esencial para el ostión, es por ello que tiende a acumularlo en este caso los altos contenidos observados pueden deberse a que los moluscos por tener hábitos filtradores ingieren material del agua y sedimentos, haciendo que se acumulen elevadas concentraciones de contaminantes en sus tejidos (Goldberg, 1984). Al aumentar la concentración de Cu no se tiene efecto tóxico, debido a la inadecuada excreción o a que es uno de los metales mayoritarios en los sedimentos.

El Zn presenta un contenido promedio de 534,45 µg/g superior a los valores reportados por Villanuevas et al (1988) de 138 µg/g pero por debajo de los reportados por Páez -

Ozuna (1988) de 1443 µg/g. El Zn es también un elemento esencial para el ostión el resultado observado puede deberse a que el Zn es el metal que mas rápidamente se distribuye entre los organismos bentónicos principalmente en los ostiones, Vallee (1963) demostró que los ostiones tienden a acumular el Zn.

Los resultados obtenidos concuerdan con el estudio realizado por Avila Pérez et al (1993) en el Canal El Chijol Veracruz México donde los niveles de acumulación en ostiones se comportan de la forma Zn>Cu>Pb (ver Fig. 2 del anexo).

El As en estos organismos esta por debajo del limite de detección de la técnica analítica empleada.

4.7 Resultados del análisis de metales pesados en camarones

Para el Pb se obtuvo un contenido promedio de 3,26 µg/g, en estudios realizados en esta misma zona en 1979 se encontraron contenidos de $1,24 \cdot 10^{-3}$ µg/g y en el estudio realizado en 1985 se obtuvo 0,24 µg/g. Como puede observarse en solo 12 años este contenido aumentó y esta por encima del L.M.P. de 2,5 µg/g según Stelle (1995), para especies marinas ,sin afectar su metabolismo y por debajo del L.M.P. fijado por el CAME (1982) para crustáceos y moluscos de 10 µg/g el incremento observado en los últimos años en la especie estudiada obedece a un aumento de la concentración de este metal en el medio marino en general, lo cual se corrobora con el aumento observado en el nivel de Pb en los sedimentos (ver Fig.3 del anexo).

Tabla 4.7.1 Contenido de metales pesados en camarones.

Referencia	Pb ($\mu\text{g/g}$)	Cu ($\mu\text{g/g}$)	Zn ($\mu\text{g/g}$)
LMP (CAME)	10	–	–
LMP (sin afectar el metabolismo)	2,5	–	–
Norma Australiana	–	50	–
Zonas muy contaminadas	–	57	38 a 65
Manzanillo (1979)	0,00124	5	–
Manzanillo (1985)	0,24	17,4	–
Manzanillo (actual)	3,26	18,44	57,6

El contenido promedio de Cu 18,44 $\mu\text{g/g}$ está por encima del observado en el estudio anterior de 1985 que es de 17,4 $\mu\text{g/g}$ y por encima de los valores obtenidos en 1981 en la ensenada del Broa de 5 $\mu\text{g/g}$, no obstante estos contenidos están muy por debajo de la norma Australiana de 50 $\mu\text{g/g}$, el CAME (1982) no reporta límite para este metal. Según Villanueva et al (1988) se encontraron valores de 57 $\mu\text{g/g}$ y de 4 $\mu\text{g/g}$ en la Laguna del Ostión, en Veracruz.

Los contenidos promedio de Zn de 57,6 $\mu\text{g/g}$ están por debajo de los valores encontrados por Villanueva et al en el Río Coatzacoalcos de 65 $\mu\text{g/g}$ y por encima de los reportados por este mismo autor para la Laguna del Ostión 38 $\mu\text{g/g}$, en trabajos anteriores realizados en la zona de estudio no existen referencias a este elemento.

4.8 Resultados del análisis de metales pesados en sedimentos

El contenido promedio de Pb en los sedimentos es de 16,76 , muy superior al reportado por el estudio realizado en esta misma zona (1979) de 1,18 $\mu\text{g/g}$ y también con respecto al de (1985) de 12,6 $\mu\text{g/g}$ lo que indica un efecto acumulativo de este metal en

el medio marino, el promedio encontrado es superior al reportado por WHO (1971) que es de 1-10 µg/g y muy inferior al reportado en zonas muy contaminadas de México, Bothelo y Villanuevas de 158,68 µg/g y así mismo esta por debajo del LMP según Chester (1990) que es de 20 µg/g. Respecto a otras bahías de Cuba el contenido encontrado es inferior al de Moa (1993) de 46,7 µg/g y al encontrado en las bahías de Nipe y Levisa de 27 y 32 µg/g respectivamente. La tabla presenta los resultados obtenidos para los sedimentos.

Tabla 4.8.1. Contenido de metales pesados en sedimentos de fondo.

Referencia	Pb (µg/g)	Cu (µg/g)	Zn (µg/g)	As (µg/g)
WHO	1 - 10	–	–	–
Zonas muy contaminadas	158,68	–	–	–
LMP (Chester)	20	10	20	–
Bahía de Moa	46,7	69,3	172	17
Bahía de Nipe	27	27	65	–
1979 (Manzanillo)	1,18	–	–	–
1985 (Manzanillo)	12,6	45,7	–	–
Actual (Manzanillo)	16,76	45,28	69,6	28,3

El contenido promedio de cobre es de 45,48 µg/g similar al reportado en el estudio anterior (1985), dentro de los límites obtenidos por Rosales (1994) de 10 µg/g a 50 µg/g y muy superior al LMP según Chester (1980) de 10 µg/g. Respecto a otras bahías el contenido de cobre es superior al de Nipe y Levisa de 27 y 30 µg/g respectivamente y es inferior al de la bahía de Moa de 69,3 µg/g.

El contenido de Zn promedio es de 69.6 µg/g se encuentra dentro de los límites reportados por Rosales (1994) de 30 -140 µg/g, aunque muy por encima del LMP según

Chester de 20 $\mu\text{g/g}$. Así mismo este contenido es superior al de las bahías de Levisa y Nipe de 65 y 67 $\mu\text{g/g}$ respectivamente e inferior a la concentración promedio en Moa de 172 $\mu\text{g/g}$.

El contenido de As es de 28,3 $\mu\text{g/g}$ es muy superior a la única referencia encontrada, el reportado en la bahía de Moa de 17 $\mu\text{g/g}$. En la Figura 1 del anexo Se puede ver el comportamiento de los contenidos de los diferentes metales en las estaciones muestreadas.

Es significativo el resultado obtenido, si analizamos como se ha comportado el nivel de concentración de Pb a partir del año 1979 (a solo 1 año de la puesta en funcionamiento de la fábrica de acumuladores) hasta la fecha en camarones y sedimentos. En la Fig. 4 del anexo se muestran estos resultados.

En los últimos 12 años el contenido de Pb creció en camarones aproximadamente 13 veces, en tanto que en sedimentos el aumento brusco se produjo en los primeros 6 años y en los últimos 12 continúa el incremento como es de esperar debido al efecto acumulativo de este metal traza, lo que nos lleva a pensar que el incremento detectado en los niveles de Pb en camarones obedece a un aumento de este metal en el medio marino en general y en particular en la zona costera lo cual se refleja en el alto contenido del mismo encontrado en sedimentos, si analizamos el contenido de Pb en sedimentos del río Yara en las proximidades de la fábrica de acumuladores encontrado por Ginarte (1999) de 25,6 $\mu\text{g/g}$ y lo comparamos con el hallado por Arencibia (1985) que fue de 10,5 $\mu\text{g/g}$ y el reportado por Suárez (1979) de 2,7 $\mu\text{g/g}$, en la misma zona, podemos concluir que este aumento brusco y sostenido de las concentraciones de Pb en sedimentos y camarones tiene su origen fundamentalmente en la incorporación por el sistema pluvial al río Yara de los residuales de la fábrica de acumuladores XX Aniversario sin dejar de tener en cuenta el aporte de otras fuentes como los residuales domésticos vertidos directamente a la costa y los derrames de petróleo propios de la actividad portuaria.

4.9 Determinación de los índices de Geoacumulación

Al determinar la magnitud de la contaminación en un sistema acuático por la medición de la concentración de metales pesados en sedimentos es de primordial importancia el establecimiento de los niveles naturales de ese elemento (background) y luego con los niveles actuales establecer el enriquecimiento total originado por la influencia antropogénica. Varias posibilidades fueron sugeridas para establecer los valores de background para metales trazas (Forstner and Wittmann, 1979), entre las que se encuentra los valores establecidos a escala global para sedimentos arcillosos:

Tabla 4.9.1 Niveles de Background para sedimentos arcillosos

Zn	16 µg/g
Cu	15 µg/g
Pb	7 µg/g
As	1 µg/g

La metodología para la evaluación cuantitativa de la contaminación en sedimentos acuáticos por metales pesados fue establecida por Muller (1979) con el término "Índice de Geoacumulación".

$$I_{geo} = \log_2 (C_n / 1,5 \cdot B_n)$$

Donde:

C_n es la concentración actual del elemento

B_n es el valor del background en sedimentos superficiales

El I_{geo} alcanza valores de 0 a 6, el valor 0 indica ausencia total de contaminación y el valor 6 indica contaminación máxima ($C_n \approx 100 B_n$). En la tabla 4.9.2 se muestran los resultados obtenidos para los distintos puntos muestreados

Tabla 4.9.2 Índices de Geoacumulación para el Pb, Cu, Zn y As en los sedimentos de la bahía de Manzanillo.

Puntos de muestreo	Pb	Cu	Zn	As
1	0,444	1,263	-	4,542
2	0,774	1,536	1,945	3,907
3	0,475	-0,916	0,722	2,744
4	0,516	-0,136	0,202	2,744
5	0,660	1,367	1,816	2,744
6	1,050	1,287	1,379	4,053
7	0,799	-0,029	1,220	5,825

Como puede observarse los resultados para el Pb, Cu, y Zn muestran que la zona de estudio no presenta un nivel de contaminación importante ya que todos los resultados están comprendidos entre 0 y 1. En el caso del As los resultados para las estaciones 1,2, 6 y 7 muestran un alto grado de contaminación según este índice.

4.10 Resultados del análisis de la distribución espacial de los contaminantes

A continuación se muestran en las tablas 4.10.1, 4.10.2 y 4.10.3 los resultados obtenidos para las diferentes estaciones de muestreo en ostiones, camarones y sedimentos, como se observa no fue posible coleccionar muestras de ostiones y camarones en todas las estaciones ya que en particular los camarones han disminuido drásticamente su población en la zona, una de las más importantes tradicionalmente.

Tabla 4.10.1 Resultados en ostiones

Muestra	Pb (µg/g)	Cu (µg/g)	Zn (µg/g)	As (µg/g)
O1	nd	66,75	305,31	nd
O2	nd	157,4	403,84	nd
O3	nd	141,72	818,3	nd
O4	nd	129,48	471,66	nd
O5	nd	109,75	673,13	nd

Tabla 4.10.2 Resultados en camarones

Muestra	Pb (µg/g)	Cu (µg/g)	Zn (µg/g)	As (µg/g)
C1	4,5	24,5	58	nd
C2	2,05	23,45	57,75	nd
C6	2,25	15,32	53	nd
C7	4,22	11,92	62,02	nd

Tabla 4.10.3 Resultados en sedimentos

Muestra	Pb (µg/g)	Cu (µg/g)	Zn (µg/g)	As (µg/g)
S1	14,25	54,1	85,725	35
S2	18,025	65,38	92,45	22,5
S3	14,6	11,95	39,53	10
S4	15	20,65	27,55	10
S5	16,55	58	84,4	10
S6	21,75	54,9	62,45	25
S7	18,3	22,09	55,85	85

Para la representación espacial de los contenidos de los metales pesados estudiados se elaboraron mapas en los que se muestra esta distribución en las diferentes estaciones de muestreo con una escala de colores de acuerdo a los niveles metálicos encontrados (Fig. 6, 7 y 8)

Como puede observarse en la Fig.6 para el plomo en los sedimentos los valores más altos se ubican para los sedimentos en la desembocadura del Yara (estación 2), así como en punta Guá (estación 6) y en Punta Caimanera (estación 7), lo cual puede estar asociado a la actividad industrial de la fábrica de acumuladores cuyos desechos son arrastrados por la corriente del río Yara, la dirección del movimiento de las aguas superficiales en la bahía es paralela a la línea de costa del río Felipe hacia el Guá por lo que la mayor acumulación de los sedimentos provenientes del río Yara se produce en estos puntos. Debemos señalar que la estación # 7 está referido por Arencibia (1985) como el punto de mayor concentración de Pb. A su vez el valor más bajo se obtuvo en la desembocadura del río Felipe (estación 1) que se ubica en dirección contraria al movimiento de la corriente, así como en la zona de los Cayos.

En el caso del cobre (Fig. 7) para sedimentos los valores más altos se obtuvieron en la desembocadura del Yara y el más bajo en cayo Cayita (punto 3), zona esta alejada de la costa. Para los ostiones el valor más alto se obtuvo en las estaciones 2 y 3 lo que puede estar asociado a los desechos arrastrados por la corriente del río Yara de origen antropogénico, así mismo el valor mínimo se observa en la desembocadura del río Felipe. Hay que señalar que Arencibia (1985) obtuvo resultados que demuestran la existencia homogénea de Cu en la zona.

En lo que se refiere al Zn (Fig. 8) para los sedimentos los valores máximos se obtuvieron en las estaciones 1,2 y 5, desembocadura de los ríos Felipe, Yara y Guá respectivamente, así como el valor mínimo en cayo Jorobado (estación 4).

Debemos recordar que en la zona se encuentra una fábrica de tubos que utilizaba la galvanización por Zn. En ostiones los valores máximos se observan en Cayo Cayita (estación 3) frente a la desembocadura del Yara y en la desembocadura de Guá (estación 5), así como el valor mínimo en la desembocadura del río Felipe.

Los ostiones por ser organismos bentónicos y tener hábitos filtradores ingieren material del agua y tienden a concentrar los elementos esenciales en este caso el Cu y Zn. Para los camarones y otros organismos del necton los contaminantes pueden llegar ocasionalmente a través de la cadena alimentaria y la mayoría de las veces no es posible determinar su origen, gracias a su movilidad y variaciones en el régimen alimentario tienden a amortiguar las diferencias temporales y espaciales de los contaminantes, por lo que no resulta de interés el análisis de la distribución espacial de los contaminantes.

4.11 Determinación del índice de contaminación urbano industrial (C.U.I)

A través del estudio de los sedimentos Papakostidis et al (1975), establecieron diferentes índices de contaminación entre los que se encuentra el índice de contaminación urbano industrial definido como:

$$\text{C.U.I} = [\text{Cu}] + [\text{Pb}] + [\text{Zn}]$$

El Pb, Cu, y Zn son considerados indicadores clásicos de la actividad humana porque ellos provienen de fuentes urbanas e industriales (Forstner and Wittman, 1979); (Yim and Fung, 1981); (Castaing et al, 1986) y (Baisch et al, 1988). En la Fig. 9 del anexo, así como en el mapa (fig. 10) se muestra el resultado de la distribución espacial del índice de contaminación urbano industrial para las diferentes estaciones de muestreo, en el mismo se observa que la zona de los cayos (estaciones 3 y 4) presenta un menor índice de contaminación en tanto que las desembocaduras de los ríos: Felipe, Yara y Guá presentan los valores más elevados como era de esperar.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- Se observa un incremento progresivo de considerable magnitud en los niveles de Pb detectados en sedimentos y camarones respecto a estudios anteriores en la misma zona. En el caso de los camarones el nivel de Pb encontrado (3,26 µg/g) es muy inferior al LMP fijado por la OMS y el CAME para considerar las especies marinas aptas para el consumo de 10 µg/g.
- Las concentraciones de Pb halladas en los camarones son superiores al LMP establecido, para que no ocurran afectaciones al metabolismo de las especies marinas de 2,5 µg/g, de donde se podría inferir que el incremento de estos contenidos en la zona puede ser una causa de la disminución de los volúmenes de captura y del desplazamiento de los mismos a zonas de menor contaminación.
- El contenido de Pb no fue detectado en ostiones, lo que comprueba la teoría de que a pesar de ser organismos bentónicos filtradores no acumulan los elementos que no son esenciales para su metabolismo.
- Los contenidos de Cu y Zn se mantienen en los límites normales para sedimentos y camarones en comparación con estudios anteriores en la misma zona y estudios reportados por la literatura a nivel mundial.
- Se obtuvo un comportamiento de los contenidos de metales pesados en todos los medios muestreados: Zn>Cu>Pb según lo reportado en la literatura.
- Los contenidos hallados en particular para el Pb en sedimentos son muy elevados en la zona de la desembocadura del río Yara, así como en la zona

costera cercana en la dirección del movimiento de las aguas lo cual indica la posibilidad de que residuales vertidos al río Yara por el sistema pluvial provenientes de la Fabrica de Acumuladores constituyen la principal causa del incremento de los niveles de Pb en la zona de estudio.

- Se han producido afectaciones severas al ecosistema marino, en particular en el tramo costero cercano a las desembocaduras de los ríos Guá y Yara, el ecosistema de la zona de los cayos presenta un buen estado de conservación.
- El resultado del cálculo del índice de Geoacumulación indica que la región de estudio no presenta una contaminación importante provocada por Pb, Cu y Zn.
- El cálculo del índice de contaminación urbano industrial para las diferentes estaciones, indica que las zonas de mayor contaminación causada por la actividad antropogénica son las cercanas a las desembocaduras de los ríos: Yara, Felipe y Guá.

5.2 Recomendaciones

- Realizar un monitoreo sistemático de la zona comprendida entre la Ensenada del río Felipe y la desembocadura del río Gua para determinar los niveles metálicos dado su efecto acumulativo, en sedimentos, ostiones y camarones.
- Realizar un estudio mas completo, incluyendo otras variables para la determinación de los niveles de contaminación en general existentes en la Bahía de Manzanillo.
- Proponer se valore la instrumentación de un plan para la protección de la Bahía de Manzanillo dada su importancia económica por las especies allí existentes.
- Desarrollar un Programa de Educación Ambiental que enfatice en la necesidad de proteger el ecosistema marino de la región.
- Se valore la posibilidad de buscar una tecnología apropiada para resolver el problema del vertimiento de los residuales directamente a la costa propuesto en el Proyecto de Inversión de Baterías Plásticas Empresa XX aniversario de Manzanillo.

BIBLIOGRAFÍA

1. Arencibia, G; E, Perigó. Determinación de metales pesados en camarón blanco y rosado de la Ensenada de la Broa. Mar y Pesca . (Havana). 23:5-7, 1981.
2. Arencibia, G; Perigó, E. Estudio de la contaminación costera de la zona Santa Cruz del Sur hasta Niquero. Mar y Pesca. (Habana). 25:22-25, 1985.
3. Ávila, P. Evaluación de los niveles de bioacumulación por metales pesados en el ostión *Crassotea virginica* como indicadores de la contaminación por hidrocarburos en el canal El Chijol. Tesis profesional, Escuela de Biología, Universidad Autónoma de Guadalajara, México. 1988. 12 p.
4. Ávila, P; et al. Concentración de metales pesados en ostiones del canal "El Chijol. Rev Contaminación. (México). 9(2):13-16, 1993
5. Baish, P. Et al. Trace metals distribution in the sediments of the Patos Lagoon Estuary. Rev. Contaminación. (Brasil). 20:4-7,1988.
6. Bernhard, J. Trasport of trace metals in Marine Food Chains. Springer Verlag . (Berlin). 8:143- 167, 1984.
7. Bowen, H.J.M. Environmental Chemistry of the Elements. Elsevier. London. 1997, 234 p.
8. Calá, E, et al. Estudio de la Bahía de Manzanillo. Informe CITMA. Granma.1995.
9. CAME . Informe Reunión del CAME. Moscú. 1992.
10. Carrasco, G. Relevamiento de la contaminación por metales pesados en la costa oeste de Montevideo, Uruguay. Rev. Int. Contaminación. Amb. (Brasil). 8: 148-152. 1993
11. Casas Sabata, J.M. Contaminación por metales pesados, Cataluña. 1996, 278 p.
12. Casas, J .M. Optimización simple del ataque ácido de sedimentos fluviales para la determinación de Pb. Química Analítica.9 (2): 156-163. 1990

13. Castaing, P. Et al. Heavy Metals is origin and concentration in the sediments of the pointe Pitre Bay (Guadalupe- Lesser Antilles). Envirom. Geol. Water.Sei, (8): 175-184. 1986
14. CIMAB. Manejo ambiental de la bahía de Nipe. CITMA. Informe final. 1993
15. CITMA Estrategia Nacional Ambiental hasta el año 2000. Dirección de Política Ambiental. Habana.1995.
16. Cun,. Especies de camarones marinos (Penaeus) adaptados a las condiciones de cultivo en Ecuador. Bol. Cient. Tecn; INP. (Ecuador) 4: 33-35. 1982.
17. Chester, R. Marine Geochemistry. London, 735 p, 1990.
18. Diaz, J. Reporte de investigación. Instituto de Oceanología, Cuba. No 15. 1992.
19. Emilson, F; J. Tápanes. Contribución a la Hidrología de la plataforma sur oriental de Cuba. Mar y Pesca (La Habana). 6: 15-18. 1971.
20. FAO Manual of methods in aquatic environment research, Part 1. Methods for detection, measurement and monitoring of water pollution. FAO Fish.Tech. Pap. (Londres) 137: 238-244. 1975.
21. Forstner, U; G. Wittman Metal pollution in the aquatic environment. Springer – Verlag. Berlin, Cap. 6: 324 - 359. 1979.
22. Galván, L ; G, Corey Arsénico. Serie Vigilancia 3. Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud. OPS. OMS. 1987
23. Georges, G. et al Some aspects of the relationship between tolerance to heavy metals pollution and metabolism of Cd, Cu and Zn in oyster. Thalassia Yugosl. 18 :203-219. 1982.
24. Ginarte, Z.. Estudio de la contaminación por metales pesados en el entorno de la fábrica de acumuladores de Manzanillo, CITMA, Granma.1999.
25. Goldberg, E. D. The Mussel Watch Concept. La Sirena. In: Noticias del programa de Naciones Unidas para el medio ambiente para los mares regionales. 23:45-49. 1984.

26. González, H., et al. The effect of Ni mining and metallurgical activities of the distribution of heavy metals in Levisa Bay, Cuba. Journal of Geochemical Exploration. 52 :183-192. 1994.
27. González, H. Biogeochemistry 14 : 113-128. 1991
28. González, H. et al. Heavy metals in litoral deposits of Havana City. Cuba. Chem. Ecol.(5): 171-179.1991.
29. Hernández, J.M. et al Metales pesados en sedimentos superficiales de la bahía de Nuevitas, Cuba in II Congreso de Ciencias del mar, La Habana. 1990.
30. Herrera, A. El Bentos marino: un monitor natural de la calidad del ambiente. Mar y Pesca (Habana). 24: 23-26.1987
31. Krause, G. Caracterizacao dos atrios ambientais en áreas seleccionadas da zona costeira brasileira. MMA/PNMA. Brasil. 52:51-54. 1998.
32. Martinez, M. et al. Estudio del impacto derivado del desarrollo minero-metalurgico del Ni en el litoral noreste de Cuba. Informe final.(Habana). 1993.
33. Martinicie, D. et al. Bioaccumulation of heavy metals by bivalves from Lim Fjord. Mar. Biol. 81: 1777-1788. 1984.
34. Morales, P.¡ Peligro! Contaminación . Mar y Pesca (Habana). 24: 33-36.1984.
35. Morris, I. The physiology Ecology of Phytoplankton. Black Scientific Publications. (England). 4:651-655. 1980.
36. Paez Osuna et al Metales pesados en cuatro especies de organismos filtradores de la región costera de Mazatlán: Técnicas de extracción y niveles de concentración. Contam. Ambient. (México) 4: 33-41.1988.
37. Papakostidis, G. Et al. Heavy metals in sediments from the Athens, sewage outfall area. Mar. Pollut. Bull. 6: 136-139. 1975.
38. Perigó, E. et al. Panorama actual de contaminación en zonas de importancia pesquera en la plataforma cubana. Mar y Pesca (Habana). 25:24-28. 1983.

39. Rosales L et al. Study of Antropogenically induced trace metals in the continental shelf in the southeastern part of the Gulf of Mexico. Rev. Int. Contam. Ambient. 10 (1): 9 -13.1974.
40. Rosas, I. et al. Oyster *Crassostrea Virginica* as indicator of heavy metals pollution in some lagoons of the Gulf of Mexico. Water, Air, Soil, Pollut. 20:127-135. 1983.
41. Rosas, I. et al. Niveles de Pb, Cr y Cd en *Callinectes Sapidus* y *C. Sirnilis* y su relación con la concentración de estos en el agua y sedimentos. Rev. Invest. Marine 4:71-87.1989.
42. Steele, J. H. Traspaso biológico de contaminantes y sus efectos en los organismos. FAO/SIDA supp. 1: 328 p. 1975.
43. Suárez, G. et al. Estudios sobre contaminación en las aguas de la plataforma sur oriental de Cuba. Mar y Pesca (Habana). 23:10-14. 1977.
44. Tápanes, J. Importancia y clasificación de los estuarios. Mar y Pesca (Habana). 28:10-14. 1975.
45. Thibodeaux, L. Environmental Chemodynamics. Mc Graw Hill. New York . 593 p,1996.
46. Vallee, B.L Molecular basis of enzyme action an inhibition. Proc. 5th Intern. Congr. Biochem. Moscú. (4): 162 –171.1963.
47. Villanuevas, S. et al Evaluación de algunos metales pesados en organismos del Río Coatzacoalcos y de la Laguna del ostión, Veracruz, México. Contam. Ambient. 4: 19-31.1988.
48. Villanuevas, S., A. V. Bothello Metales pesados en la zona costera del Golfo de México y Caribe Mejicano: una revisión. Rev. Int. Contam. Ambient. 8: 47-61.1992.
49. WHO International standards for drinking water. 3^{ro} ed. Geneva. World Health Organization.74 p.1971.
50. Yim, W.W.S ; Fung,K.W Heavy metals in marine sediments of Hong Kong. Eng 9: 33-49. 1981.

ANEXOS

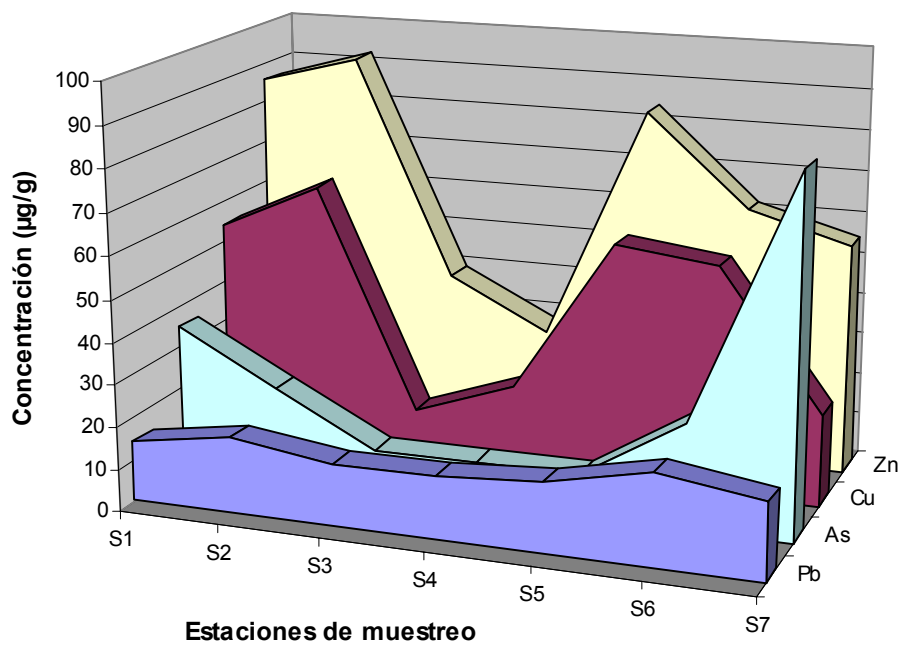


Fig.1 Contenido de metales pesados en sedimentos

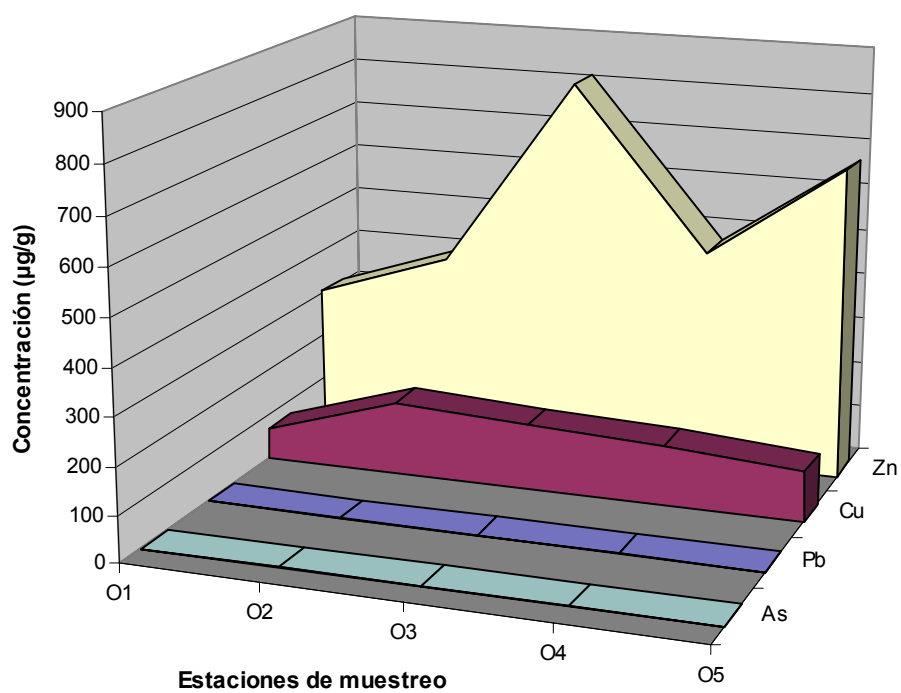


Fig. 2 Contenido de metales pesados en ostiones

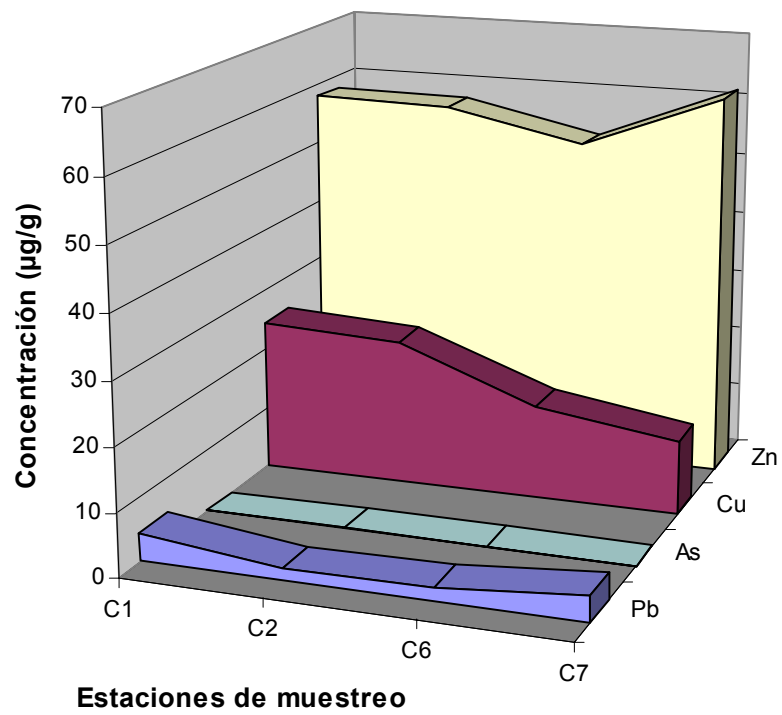


Fig.3 Contenido de metales pesados en camarones

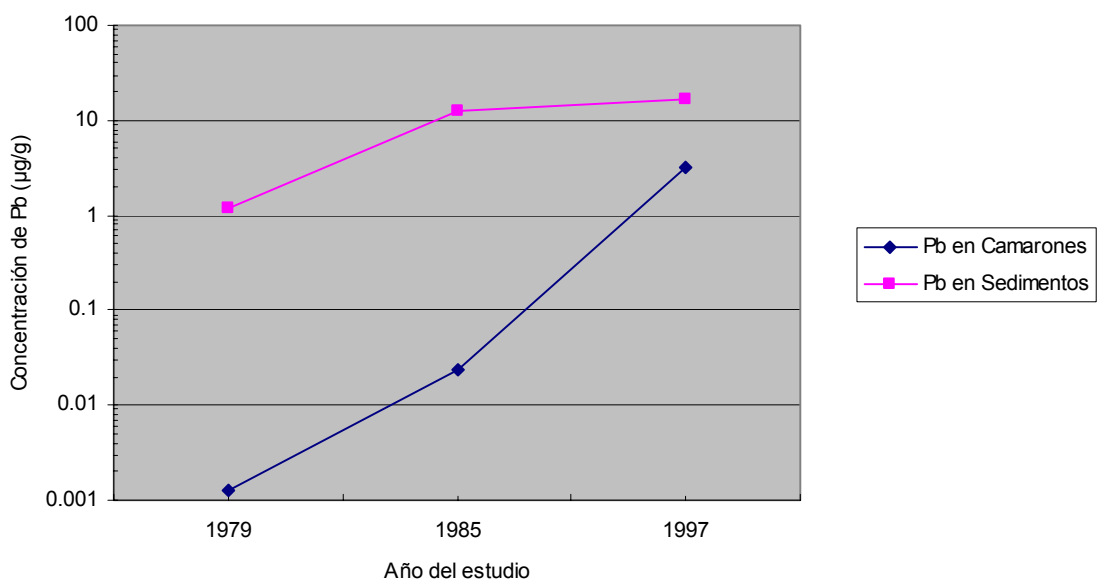


Fig. 4 Comportamiento Temporal del Contenido de Pb en Camarones y Sedimentos

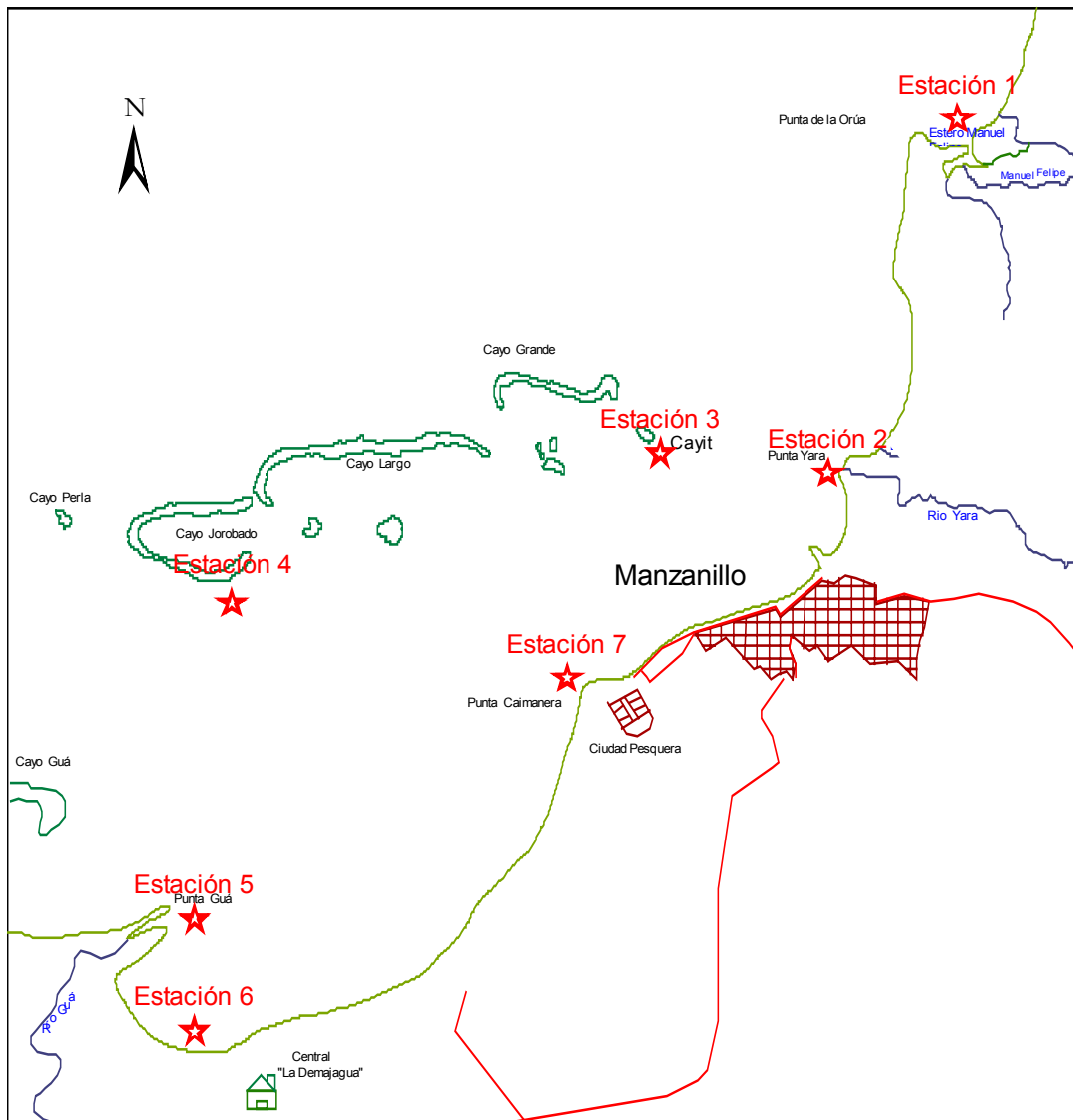


Fig. 5 Ubicación de las estaciones de muestreo

Escala 1: 100 000

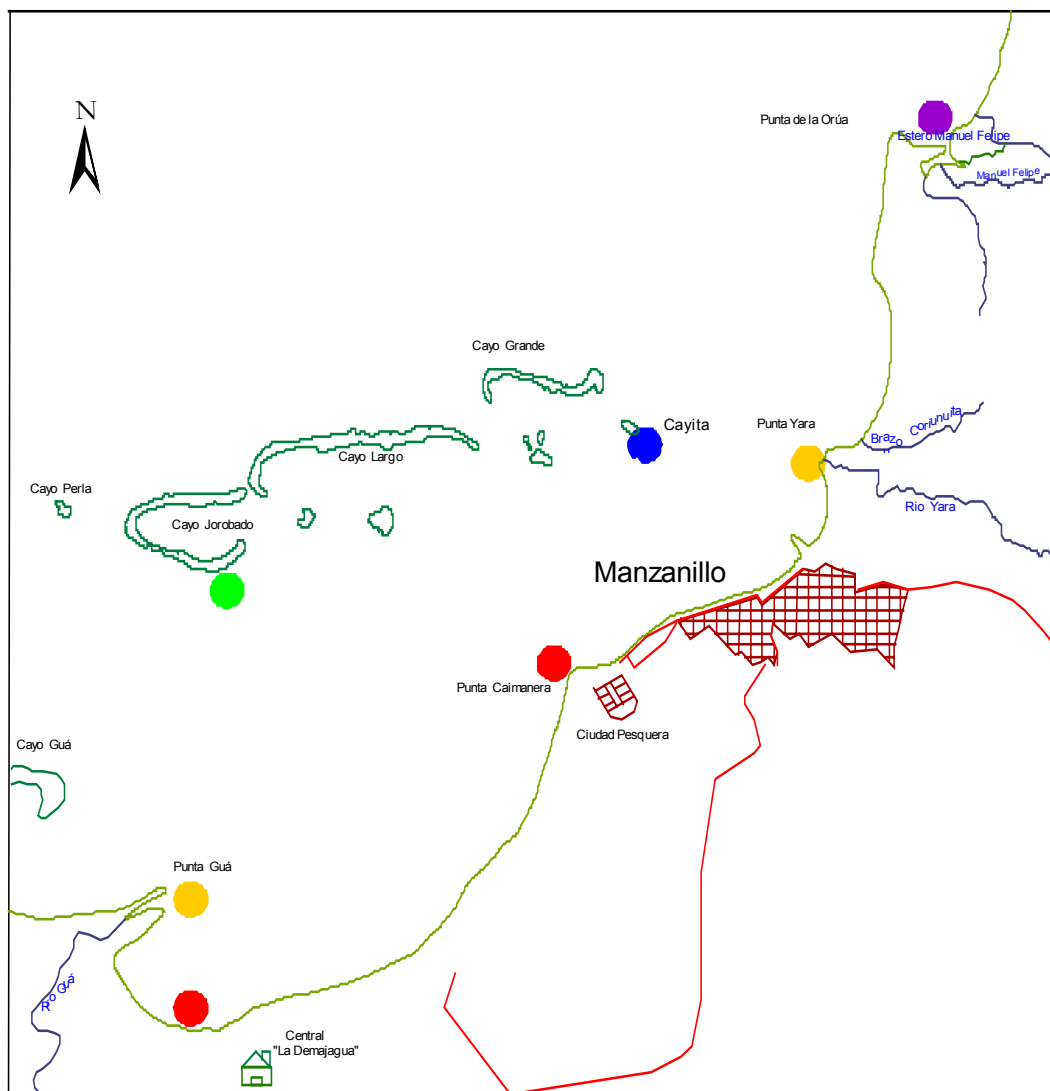


Fig.6 Distribución espacial del Pb en los sedimentos

Escala 1: 100

Intervalos de clases	
●	14.3 a 14.6 ppm
●	14.6 a 15 ppm
●	15 a 16.6 ppm
●	16.6 a 18.3 ppm
●	18.3 a 21.81 ppm

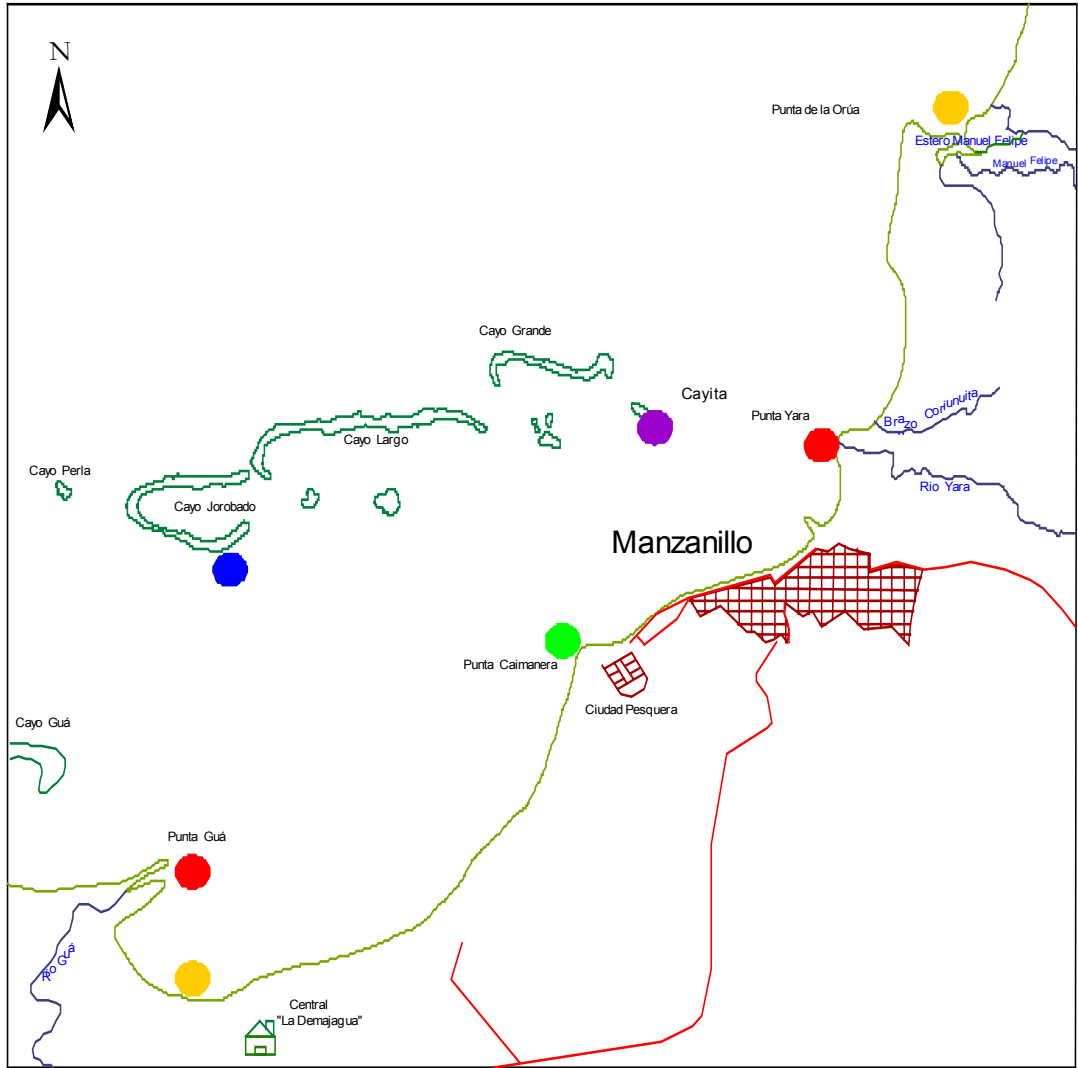


Fig. 7 Distribución espacial del Cu en los sedimentos

Escala 1: 100

Intervalos de clases	
●	11.9 a 20.6 ppm
●	20.6 a 22 ppm
●	22 a 54 ppm
●	54 a 58 ppm
●	58 a 75.01 ppm

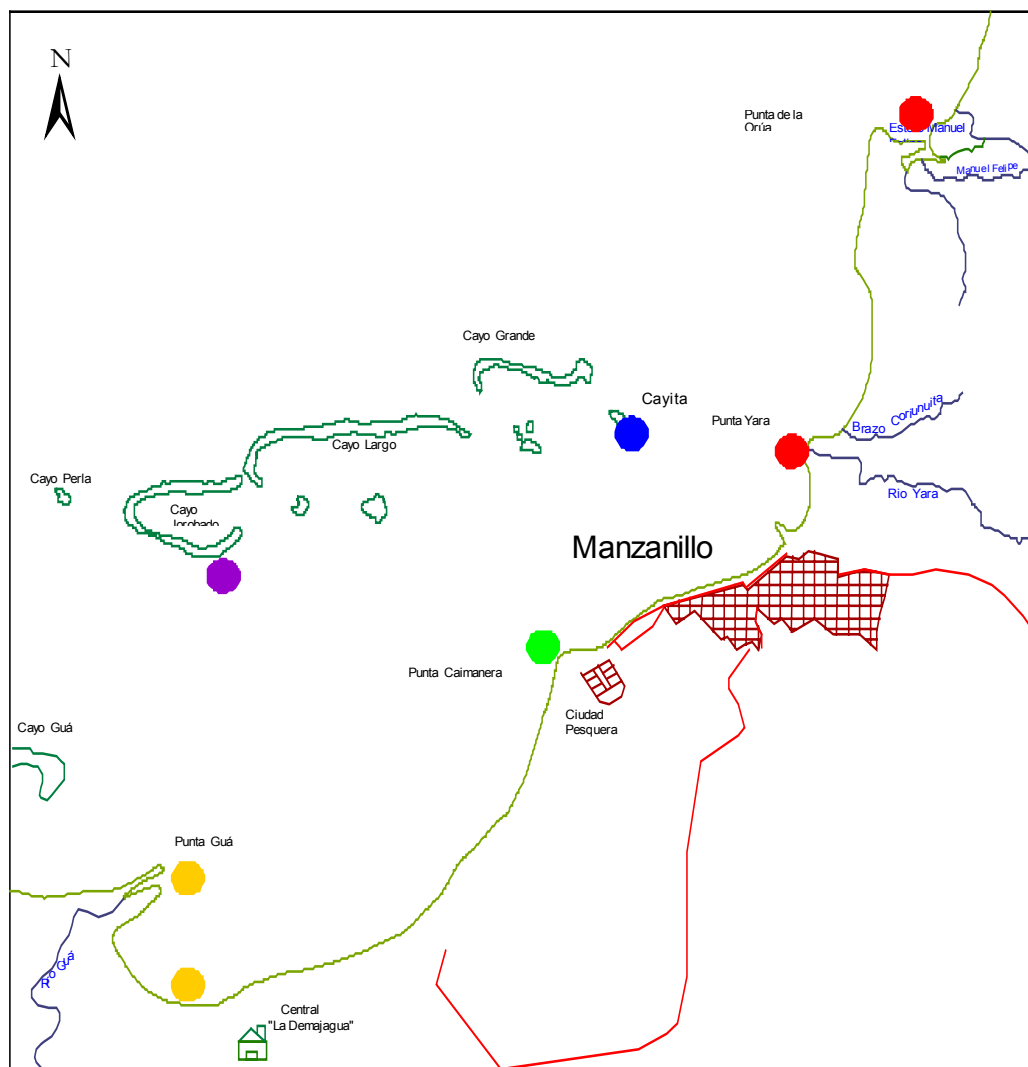


Fig. 8 Distribución espacial del Zn en los sedimentos

Escala 1: 100 000

Intervalos de clases	
●	27.5 a 39.5
●	39.5 a 55.8
●	55.8 a 62.4
●	62.4 a 85.7
●	85.7 a 92.41

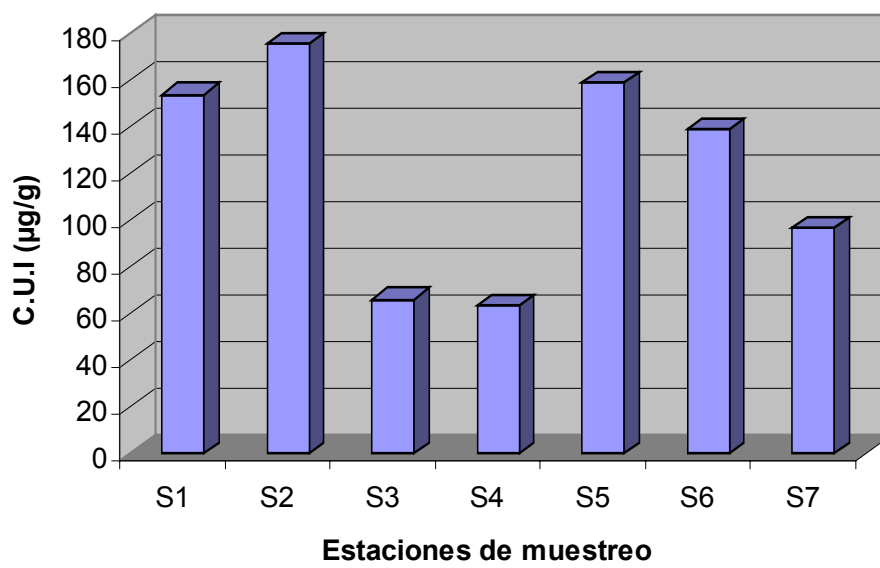


Fig. 9. Índice de contaminación Urbano Industrial



Ilustración 1. Vista del central azucarero "La Demajagua" el cual vierte sus residuales sin tratar, al ecosistema marino



Ilustración 2. Estación de muestreo No. 4 Punta Este de Cayo Jorobado donde se encontró un buen estado de conservación del ecosistema.



Ilustración 3. Estación de muestreo No.5 situada en punta Guá.



Ilustración 4. Vista de Cayo Largo desde el mar.



Ilustración 5. Estación de muestreo No. 3 en Cayo Cayita frente a la desembocadura del Río Yara.



Ilustración 6. Estación de muestreo No. 1 próxima a la desembocadura del Río Felipe, abundantes en marismas y pantanos de aguas salobres.



Ilustración 7. Estación de muestreo No. 2 en la desembocadura del Río Yara es una de las principales fuentes de residuales industriales al ecosistema de la bahía.



Ilustración 8. Zona próxima a la desembocadura del Río Guá.