

Universidad de la Habana
Instituto de Farmacia y Alimentos

**IMPACTO DE LOS METALES CONTAMINANTES EN LA CALIDAD DE LA
TILAPIA (*Oreochromis aureus*) CULTIVADA EN CUBA**

Tesis para optar por el título de Maestro en Ciencia y Tecnología de los Alimentos

Autora: María Aurora Pis Ramírez

Tutoras: Dra. Tania Bilbao
Dra: María de Lourdes Nodarse

Julio 1999

DEDICATORIA

A mi familia, en especial a mi hijo.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi mayor agradecimiento a mis tutoras las doctoras Tania Bilbao y Ma. De Lourdes Nodarse por la dirección de esta tesis; así como a la Lic. Margarita Núñez, Jefa del Dpto de matemáticas del IIIA por su asesoramiento en el tratamiento estadístico de los resultados. Agradezco también a los miembros de mi grupo de trabajo Lic. Marta Marilis Lezcano, Tec. Paulina Serrano y MSc. Gerardo Navarro, por la unión con la que trabajamos, junto con los compañeros del laboratorio de Cuba Control, MSc. Nelson Fernández y Tec. Luisa Bello colaboradores en la ejecución del trabajo.

A mi jefa MSc. Elisa García por su apoyo, a mi compañera y amiga Lic. Carmen Wong por su valiosa ayuda en la confección de los gráficos y la impresión de la tesis, a la MSc. Victoria Díaz por sus consejos, al Tec Ricardo González por la confección de los mapas, al Lic. Daniel Martínez por su ayuda y en general a todos los compañeros de la Subdirección de Tecnología y del CIP que de una forma u otra colaboraron conmigo en la elaboración del trabajo

Mi agradecimiento además a los compañeros de la Empresa Nacional de Acuicultura, de las Empresas provinciales Ciudad de la Habana y Villa Clara y de la Empresa Hortifar por los datos aportados; así como a los compañeros jefes, pescadores y trabajadores de las presas estudiadas por su colaboración

Por último agradezco a mi familia por toda la comprensión y apoyo brindado a lo largo de todo mi trabajo

A todos, Muchas Gracias

RESUMEN

Se evaluó el impacto producido por los metales traza sobre ecosistemas acuáticos dedicados al cultivo de peces para la alimentación de la población, a través de la realización de estudios de determinación de los niveles de Pb; Cd; Hg; Fe; Cu; y Zn en el agua, sedimento y tilapias de tres presas de interés comercial para el país; dos situadas en la Ciudad de la Habana (Paso Seco y Niña Bonita) y una en Villa Clara (Palmarito).

Los resultados obtenidos mostraron niveles de Pb en agua y de Hg, Pb y Cd en el sedimento de las presas que denotaron contaminación de origen antropogénico, lo que trajo como consecuencia que las tilapias cultivadas presentaran en muchos casos niveles de metales traza tóxicos por encima de los límites máximos permisibles en las normas cubanas, recomendándose su consumo en forma de productos elaborados con un bajo índice de insumo de pescado; así como el control sistemático de los metales en las presas.

Los puntos de entrada de agua a las presas a través de ríos y arroyos, fueron los que presentaron los mayores niveles de metales tanto en el agua como en el sedimento, lo que evidenció que el vertimiento de residuales sin tratar de las industrias, fábricas, áreas de cultivo y poblados aledaños contaminan esos ecosistemas con metales tóxicos, perjudicando a un recurso pesquero destinado al consumo de la población y a la exportación.

INDICE

INTRODUCCIÓN

1- REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

- 1.1- Desarrollo de la Acuicultura en Cuba
 - 1.1.1- La tilapia. Breve descripción de la especie.
 - 1.1.2- La tilapia. Calidad como alimento
- 1.2- Contaminación del medio ambiente acuático.
- 1.3- Metales traza como contaminantes de medio ambiente acuático.
 - 1.3.1- Metales traza tóxicos.
 - 1.3.2- Otros metales de interés en la contaminación del medio ambiente acuático
- 1.4- Reglamentaciones vigentes en Cuba sobre Límites Admisibles de contaminantes metálicos en pescados y aguas de cultivo de organismos acuáticos.

2- MATERIALES Y MÉTODOS

- 2.1- Presa Palmarito.
- 2.2- Presa Niña Bonita.
- 2.3- Presa Paso Seco.
- 2.4- Procedimiento para los muestreos.
- 2.5- Procedimiento para la realización de los análisis.
- 2.6- Procedimiento estadístico

3- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

- 3.1- Niveles de metales traza en la presa Palmarito.
- 3.2- Niveles de metales traza en la presa Niña Bonita
- 3.3- Niveles de metales traza en la presa Paso Seco
 - 3.3.1- contenido de Hg y Cd en diferentes tallas de tilapias de la presa Paso seco.
- 3.4- Comparación del comportamiento de los metales traza en las presas estudiadas.

4- CONCLUSIONES

5- RECOMENDACIONES

6- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

7- ANEXOS

INTRODUCCION

En la actualidad, el medio ambiente ha sufrido un gran deterioro debido a la industrialización alcanzada a nivel internacional, por este motivo en los últimos años se ha visto una preocupación general en el mundo por la preservación del mismo, expresado esto en las reuniones celebradas por los Jefes de Estado para trazar estrategias tendientes a contrarrestar los efectos negativos producidos por la contaminación en todas las esferas de la vida humana.

Con relación a los alimentos, la garantía de su consumo con la cantidad requerida de nutrientes y sin la presencia de sustancias dañinas a la salud, es también una preocupación, si se tiene en cuenta en primer lugar, el aumento experimentado en la población a nivel mundial, el decrecimiento de la disponibilidad de alimentos, en especial los de origen marino así como el agotamiento de muchos recursos naturales debido a la sobre explotación de los mismos o a problemas de contaminación que han motivado la desaparición en algunas regiones del mundo de diferentes especies de animales y plantas.

Frente a esta situación, en Cuba se está siguiendo una estrategia conducente al desarrollo acelerado de la explotación de los recursos pesqueros de agua dulce, como una vía importante de contribuir al aumento de la disponibilidad de una fuente de alimento, que como el pescado, es de alto valor nutricional para su destino tanto para el consumo de la población como para la exportación, obteniéndose esta materia prima de su cultivo en presas dentro del país, sin tener que depender de las capturas en aguas internacionales.

La Acuicultura en Cuba desde el triunfo revolucionario ha tenido un desarrollo acelerado, aprovechándose la construcción de presas, que originalmente eran para el riego en la agricultura y el abasto de agua en las poblaciones, para el cultivo de peces de agua dulce con destino al consumo humano, llegándose en la actualidad a alcanzar producciones de 60 000 t/ anuales de pescado para este fin, pronosticándose alcanzar para el año 2 000 una producción de 100 000 t / anuales.

La importancia que para el país ha significado el desarrollo de este tipo de cultivo ha motivado que recientemente haya surgido la preocupación del control de esos embalses, ya que muchos de ellos se encuentran situados en las cercanías de zonas urbanas, agrícolas e industriales que generan residuales portadores de sustancias altamente tóxicas a la salud del hombre y de los peces cultivados, tal es el caso de los metales traza plomo (Pb), cadmio (Cd) y mercurio(Hg) fundamentalmente. El vertimiento indiscriminado de residuales sin tratar a estos embalses trae como consecuencia la contaminación de estos ecosistemas con el consiguiente perjuicio para la calidad del agua y de los peces, lo que conlleva el incumplimiento de los objetivos trazados en cuanto a volúmenes de captura.

Como es conocido, los peces presentan un marcado carácter bioacumulador de metales, los cuales se depositan fundamentalmente en las vísceras y músculo en dependencia de la especie, edad, sexo, talla ; así como de los hábitos alimentarios y de vida, toda vez que por ejemplo los peces depredadores, migratorios y de largas cadenas alimentarias se reportan como bioacumuladores por excelencia de metales por excelencia, lo que hace que estos peces logren alcanzar altos niveles de los mismos.

La tilapia, dentro de los peces acuícolas cultivados en Cuba, ha ocupado un lugar destacado, por su fácil y rápida reproducción además de la alta la calidad de su carne y agradable sabor. Es un pez omnívoro que presenta una etapa de su vida cuya alimentación es bentónica y detritófora, lo que la hace susceptible de contaminarse en caso de encontrarse el sedimento contaminado, por lo que los objetivos del siguiente trabajo han sido encaminados hacia lo siguiente :

OBJETIVOS :

1-Determinación de los niveles de metales traza (Pb, Cd, Hg, Fe, Cu, Zn y Cr) en agua, sedimento y tilapias de las presas Paso Seco, Niña Bonita y Palmarito , para conocer si existe contaminación con estos metales en los ecosistemas y tomar las medidas que ayuden a la disminución de las causas que la originan.

2- Determinación de las tallas del pescado que resulten contaminados con estos metales y proponer la mejor forma de aprovechamiento de esas capturas.

3- Comparación de los niveles de metales entre las presas estudiadas y de la tilapia cultivada en cada una de ellas.

REVISION BIBLIOGRAFICA.

1- Desarrollo de la Acuicultura en Cuba.

La pesca a nivel internacional constituye un renglón importante en la alimentación de los seres humanos, y dentro de ella la acuicultura ha cobrado en los últimos años un gran auge ya que permite la obtención de pescado y mariscos en condiciones controladas por el hombre.

Cuba no presenta abundantes ni caudalosos ríos, por lo que en los años 60, se inició la construcción de presas con el objetivo de satisfacer las necesidades de agua para el desarrollo de la agricultura y la ganadería en el país. A partir de este momento se tomó la iniciativa de aprovechar también estos embalses para la cría de peces con destino a la alimentación de la población, lo que dio origen a una importante rama dentro de la Industria Pesquera, les decir la Acuicultura de agua dulce.

Para el desarrollo de la Acuicultura en el país fue necesario la introducción de especies foráneas que presentaban un alto poder reproductivo, un ciclo de vida corto y un alto poder de adaptación a las nuevas condiciones de las presas; así como se requirió de la capacitación de todo el personal en las técnicas de cultivo y manejo de estos peces.

Entre las especies introducidas en el país se encuentra la tilapia (*Oreochromis aureus*) y dentro de ella los géneros de tilapia *nilótica*, *mosámbica* y *melanopleura*, también fueron introducidas algunas especies de ciprínidos como la carpa común (*Cyprinus carpio*) y la carpa plateada (*Hypophthalmichthys molitrix*); todas ellas se adaptaron rápidamente a las condiciones de las presas cubanas.

La producción acuícola en Cuba ha experimentado un incremento sostenido desde sus inicios en 1968. En los años 70 se alcanzó una producción media anual de 1 368 t., en los 80 el incremento fue de 14 882 t. y en los años 90 al 95, la cifra casi se duplicó alcanzándose una media de 23 537 t., siendo en el año 1996 y 1997 de 50 000 y de 60 000 t. respectivamente, todo lo cual permitió pronosticar una producción de 100 000 t. para el año 2 000. (ACPA, 1997).

En la actualidad existen en el país 1 538 embalses dedicados al cultivo y pesca de especies de agua dulce y desde 1984 Cuba exporta sus productos de la acuicultura, con lo que obtiene divisas para el país. Solamente en el año 1997 se exportó a la Comunidad Europea 316. t. de pescado de agua dulce y se programó ir en aumento sostenido en los próximos años (D. 96/23/EC, 1998).

En la siguiente Tabla se muestra la producción anual de pescado procedente de la acuicultura en los últimos 10 años.

Tabla I. Producción de pescados de agua dulce en Cuba en los últimos años.

Año	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
t.	16,35	14,87	18,23	21,81	20,25	23,72	21,49	25,00	29,15	50,03	60,23

Como puede apreciarse la producción de este tipo de pescados experimentó un franco aumento, lo que hace que el Ministerio de la Industria Pesquera (MIP) esté priorizando el control de los acuatorios dedicados a estas actividades, tratando de contrarrestar con esto la posible influencia negativa que puedan ejercer factores externos sobre los objetivos propuestos.

Entre los mencionados factores externos se encuentra la factibilidad de contaminación de los embalses con sustancias químicas (metales, plaguicidas, fungicidas, entre otros), provenientes de residuales urbano-industriales vertidos sin tratar en las inmediaciones de los mismos, lo que ejerce una influencia negativa en el desarrollo de los peces pues dichas sustancias son bioacumuladas por el pescado provenientes del agua, el sedimento y del alimento que ellos ingieren. La contaminación del pescado con estas sustancias trae como consecuencia retardos en el crecimiento, disturbios en el ciclo reproductivo y en ocasiones la muerte de los peces, disminuyendo la cantidad y calidad del pescado cultivado. Por estas razones, en la actualidad se ha establecido de común acuerdo con la Comunidad Europea (C.E.) un Plan de Vigilancia de Residuos Químicos en la Acuicultura con lo cual se asegura la calidad del pescado cultivado, representando esto un importante beneficio económico y social para el país

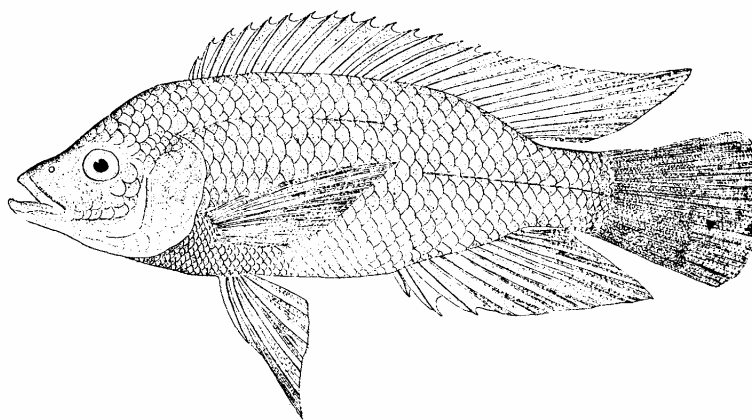
1-1. La Tilapia. Breve descripción de la especie.

La tilapia (*Oreochromis aureus*) es un pez dulce acuícola que se desarrolla en las zonas tropicales. Es muy resistente, presenta una capacidad de crecimiento muy grande y comienza a reproducirse entre los 3 y 6 meses de edad, con una frecuencia entre 3 y 8 veces al año. Esta velocidad de reproducción garantiza una explotación importante en la Acuicultura (Lovschin, L., 1974).

En Cuba ha sido introducido el cultivo de esta especie con magníficos resultados en su captura, y en la actualidad se destina gran parte del pescado capturado a la exportación.

La tilapia presenta un cuerpo ovalado y comprimido, con la cabeza grande la cual representa el 21,1 % del largo total y su altura es prácticamente igual al largo, su boca es pequeña con 4 a 5 hileras de dientes muy apretados. El cuerpo está recubierto de escamas medianas, las cuales se desprenden con facilidad . La aleta dorsal es larga, que parte desde la zona superior de la cabeza hasta la cola y presenta espinas punteagudas; además tiene dos aletas pectorales, dos ventrales unidas la cuales se sitúan a 1/3 del largo total de la aleta caudal escotada. La coloración general del cuerpo es gris oscuro, especialmente en el hocico y presenta tintes verdosos en las partes laterales de la cabeza alrededor del hocico (Díaz y col., 1980).

Figura: Tilapia sp. (*Oreochromis aureus*).



1.2- La Tilapia. Calidad como alimento.

El déficit de proteína constituye uno de los problemas más actuales que tiene que enfrentar hoy en día la humanidad. Desarrollar y consumir alimentos con un alto contenido de proteínas y que a su vez presenten un alto valor biológico es una tarea que enfrentan hoy todos los profesionales dedicados a la nutrición humana, siendo el pescado una de las fuentes más ricas en nutrientes que brinda la naturaleza.

Al inicio del cultivo de esta especie en Cuba comenzaron a realizarse por parte del Centro de Investigaciones Pesqueras (CIP), una serie de estudios encaminados a la caracterización

de esta especie como alimento (Díaz y col., 1980); así como su mejor forma de aprovechamiento industrial, mostrándose a continuación en la tabla datos experimentales obtenidos con la especie.

Tabla.II Composición Química Promedio de la Tilapia (*O. aureus*) cultivada en Cuba.

Proteína (%)	Grasa (%)	Cenizas (%)	Humedad (%)	H. Carbono (%)	Colesterol (mg/100g)	V. Energét. (Cal/100g)
18.5	1.6	1.18	77.5	0.21	51.53	87.5

Como se observa , la tilapia presenta un alto contenido de proteínas y un bajo contenido graso, por lo que en un inicio su carne fue clasificada por Stansby como del Tipo A (contenido graso < 5% y proteico entre 15 y 20 %). Presenta además un bajo contenido de colesterol, ideal para dietas de enfermos cardiovasculares. Su rendimiento en masa es de 33.4 %, la cual es blanca nacarada, de textura firme y con agradable sabor, de ahí la importancia del óptimo aprovechamiento de este pescado para la alimentación de la población.

Estudios posteriores realizados también en el CIP con la tilapia han revelado que la proteína de este pescado cultivado en Cuba, presenta una alta digestibilidad (99.6 %) y todos los aminoácidos esenciales necesarios para el mantenimiento de la salud, exhibiendo un elevado contenido de lisina, histidina y aminoácidos azufrados, lo que permite una comparación favorable con los patrones internacionales establecidos para niños y adultos como puede verse en la siguiente Tabla reportada por Díaz y col. en 1992.

Tabla III: Contenido de aminoácidos esenciales en el músculo de la tilapia cultivada en Cuba.

AA esenciales (mg/g proteína)	Patrón Referencia FAO/WHO/ONU (1985).	Tilapia	Cómputo Químico Corregido. FAO/WHO (1989).
Histidina	10	25	1.81
Isoleucina	28	42	1.46
Leucina	66	72.2	1.06
Lisina	58	73.6	1.23
Metionina : Cisteína	25	45.6	1.76
Fenilalanina : Tirosina	63	81	1.26
Treonina	24	51.6	1.47
Triptófano	11	10.9	0.96
Valina	35	41.7	1.15

Se conoció además por este trabajo que tanto la Razón de Eficiencia Proteíca como el Índice de Oser Mitchell presentan un valor de 77.0, y que la Razón AA esenciales/ AA no esenciales es de 0.97, superior a lo reportado para especies marinas, todo esto demuestra el alto valor biológico que presenta la proteína de este pescado.

Todos estos estudios que brindaron un conocimiento amplio de la especie, permitieron la intensificación de su cultivo en todas las presas del país con el objetivo de satisfacer las necesidades de proteínas de la población cubana. El crecimiento sostenido que ha tenido la cría de peces en este tipo de acuatorios y el conocimiento a nivel internacional de las consecuencias negativas que pueden producirse en la salud del hombre y en la cría de animales por el consumo de peces contaminados debidos a residuales de industrias, urbanos y de pesticidas que pueden llegar a estos embalses, motivó que se iniciaran estudios encaminados a detectar los niveles de sustancias tóxicas en estos ecosistemas, en especial metales traza tóxicos.

2.- Contaminación del Medio Ambiente Acuático.

La contaminación del medio ambiente acuático reviste una gran actualidad y es hoy en día uno de los problemas ambientales que mantiene un gran interés en el mundo, debido a los cambios no deseados que se producen en los ecosistemas.

Si se analiza en primer lugar que los mares, ríos, lagos etc., constituyen la mayor superficie del planeta expuesta a la introducción de contaminantes, debido a que la actividad humana genera muchos desechos que son vertidos en ellos, y en segundo lugar que estos recursos hídricos resultan una reserva importante de alimentos para la humanidad, se justifica la preocupación del cuidado y preservación del medio ambiente acuático y el análisis de los diferentes problemas que genera la contaminación, por lo que las ciencias ambientales han desarrollado con objetivos específicos métodos y principios para estudiar este fenómeno (Ahumada, 1995).

Según la GESAMP en 1994, la contaminación del mar se define como : *“La introducción por el hombre, directa o indirectamente de sustancias o energía en el medio marino (incluyendo estuarios), causando efectos perjudiciales tales como daños a los recursos vivos, peligros para la salud humana, obstáculos para las actividades marinas, incluyendo la pesca, el deterioro de la calidad del agua de mar y la reducción de los atractivos naturales.”*

De acuerdo con esta definición los primeros pasos a seguir en la evaluación de la contaminación del medio acuático es la identificación de las sustancias contaminantes, sus niveles de concentración, la definición de sus efectos a nivel de la biota, el estudio de las alteraciones del cuerpo de agua receptor y los riesgos para la salud humana.

La deposición de grandes cantidades de tóxicos en el medio ambiente acuático, ocurre debido a la actividad antropogénica y envuelve miles de sustancias que van a parar a los ecosistemas, fundamentalmente a aquellos cercanos a áreas urbanas e industrializadas. Entre estas sustancias tóxicas son incluidos muchos metales, compuestos orgánicos clorados, hidrocarburos aromáticos; así como otros compuestos conteniendo nitrógeno,

oxígeno, azufre, etc.(Malins y Ostrander, 1991). El impacto que las mismas producen a los ecosistemas, trae obvias consecuencias negativas al medio ambiente acuático, debido a que los organismos vivos son muy afectados directa o indirectamente por estas sustancias, pudiendo ocasionar desde el decrecimiento en las poblaciones de peces hasta la desaparición de ciertas especies (Augier y col.1992).

Ejemplos de los efectos negativos que se producen en los animales acuáticos se evidencian por estudios realizados por Khan y Kiceniwk, (1988) en bacalao contaminado con hidrocarburos aromáticos, presentándose lesiones caracterizadas por un exceso de mucus, hiperplasia, dilatación capilar y lesiones en las agallas, entre otras. Investigaciones realizadas por Daly, (1993) con salmones procedentes del lago Ontario, contaminados con diferentes sustancias químicas, revelaron cambios significativos en el comportamiento de ratas alimentadas con dichos peces, muchos de los cuales se transmitieron hasta sus descendencias. La Toxicología Acuática es por tanto la ciencia que estudia los efectos de estas sustancias foráneas en los organismos acuáticos, desde el fitoplancton hasta las grandes ballenas.

En años recientes, el impacto de contaminantes antropogénicos ha aumentado considerablemente, provocando la destrucción del hábitad de muchas especies acuáticas, debido a cambios bruscos en los ecosistemas, por lo que los científicos han centrado sus estudios en tres temas fundamentales:

- ◆ La acumulación de contaminantes tóxicos y sus efectos en los organismos acuáticos.
- ◆ La asimilación y acumulación de organismos patógenos y contaminantes químicos en los organismos acuáticos dedicados al consumo humano.
- ◆ La liberación de materia orgánica y nutrientes que bajo estas condiciones puedan provocar una localizada eutroficación, un enriquecimiento orgánico y un agotamiento del oxígeno.

Muchos de los contaminantes que van a parar a las aguas son descompuestos o degradados hasta cierto punto por los procesos biológicos normales, pero otros como es el caso de los metales pesados y los plaguicidas conteniendo hidrocarburos clorados, resisten a la descomposición natural y persisten largos períodos de tiempo en el medio ambiente.

Los elementos inorgánicos tóxicos, considerados como los más importantes en términos de su efecto sobre los sistemas biológicos naturales del medio ambiente acuático son: mercurio (Hg), cadmio (Cd), plomo (Pb), cobre (Cu), cromo (Cr), zinc (Zn), níquel (Ni) y arsénico (As), conociéndose que la deposición de éstos en el medio acuático va en aumento (Álvarez y Romero, 1995).

Desde hace varias décadas se vienen realizando estudios sobre la contaminación con metales traza tóxicos en los ecosistemas acuáticos en muchas regiones del mundo; desde la década de los años 50, en que científicos japoneses reportaron la muerte de 43 personas en la bahía de Minamata debida a consumo de pescado contaminado con mercurio y con posterioridad científicos canadienses encontraron contaminación de este tipo en peces de

agua dulce de los lagos St. Clair y de otras zonas aledañas, motivando esto el cierre de la pesca comercial (Zook y col. ; 1976). A partir de este momento en el mundo se han reportado muchos trabajos tales como los realizados en la zona de Turkih en el Mediterráneo (Tuncel y col., 1980); los del lago Venice en Italia (Campesan y col., 1980); programas de vigilancia en sedimentos de zonas costeras en Chile (Ahumada, 1995c) y del sureste de la India (Udayaganesan y col, 1998) entre otros; enfocados a detectar los niveles en que estos metales son capaces de producir afectación en los peces, organismos marinos en general y en los seres humanos, detectándose las causas y las consecuencias de los vertimientos de residuales en los ecosistemas acuáticos.

3- Metales Traza como Contaminantes del Medio Ambiente Acuático.

La interacción del hombre con la naturaleza en su labor diaria ha motivado que muchas regiones del mundo presenten altas concentraciones de metales traza y que la distribución de los mismos no sea uniforme en todo el planeta. Como un ejemplo se tienen las zonas costeras, los estuarios y ríos cercanos a zonas urbanas e industriales, las cuales presentan niveles más elevados de metales que en el océano abierto (Coombs ,1980). Las aguas residuales de las industrias química, sideromecánica, de fertilizantes; así como los residuales urbanos, son muy ricos en sustancias tóxicas entre ellas metales traza que de no tomarse medidas adecuadas, pasarían al ambiente acuático persistiendo en él por largos períodos de tiempo.

En la actualidad la actividad antropogénica se considera la fuente de más del 90% del plomo atmosférico y el enriquecimiento de los sedimentos lacustres con plomo es claramente el resultado de esas emisiones . En áreas industrializadas, la deposición de plomo y cadmio es mayor que en las no industrializadas (Spry y Wiener, 1991).

Los metales traza desde el punto de vista de su función biológica se clasifican en esenciales para la vida, entre ellos se destacan el hierro (Fe), cobre (Cu), zinc (Zn), estaño (Sn),y los no esenciales como el mercurio (Hg), plomo (Pb), cadmio (Cd) ; estos últimos son tóxicos en cualquier concentración en que se encuentren en el organismo; estando regulados en las normas internacionales.

El pescado es frecuentemente el tope de la cadena alimentaria acuática y ellos pueden acumular grandes cantidades de metales en su cuerpo (Barack y Mason , 1990) ; siendo conocido en el mundo que los contaminantes en general incrementan la susceptibilidad del pescado a contraer enfermedades infecciosas (Muñoz y col., 1994a). Por otra parte la muerte de peces resulta una evidencia de que existen serios problemas en el medio acuático y si la muerte es debida a agentes químicos, puede tener repercusiones en la salud humana (Muñoz y col., 1994b),lo cual justifica la importancia de los numerosos estudios reportados acerca de esto internacionalmente (Lantzy y Mackenzie,1979; Johnson,1987; Ajmal, y col. ; 1988; González ,1989 y Brugman, 1991).

El efecto de los metales traza en organismos acuáticos es motivo de una gran atención. La alta toxicidad de los compuestos de mercurio es conocida hace años y el uso de este metal en plantas de cloro-sosa, en procesos de electroplatinado, elaboración de papel, etc, sin

tomar medidas para el tratamiento de los residuales ha sido motivo de contaminaciones por mercurio en pescados de agua dulce y estuarinos (Marín, y col. 1983 y Allen , 1994).

Para evaluar y caracterizar zonas impactadas con sustancias tóxicas, Tarazona y col, (1995), citan dos definiciones básicas a tener en cuenta:

- ◆ **Contaminación** : La introducción de sustancias o energía dentro del medio ambiente.
- ◆ **Polución** : Nivel de contaminación tal que sea nocivo para los individuos, poblaciones o ecosistemas .

De ambas definiciones se desprende la importancia de tener bien definidos los niveles en que se encuentran estas sustancias en el agua y el sedimento de los ecosistemas dedicados a la cría de peces para el consumo humano.

De los sedimentos por ejemplo se reporta que son capaces de concentrar y retener los metales por existir una marcada tendencia a la formación de complejos con la materia orgánica e inorgánica de que se componen dichos sedimentos. Los niveles en que estos metales se presentan en este medio, dependen del grano de sedimento, de forma tal que al decrecer el tamaño de este hay un aumento de la concentración del metal; siendo también la composición del sedimento capaz de influir en la concentración de metales (Horowitz, y col., 1989). Este mismo autor en 1991 comparó datos de metales traza en sedimentos de lagos considerados no contaminados antropogénicamente como se muestra en la siguiente Tabla

Tabla IV Comparación del contenido de metales traza en sedimentos de un lago de Lousiana y otro de Nationwide.

Metal	Cu*		Zn*		Pb*		Cr*		Hg*		Fe**	
Lago	L	NW	L	NW	L	NW	L	NW	L	NW	L	NW
Media	18	20	82	88	33	23	65	51	0.09	0.05	2.7	2.8
Min.	2	4	4	23	3	9	9	20	0.03	0.02	0.3	1.1
Max.	26	43	122	200	52	47	93	90	0.17	0.13	4.3	6.1

* (datos en mg/kg) ** (datos en %) L: Lousiana LW: Nationwide

Otros autores (Ahumada, 1995 a), reportan tablas con las concentraciones de metales en sedimentos de zonas costeras y su clasificación de acuerdo a lo establecido por la Environmental Pollution Agency (EPA), como se muestra a continuación:

Tabla V. Valorización Conceptual de distintas concentraciones de metales traza en sedimentos para la bahía de San Vicente.*

Evaluación Conceptual	Cu (mg / kg)	Cd (mg / kg)	Zn (mg / kg)	Pb(mg / kg)
No Contaminado	< 60	< 80	< 30	< 10
Actividad Menor	61 – 100	0.81 - 1.60	31 - 60	11 - 20
Contaminación	101 – 140	1.61 - 2.20	61 - 90	21 - 30
Contaminación Fuerte	141 – 180	2.21 - 2.80	91 - 120	31 - 40
Polución	181 - 220	2.81 - 3.40	121 - 150	41 - 50
Muy Poluído	> 221	> 3.41	> 151	> 51

*(Tomado de Ahumada, 1995 a).

El agua es también un medio receptor de metales traza y se ha planteado que los peces acumulan los metales fundamentalmente de ella, de ahí la importancia de su control en los ecosistemas acuáticos dedicados a la pesca y cría de peces.

En lagos de América del Norte se han reportado concentraciones de Pb y Cd en agua que se mueven en los rangos mostrados en la siguiente Tabla :

Tabla VI: Valores promedios y rango de la concentración de Cd y Pb en agua de diferentes lagos de América del Norte.*

Localización	Cd (ng/l)	Pb (mg/l)
Noreste de Wicousin (E. U.)	53 (20 - 211)	0.28 (0.16 - 1.4)
Ontario Central (Canadá)	11 (< 2 - 120)	-
Noreste de Sweden	14 (7 - 36)	0.27 (0.1 - 2.2)
Sureste de Norway	600 (300 - 1000)	1.7 (1.0 - 2.2)

* (Tomado de Spry y Wiener, 1990)

3.1- Metales Traza Tóxicos.

Mercurio (Hg).

El mercurio (Hg) es un elemento que está distribuido de forma natural en la tierra ; sin embargo esta distribución es alterada significativamente por el hombre dado que este elemento es usado en varios procesos industriales, agrícolas y es también liberado por combustibles fósiles. Esta situación hace que el riesgo de polución ambiental en las zonas urbanas o en áreas vecinas sea muy alto (Huss, 1988).

Las principales fuentes de Hg en el medio ambiente provienen de industrias de cloro-sosa, manufactura de equipos eléctricos, pinturas, fungicidas y odontología. El uso del Hg en la industria del oro también es una fuente de este metal tóxico y ha causado contaminación en algunas áreas del mundo (Allen, 1994).

El Hg no tiene una función biológica en el organismo por lo que es considerado un metal tóxico a todos los seres vivos. Presenta una marcada tendencia a acumularse rápidamente en el cuerpo de los animales y del hombre si se encuentra presente en su hábitad o en su alimentación.

El Hg en el medio ambiente se encuentra en muchos estados químicos y cada uno de ellos presenta una determinada toxicidad, dependiente de la retención y distribución dentro del cuerpo contaminado y el modo de acción tóxica. En los seres humanos los vapores de Hg metálico son absorbidos rápidamente por los pulmones donde son oxidados a ión mercuríco (Hg^{2+}) dentro de la sangre en 30 seg. También los vapores de este metal son acumulados en el cerebro donde son lentamente metabolizados actuando como un agente tóxico sobre el sistema nervioso central.

Los compuestos derivados del Hg (metil o fenil mercurio) son los mas tóxicos y han sido usados en la agricultura y también son sintetizados por microorganismos en el medio ambiente. Estos compuestos al igual que los vapores de Hg son absorbidos por el organismo humano ya sea por ingestión o inyección , acumulándose en el cerebro, además son muy estables, particularmente el metil mercurio, presentando una vida media en el cuerpo humano de alrededor de 70 días (Canty, 1980 y Johnston, y col., 1991) .

En el mundo el primer impacto de contaminación de alimentos con productos químicos se produjo en 1953 en la Bahía de Minamata en Japón (Kurlan y col., 1960 ; Lupín, 1976 ; Huss, 1988; Allen, 1994 y Harada, 1995). Una misteriosa enfermedad neurológica, que alcanzó proporciones de epidemia (44 muertos y 111 casos de enfermedad grave, con trastornos del oído, vista y daños cerebrales), resultó ser envenenamiento con metil mercurio. El Hg contaminó la bahía a través de desagües de desechos industriales y sistemas cloacales que iban a parar al mar, con lo que el pescado de esa zona se contaminó y fue el responsable de esa enfermedad. Un incidente similar se repitió en 1962 en Niigata, Japón lo cual provocó que desde estas fechas este metal fuera vigilado muy estrictamente en el mundo entero.

Los peces toman del medio ambiente que los rodea tanto el mercurio orgánico como el inorgánico, pero se acumula en el músculo en la primera forma. Se ha planteado en la literatura que el mercurio que entra en los sistemas acuáticos es metilado, de ahí que muchos envenenamientos de personas por consumo de pescado son debidos al metilmercurio presente en sus músculos.(Allen, 1994). La concentración que se acumula

de este metal en el organismo del pez depende fundamentalmente de la concentración del metal en el agua, sabiéndose además que la conversión del Hg inorgánico a orgánico ocurre en condiciones tanto abióticas como microbilógicas, pero ésta última es la más importante (Johnston y col., 1991).

En numerosos estudios se ha concluido que el nivel de Hg en los océanos no ha cambiado significativamente, siendo los niveles naturales en agua de mar del orden de 0.01-0.02 ppb., encontrándose en el pescado de mar abierto niveles de hasta 0.05-0.08 mg/kg, sin embargo en zonas costeras los valores pueden ser hasta 10 veces mayores en algunas regiones debidos a contaminaciones en las mismas (Huss , 1988).

La intoxicación con Hg produce diferentes síntomas en el hombre, todos ellos de tipo neurológico tales como: convulsiones, ataxia, entumecimiento de boca y miembros, restricción del campo visual y dificultad al hablar ; así como reducción de células en el cerebro y el cerebelo. En los peces la intoxicación se manifiesta con movimientos erráticos, rigidez, flotación en la superficie de forma inusual, cataratas en los ojos y fue determinado que ocurren cambios degenerativos en las neuronas y desaparición de células en el cerebro (Lupín, 1976).

En los últimos años se ha demostrado que un factor que puede disminuir la toxicidad del Hg en la carne del pescado es la interacción entre este metal y el selenio el cual se encuentra de forma natural en la carne del pescado. La vitamina E también reduce los efectos del envenenamiento con Hg, ya que dicha vitamina previene la oxidación de los ácidos grasos poliinsaturados que forman peróxidos y el selenio como componente de la glutatión peroxidasa, cataliza la ruptura de estos compuestos, esto implica que un animal puede protegerse del daño producido por el Hg si se le adiciona a la dieta selenio y vitamina E (Thrower, 1979).

Tomando como base todo lo investigado acerca de este metal tóxico el grupo FAO/OMS estableció una ingestión semanal tolerable de 0.2 mg de metilmercurio por persona. En base a ello se establecieron límites de tolerancia en los alimentos que en E.U. y Canadá es de 0.5 mg Hg/kg y en otros países hasta de 1.0 mg Hg/kg . En Cuba se establecieron límites para diferentes especies de pescados, tomando como base la forma de alimentación de cada grupo de peces, su hábitad, además, la frecuencia de consumo de los mismos por parte de la población, oscilando dichos límites en un rango entre 0.2 mg/kg 0.7 mg /kg (NC 38-02-06 : 1988).

En Cuba se ha realizado estudios del contenido de Hg Total en bonito de las zonas importantes de pesca de este recurso, y en peces de la bahía de Isabela de Sagua, la cual está cercana a una planta de cloro- sosa cuyos resultados se muestran a continuación:

Tabla VII: Contenido promedio de Hg Total (mg/kg) en pescados de las costas cubanas.

Especie	Hg Total ($\bar{x} \pm \sigma$)	Rango	Límite Admisible NC- 38-02-06, 1989
bonito ¹ (n= 100)	0.35 ± 0.18	0.06 - 0.79	0.7
Mojarra ² (n=10)	0.12 ± 0.07	0.08 - 0.146	0.4
raya ² (n=10)	0.07 ± 0.03	0.03 - 0.09	0.4
biajaiba ² (n=10)	0.039 ± 0.01	0.017 - 0.056	0.4

1. (Pis y col., 1992)

2. (Pis y col., 1998)

En los resultados se muestran contenidos bajos de este peligroso metal en los peces de la plataforma cubana, aunque se observan diferencias en el contenido de acuerdo a los hábitos de vida de cada especie y a la zona de captura.

Cadmio (Cd) :

A diferencia de otros metales pesados, el Cd se conoce desde hace poco tiempo, se aisló por primera vez hace 200 años, pero la constatación de las intoxicaciones provocadas por este elemento y los peligros que entraña para el hombre su presencia en el medio ambiente se remonta sólo a algunos decenios atrás (Codex, CX/FAC 95/19,1994). Este metal es un elemento no esencial que presenta una alta afinidad por los grupos sulfidrilos de las proteínas y enlaza a tales grupos en enzimas, pudiendo afectar a varias funciones fisiológicas y bioquímicas. Estos disturbios pueden ocurrir aún a muy bajas concentraciones de Cd en el agua (Stripp y col., 1990).

El Cd es asimilado y concentrado por los organismos vivos. En el pescado, las agallas, los riñones, el canal alimentario y el hígado es donde primeramente se acumula y esto hace que en dependencia de la concentración del metal puedan aparecer alteraciones histológicas y algunas patologías bioquímicas (Mars y Potasowichi, 1990). Otro reportes bibliográficos plantean que la exposición de los organismos acuáticos al Cd, induce la biosíntesis de tioneína, una proteína de bajo peso molecular la cual se une firmemente al metal formando metaloteoneína, y es en esta forma en que se concentra en los riñones. En los peces este compuesto se almacena en el hígado, en los crustáceos en el hepatopáncreas y en los molusco en las vísceras y los riñones.

Entre los efectos tóxicos que la presencia de este metal produce en los peces se encuentran deficiencias en la asimilación y deposición de metales esenciales como el cobre, hierro y zinc ; pero aún el mecanismo a través del cual esto sucede no es completamente conocido. Otros autores describen entre los efectos tóxicos producidos, anemia, alteración en el metabolismo de los carbohidratos, cambios respiratorios y deformaciones en las vértebras (Stripp y col., 1990).

En los seres humanos se conoce que el Cd tiene propiedades carcinogénicas ya que resulta un antagonista del selenio, anulando la acción antineoplásica de este último. Es conocido también que el Cd es un potente mutágeno, ya que interacciona directamente con el DNA (ácido desoxiribonucleico) dando lugar a errores en la síntesis del mismo (Hardisson y Castell,1988).

En la década de los años 60, la contaminación ambiental con este metal se puso de manifiesto cuando en Japón más de 100 personas murieron por una enfermedad que se nombró Itai-Itai, la cual estaba ocasionada por altas concentraciones de Cd en el cuerpo humano. Estos hechos motivaron un creciente interés por parte de los científicos por conocer todos los efectos que el metal producía tanto en el medio ambiente como en los seres humanos.

En el medio ambiente acuático el Cd se presenta en diferentes formas, conociéndose que su absorción aumenta con el aumento del pH :

- Absorbido dentro de las partículas de materia orgánica.
- Disuelto en el agua.
- Unido a los sedimentos.
- Contenido en los organismos acuáticos.

Por estudios realizados se conoce que en el agua de mar el Cd tiene una pequeña afinidad por las partículas orgánicas, lo cual hace que el rango encontrado en los océanos sea de 0.01 a 0.1 $\mu\text{g/l}$, mientras que en los estuarios y en aguas costeras los rangos son más elevados es decir de 0.03 a 0.3 $\mu\text{g/l}$.

En agua dulce, como ellos están en íntimo contacto con puntos de difusión de residuales que pueden contener este metal, sus niveles resultan superiores, reportándose en ríos y lagos de zonas polutadas una concentración de hasta 10 $\mu\text{g/l}$. Por otra parte, este tipo de agua al no tener iones inorgánicos capaces de formar complejos con el Cd, la mayor parte del metal se encuentra en forma iónica (Cd^{2+}).

En la actualidad existe una vigilancia de los niveles de este contaminante en el medio ambiente acuático y una gran preocupación por parte de todas las organizaciones internacionales relacionadas con la salud del hombre y la preservación del medio ambiente, en aras de reducir al mínimo la acumulación de este metal en los ecosistemas y por consiguiente en los organismos acuáticos que sirven de alimento al hombre.

Plomo (Pb) :

El plomo es otro elemento metálico no esencial que se encuentra en el medio ambiente e incrementa sus niveles en éste producto de la actividad del hombre, constituyendo por tanto un factor de riesgo para la salud. El metal se encuentra en la naturaleza como Pb metálico, en sales inorgánicas y en compuestos organometálicos. Está presente en muchas

aleaciones, en las municiones de caza, en pigmentos de pinturas y en sustancias plásticas. El compuesto organoplumbífero más conocido es el tetraetilo de plomo, el cual es muy estable y se usa como detonante de la gasolina (CODEX, CX/FAC 94 /20, 1994). En la actualidad el aumento del uso de gasolina sin plomo ha favorecido la disminución de los niveles de este metal en los alimentos con relación años anteriores (CODEX, CX/FAC 95/18 , 1994).

La exposición al plomo puede provocar innumerables efectos tóxicos en el hombre, sobre todo en el sistema nervioso central, en la formación de la sangre, en los riñones, la reproducción y la tensión arterial. El efecto más importante de la exposición al plomo en los niños es la disminución del desarrollo cognoscitivo y del rendimiento intelectual. Se plantea que la toxicidad del plomo en el organismo es debida a la competencia que mantiene con metales esenciales de forma tal que puede reemplazar al calcio en la estructura ósea (Allen 1994*), lo cual es muy perjudicial.

Se ha planteado que los alimentos constituyen la fuente principal de exposición al plomo y en ellos se observan diferentes cantidades del metal. Los alimentos más importantes respecto al contenido de plomo en la dieta son las frutas, verduras, cereales, vísceras, mariscos (ostras en particular) y en bebidas. Los mejillones y en general los organismos marinos pueden contaminarse con plomo debido a vertimientos de aguas residuales de industrias locales o por fuentes geológicas (CODEX CX/ FAC 94/20 , 1994). Otras fuentes de contaminación con plomo en los alimentos puede ser a través de los envases y utensilios de elaboración. Se conoce que en el pescado concentraciones en agua de 8 ng de Pb/ml , producen efectos crónicos hematológicos y desviación de la columna vertebral. También se ha planteado que un medio ácido favorece la disponibilidad del Pb para acumularse en el músculo del pescado (Stripp, y col., 1990).

El Pb en el pescado se acumula principalmente en las espinas, escamas, agallas, riñones e hígado, y es absorbido en su forma acuosa como Pb^{2+} y directamente asimilado a través de las agallas, acumulándose en su organismo contaminándolo (Spry y Wiener ,1990). Esto explica la vigilancia que debe existir en las zonas de pesca y cria de organismos acuáticos para que no se contaminen con este u otros metales o sustancias tóxicas.

El CODEX Alimentarius ha recomendado la introducción de medidas para reducir la contaminación con Pb en los alimentos, entre las cuales se encuentra la eliminación gradual de la utilización de la gasolina que contiene el metal, la reducción de emisiones de Pb al ambiente proveniente de industrias (minas de Pb, fundiciones, incineraciones de desperdicios, etc), además se recomienda la aplicación adecuada en la producción, elaboración y almacenamiento de los alimentos en especial la sustitución de latas con soldadura de Pb por soldadura electrolítica.

3.2- Otros metales de interés en la contaminación del medio ambiente acuático.

Además de los metales tóxicos contaminantes del medio acuático y por consiguiente de los peces, moluscos, crustáceo y productos pesqueros en general tratados anteriormente, existen otros que además de jugar un papel esencial en el organismo humano, pueden en

determinadas concentraciones pasar a ser contaminantes y por consiguiente perjudiciales a la salud del hombre y de los peces. Entre los metales más importantes se encuentran el hierro (Fe), cobre (Cu), zinc (Zn), y el selenio (Se), los que se presentan con frecuencia de forma natural en los alimentos y como consecuencia de contaminaciones debidas a vertimientos de residuales urbano- industriales, estando regulados en las normas de alimentos por cumplir esa doble función de esencia les y contaminantes.

Hierro (Fe) :

Es un elemento esencial, el primero descubierto como tal. En el ser humano hay presentes 4g, distribuidos en la hemoglobina, mioglobina, ferritina, hemosiderina, transferrina, citocromo y catalasa , formando complejos (Batide,1988).

Su toxicidad viene dada por un exceso de Fe en el organismo humano, produciéndose la enfermedad llamada “Siderosis” la que conduce casi siempre a una “Cirrosis Hepática” , aunque casi nunca esta enfermedad es producida por los alimentos.

La carne del pescado es considerada una buena fuente de hierro y de cobre (Huss, 1988), mostrándose algunos valores de este elemento en pescados de agua dulce reportados en la literatura.

Tabla VIII. Contenido de Fe en la carne de pescados de agua dulce.

Especie/ Autor	Sidwell (1981)	Sapunar y Jusic, (1983)
Carpa común	12.8	4.66
Trucha carmelita	10.0	4.12
Tilapia mosámbica	4.0	-

(datos en mg/kg)

Cobre (Cu) :

Es un elemento esencial, su presencia en el organismo previene la anemia, encontrándose en éste en pequeñas cantidades en un rango de 100 a 150 mg en adultos y en cantidades mayores en recién nacidos y jóvenes. Forma parte de muchas enzimas como la citocromo oxidasa, la ciruloplasmina, entre otras (Batilde, 1988). Su función está relacionada con el metabolismo del Fe y con la formación de los huesos.

El Cu en los alimentos está presente en vegetales verdes, pescados e hígados, ligado siempre a las proteínas. Concentraciones altas de este metal en un alimento proviene siempre de una contaminación del mismo, ya sea del medio ambiente como proveniente del proceso tecnológico.

Una alta ingestión de Cu, produce la llamada enfermedad de Wilson, debida a la acumulación progresiva del metal en los tejidos.

Los productos pesqueros y en especial los pescados son fuente de este metal (Huss, 1988). Se reportan en la literatura diferentes concentraciones de Cu de acuerdo al tipo de pescado, como se reporta en la siguiente Tabla

Tabla IX. Contenido de Cu en músculo de pescados y moluscos, reportados por diferentes autores.

Especie/Autor	Eustace, (1974)	Sapunar y Jusic, (1983)	Sidwell, (1981)	Stripp, (1990)
carpa común	-	0.37	3.0	-
trucha carmelita	0.96	0.75	2.1 (0.9 - 3.3)	-
perca amarilla	-	-	2.53	0.2
carpa marina	0.3	-	-	-
Almeja común	3.1	-	-	-

(datos en mg/kg)

Zinc (Zn) :

El zinc después del hierro es el elemento metálico esencial de mayor concentración en el organismo humano (2g aprox.). Es constituyente de alrededor de 20 enzimas tales como la anhidrasa carbónica, la alcohol deshidrogenasa, carboxipeptidasa, fosfatasa alcalina entre otras ; además forma parte de algunas hormona como la insulina.

La deficiencia del metal provoca infantilismo sexual, fallas en el crecimiento, pérdida del gusto, enfermedades de la piel, entre otras. Su toxicidad es provocada por diferentes compuestos del Zn está asociada a niveles elevados en los alimentos (400 - 500 mg) (Batilde, 1988). Se tienen evidencias de la acción del zinc como carcinógeno ya que se ha demostrado que induce el crecimiento de tejidos normales y malignos además de producir un incremento en sarcomas. Se demostró además el antagonismo del selenio (Se) y el Zn en la producción de varios tipos de cáncer (Hardison y Castells, 1988). Se conoce también que el Zn en la naturaleza viene unido al Cd, del cual es conocida su alta toxicidad.

La contaminación de un alimento en particular el pescado es debida a la presencia de residuos de plaguicidas y fertilizantes en el medio en que se desarrollan, particularmente si es un sistema cerrado como es el caso de estanques y presas.

Reportes del contenido normal de Zn encontrado en el músculo de diferentes pescados de agua dulce se muestran a continuación :

Tabla X . Contenido promedio de la concentración de Zinc en músculo de pescados reportados en la literatura por diferentes autores.

Especie/ Autor	Eustace, (1974)	Sidwell, (1981)	Sapunar y Jusic, (1983)	Stripp, (1990)
carpa común	7.8	10.0	3.65	-
trucha carmelita	5.2	4.60	3.99	-
perca amarilla	-	2.53	-	12.0

(datos en mg/kg)

Se ha encontrado en la literatura reportes de zonas contaminadas como es el caso de la bahía de Ralphes en Hobert donde en 1972 los ostiones cultivados mostraron concentraciones de Zn de 21 mg/kg, Cu de 450 mg/kg y Cd de 63 mg/kg, los cuales produjeron síntomas de nauseas y vómitos en la población de la región que consumió los mismos, considerándose estas concentraciones inaceptables para el consumo humano (Eustace, 1974).

Selenio (Se) :

Es un elemento muy estudiado en la actualidad, forma parte de la glutatión peroxidasa que destruye los peróxidos formados de los lípidos insaturados, conociéndose su poder antioxidante.

La deficiencia de vitamina E y el Se producen síntomas similares, aunque actúan en mecanismos diferentes. El Se puede reemplazar al azufre en compuestos de importancia biológica como son las proteínas (Thrower, 1979 y Batilde, 1988).

Se conoce que en el pescado, la interacción del Se con el Hg disminuye la toxicidad de este último de lo que se ha tenido evidencia adicionando selenito de sodio a dietas sintéticas en pescado contaminados con Hg (Thrower, 1979). Otros autores también han planteado que no sólo inhibe la toxicidad del Hg sino también la del Cd debido a la formación de complejos Se-Cd que son menos tóxicos). A pesar de ser un metal muy estudiado, en pescado existe poca información de sus niveles, en perca amarilla se reportó un contenido de Se de 5.4 mg/kg y se plantea que este metal es sólo parcialmente acumulado por el pez a través de la cadena alimentaria (Stripp y col., 1990).

4- Reglamentaciones vigentes en Cuba sobre Límites Admisibles de contaminantes metálicos en pescados y aguas de cultivo de organismos acuáticos.

Como se ha venido expresando, los organismos acuáticos, tienen una elevada tendencia a acumular metales del medio ambiente en que se desarrollan, (agua fundamentalmente), aunque estos metales se encuentren en bajas concentraciones. En el mar, los niveles suelen ser más elevados en las zonas costeras y los estuarios, debido a la actividad industrial, por esta razón existen programas de vigilancia a nivel mundial en los que se ha determinado que en especial el Hg en los pescados guarda relación con el grado de contaminación del

medio marino (CX/FFP 94/15,1994), existiendo regulaciones muy exigentes en cuanto a los niveles admisibles en cada país.

La Norma Cubana, (NC 38-02-06,1987) es la que regula en el país los contaminantes metálicos en alimentos, la cual está de común acuerdo con las normas internacionales, estableciéndose lo siguiente :

Tabla XI : Regulaciones acerca de las ingestas admisibles de contaminantes metálicos en alimentos.

Contaminante	IDA ¹	ISA ¹	ISAT ¹	Observaciones
Plomo	-	-	0.05	-
Estaño	2.0	-	-	-
Cadmio	-	-	0.0067 - 0.0083	-
Mercurio Total	-	-	0.005	-
Metil Mercurio	-	0.0033	-	Expresado como Hg
Arsénico	0.05 - 1.0	-	-	-
Zinc	0.3 - 0.5	-	-	-
Cobre	0.05 - 0.5	-	-	-
Hierro	-	-	-	No Establecido

1- mg/kg de peso corporal

IDA - Ingesta Diaria Admisible

ISA - Ingesta Semanal Admisible

ISAT - Ingesta Semanal Admisible Temporal

En la mencionada norma se establecen además los límites máximos permisibles para alimentos en general, siendo para productos pesqueros específicamente los expuestos a continuación :

Tabla XII: Límites Máximos Permisibles de Contaminantes Metálicos en Productos Pesqueros (mg/kg).

	Arsénico	Plomo	Estaño	Cadmio	Mercurio	Zinc	Cobre
Pescados y Mariscos							
1- Pescado marino fresco	1.0	-	-	0.05	0.4	-	-
- Conservas pescado marino	5.0	1.0	200	0.05	0.4	-	-
-Túnicos y derivados	3.0	2.0	200	-	0.7	-	-
- Moluscos y Crustáceos	2.0	10.0	200	-	-	-	-
2- Pescados de Agua Dulce y Derivados	1.0	1.0	-	-	-	-	-
- Pacíficos			-	-	0.3	-	-
- Rapaces			-	-	0.7	-	-

(datos en mg/kg)

Con relación a la evaluación de los objetos hídricos se cuenta con una norma (NC 93-01-105, 1987) en la cual están fijados los índices a través de los cuales se puede evaluar la calidad del agua (dulce o salada) destinada al cultivo de peces y en la cual se establecen los siguientes límites de contaminantes metálicos :

Tabla XIII. Indices para Evaluar Cuerpos Hídricos de Uso Pesquero.

Indice	Buena Calidad	Calidad Dudosa	Calidad Mala
pH	8.1 - 8.3	6.5 - 8.0 y 8.4 - 9.5	< 6.5 y >9.5
As *	hasta 1.0	-	-
Cu *	hasta 0.05	-	-
Cd *	hasta 0.01	-	-
Hg *	hasta 0.005	-	-
Pb *	hasta 0.1	-	-

* (datos en mg/l).

Como pudo apreciarse, en cuanto el pescado faltan aún algunos límites por definir en la norma de alimentos por falta de datos que avalen los mismos, por lo que a partir de los estudios iniciados en el CIP en este sentido podrán completarse y garantizar una mejor calidad en los productos pesqueros.

2- MATERIALES Y METODOS.

Se realizó el estudio de los niveles de metales traza en agua, sedimento y tilapias de tres presas de importancia económica del país: Paso Seco y Niña Bonita de Ciudad de la Habana y Palmarito de Villa Clara.

2.1-Presa Palmarito.

La presa Palmarito de la provincia de Villa Clara, cuyo volumen de producción de pescado es de 95 t./año se encuentra rodeada por áreas de tierras dedicadas al pastoreo, forraje de ganado y áreas cañeras. Su único suministrados de agua, el río Sagua, es portados de todos los residuales urbano-industriales y agrícolas a la presa, lo cual hace factible la contaminación de este ecosistema con metales traza.

Para el Studio se fijaron tres estaciones de muestreo: 1- la cortina de la presa, 2- entrada de río Sagua y 3- centro de la presa, en cada uno de los cuales se tomaron las muestras de agua y sedimento y fueron capturadas tilapias con los siguientes rangos de tallas y pesos:

Talla y peso de las tilapias analizadas

Especie	Rango de largo (cm)		Rango de peso (g)	
	I muestreo	II muestreo	I muestreo	II muestreo
Tilapia (n= 40)	21 – 26	21 – 26.5	229 – 408	201 - 337

2.2- Presa Niña Bonita.

La presa niña Bonita situada en Ciudad de la Habana y perteneciente a la empresa Hortifar, presenta una extensión de 120 hectáreas dedicadas al cultivo de la tilapia; teniéndose conocimiento de que varios centros aledaños vierten sus residuales sin tratar a la misma lo cual puede traer afectaciones a la ecología de la presa.

Se escogieron para los muestreos tres puntos: 1- centro de la presa, 2- entrada de residuales del poblado XX Aniversario y 3- entrada de residuales de la Planta de Hemoderivados, Instituto Pedro Kurí (IPK), de la Empresa Agropecuaria del MININT y de la gasolinera Novias del Medio Día. Los pescados para los análisis mostraron los siguientes pesos y tallas:

Talla y peso de las tilapias analizadas

Especie	Rango de largo (cm)		Rango de peso (g)	
	I muestreo	II muestreo	I muestreo	II muestreo
Tilapias (n= 40)	24 -29	22.5 - 30	304 – 488	238 – 536

2.3 Presa Paso Seco.

La presa Paso Seco situada en el noroeste de las altura de Bejucal-Madruga-Coliseo en Cuidad de la Habana y dedicada al cultivo de peces, presenta una captura anual promedio de 190 t.. su principal distribuidor de agua lo constituye el río Almendares, en el que son vertidos residuales de varias industrias metalúrgicas, de elaboración de alimentos, además de existir otras fuentes contaminantes cercanas a la presa como la fábrica de pilas Yara, la tenería La Vaquita y el poblado Las Guásimas.

Para el trabajo se escogieron 7 puntos de muestreo, los que se detallan:

Puntos de muestreo

1. Entrada del río Almandares 1
2. Entrada del río Almandares 2
3. Guinera
4. Centro de la presa
5. Salida del río Almendares (cortina)
6. Entrada del río Itabo
7. Entrada del arroyo Guadiana

Posteriormente se llevó un estudio por tallas de pescado con el fin de determinar si existía una diferente acumulación de los metales Hg y Cd en esta tilapis, capturándose 105 ejemplares en tres rangos de talla: talla pequeña (50 -150 g), mediana (151-250 g) y grande (251-350 g), conformándose 7 muestras de cada talla constituida por los filetes de 5 ejemplares.

2.4- Procedimiento para los muestreos.

Para llevar a cabo la investigación se efectuaron dos muestreos en cada presa, uno en la época de lluvia (abril - octubre) y otro en la época de seca (noviembre - marzo)) (Lerch, 1984), tomándose en cada uno de ellos muestras de agua y sedimento en las zonas de entrada de ríos y arroyos a las presas y en el centro de las mismas (ver Anexos I, II y III).

En cada uno de los puntos seleccionados en las presas, se tomaron muestras de agua y sedimento en los muestreos realizados en épocas de lluvia y seca y se destinaron 40 ejemplares de tilapia para su análisis (20 cada muestreo)

2.5- Procedimiento para la realización de los análisis.

Las muestras de agua se cogieron con una botella muestreadora Van Dörn de 1 litro de capacidad y se pasaron a frascos plásticos de 500 ml previamente tratados con HNO₃ concentrado y las de sedimento de tomaron con una draga trasvasándose a sobres de polietileno, congelándose todas las muestras hasta su análisis.

Los pescados recién capturados fueron medidos, pesados y fileteados, conformándose 10 muestras compuestas por los filetes sin piel de 2 ejemplares de similar talla.

Los metales traza analizados fueron seleccionados de acuerdo a los metales que con mayor abundancia se presentan en los residuales urbano - industriales que se emiten en las cercanías de cada presa, los cuales resultaron ser : Pb, Cd, Hg, Fe, Cu, Zn y Cr , este último en la presa Paso Seco por estar cerca de la misma una tenería cuyos residuales son ricos en este metal..

Los análisis de agua se realizaron siguiendo la técnica descrita por Pinta (1980) ; la digestión de los sedimentos según McKown, et. al., (1978) y la de los pescados se realizó mediante digestión húmeda utilizando mezcla $\text{HNO}_3 - \text{H}_2\text{O}_2$ (V :V), según lo establecido para productos pesqueros por la FAO/SIDA, (1983). Para la determinación del Hg Total en los sedimentos se utilizó la técnica descrita por Randiosome y Aston,(1979) y la de los pescados según la técnica de Munns y Holland, (1977). Se realizaron además determinaciones del pH al agua según la NC : 80 - 25 : 1984.

Todas las determinaciones se realizaron por duplicado utilizando la técnica de Espectrofotometría de Absorción Atómica, utilizando llama aire-acetileno para la determinación de la concentración del Fe, Cu, Zn y Cr ; horno de grafito para el Pb y el Cd y vapor frío para las determinaciones de Hg, utilizándose un equipo Pye Unicam SP-9.

2.6- Procesamiento estadístico de los resultados.

Para el procesamiento estadístico de los resultados se utilizó el paquete de computación SOLO (2) (Hintze, 1988), y el programa SPSS para windows (Release 7.5 , 1996), mediante los cuales se aplicó un análisis de factor donde las variables analizadas fueron los metales estudiados, con el objetivo de determinar el origen de cada uno de ellos en los ecosistemas.

Se aplicó también un análisis de varianza de clasificación doble y un Test de rangos múltiples de Duncan (Sigarroa, 1985) con un nivel de significación del 95%, para establecer si existían diferencias significativas entre las concentraciones de los metales en las diferentes presas, épocas del año y tallas del pescado.

.3-RESULTADOS Y DISCUSION

I- Niveles de metales traza en la presa Palmarito:

En la Tabla XIV. se muestra la concentración de metales traza obtenida en el agua de esta presa en diferentes épocas del año.

Los resultados obtenidos mostraron que los niveles de metales traza en el agua de esta presa fueron bajos con relación a los límites establecidos en la norma NC 93-01-105:87, experimentándose una disminución de los valores de Cd en la época de seca como se ve en la referida Tabla, lo que implica que este contaminante es arrastrado a la presa a través del agua del río afluente.

Tabla XIV. Concentración de metales traza en el agua de la presa Palmarito en los muestreos realizados.

Metal\	Pb*		Cd*		Hg*		Cu*		Fe*		Zn*	
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
Punto 1	0.01	0.05	0.01	< 0.01	ND	ND	0.001	0.02	0.013	0.012	0.006	0.08
Punto 2	0.06	0.04	0.01	<0.01	ND	ND	0.001	0.01	0.005	0.005	0.003	0.06
Punto 3	0.05	0.06	0.01	<0.01	ND	ND	ND	0.03	0.006	0.007	0.003	0.03
X	0.04	0.05	0.01	<0.01	-	-	0.0006	0.02	0.008	0.008	0.004	0.06

* Datos en mg/L. I: Muestreo época de lluvia. II: Muestreo época de seca ND: No se detecta 1: Cortina de la presa. Punto 2 Centro de la presa Punto 3: Entrada del río. n=3

Los niveles de Pb no sufrieron variaciones significativas ($p < 0.05$) entre las dos épocas estudiadas, presentándose valores algo más elevados en los puntos 2 y 3 correspondientes a la entrada del río y centro de la presa, lo que indicó que este contaminante es arrastrado por el río Sagua a la misma; sin embargo los metales Fe, Cu, y Zn, mostraron sus mayores valores en la zona de la cortina de la presa (Anexo I, punto 1), hacia donde son arrastrados por las corrientes dentro de la misma. El Hg no fue detectado en el agua en ninguna de las épocas estudiadas.

Las concentraciones de metales traza promedio del agua de la presa Palmarito se expresan a continuación en la siguiente Tabla XV:

Tabla XV. Valores promedio de metales traza en el agua de la presa Palmarito.

Metal	X	Límite admisible NC 93-01-105: 87
Pb*	0.05 (0.02)	0.1
Cd*	<0.01	0.01
Hg*	ND	0.005
Cu*	0.01 (0.01)	0.05
Fe*	0.008 (0.004)	-
Zn*	0.02 (0.03)	-

- Límite no fijado (): desv. estándar ND: no se detecta * Datos en mg/L.

La secuencia de concentración hallada en el agua para los metales estudiados, evidenció la concentración mayoritaria del Pb con relación a otros metales nutrientes como el Fe, aunque sus valores no sobrepasan los límites establecidos en la norma cubana de referencia (NC 93-03-105, 1987) como se muestra en la Tabla II.

En la Tabla XVI, aparecen reportadas las concentraciones de metales traza en el sedimento de esta presa por épocas del año muestreadas.

Tabla XVI. Concentración de metales traza en el sedimento de la presa Palmarito en los muestreos realizados.

Metal\	Pb*		Cd*		Hg*		Cu*		Fe**		Zn*	
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
Estación												
Punto 1	5.1	10.4	0.75	0.31	0.88	0.87	35.0	30.6	3.55	2.76	69.5	49.8
Punto 2	10.0	10.6	0.75	0.29	1.75	0.14	40.0	43.15	3.60	3.59	58.3	59.4
Punto 3	9.6	11.3	0.62	0.30	1.32	0.86	25.0	34.9	3.20	2.21	65.6	53.2
X	8.2	10.8	0.71	0.30	1.32	0.62	33.3	36.22	3.45	2.85	64.47	54.13

I : Muestreo época de lluvia.

Punto 1: Cortina de la presa.

II : Muestreo época de seca.

Punto 2: Centro de la presa.

***: Datos en mg/kg**

Punto 3: Entrada del río.

****:** Datos en %

nota: los valores de cada metal representan la media de dos determinaciones, la gran media n=6

Como se observa, en la época de lluvia existió una tendencia a disminuir los niveles de Pb en el sedimento a pesar de no registrarse diferencias significativas para ($p < 0.05$) en las concentraciones del metal entre las épocas estudiadas, sin embargo en el agua, los niveles se mantuvieron constantes a pesar del aumento en el nivel de agua, lo que indicó que en este caso el Pb es arrastrado a la presa en la época de mayores precipitaciones fundamentalmente a través del agua. Los puntos de mayor concentración de pb en el sedimento fueron la entrada del río y el centro de la presa.

Los niveles de Cd y Hg disminuyeron aproximadamente en un 50 % en la época de seca, registrándose diferencias para ($p < 0.05$) entre muestreos realizados, lo que indicó que estos metales son arrastrados por el sedimento a través del río en la época de mayores precipitaciones. En la bibliografía se reporta que el Hg cuando está presente en los ríos se combina con el SH_2 formando un tiocompuesto orgánico que se secuestra en el sedimento y que tiene mucha afinidad con las membranas biológicas, persistiendo en ellas en el paso de la cadena trófica (García Gimeno y col., 1998), situación que lo hace particularmente peligroso por su alta toxicidad a los seres vivos que en ellos se desarrollan, en este caso los peces. Los mayores niveles de Hg y Cd se obtuvieron en los puntos 2 y 3, por donde desemboca el río y el centro de la presa respectivamente.

En cuanto a los metales nutrientes, se observó que las concentraciones de Cu fueron similares en las dos épocas estudiadas, mientras que las de Fe y Zn disminuyeron en la de seca como se aprecia en la Tabla III.

Al comparar los resultados obtenidos con los reportados en la literatura se vio que los niveles de Cu, Zn, Fe y Pb, son similares a los reportados por Horowitz y colaboradores en 1989 y 1991, para sedimentos de lagos de E.U. de zonas consideradas no polutadas y están también muy por debajo de los valores reportados por González en 1989 para sedimentos del río Almendares considerados como polutados.

En la siguiente tabla se muestran los valores promedio de los metales en el sedimento de esta presa

Tabla XVII. Valores promedio de la concentración de metales traça en el sedimento de la presa Palmarito.

Metal	X	Rango
Pb*	9.49 (2.24)	5.1 - 11.3
Cd*	0.50 (0.23)	0.26 - 0.75
Hg*	0.97 (0.54)	0.14 - 1.75
Cu*	34.76 (6.49)	25.0 - 43.15
Fe**	3.15 (0.58)	2.21 - 3.67
Zn*	59.3 (7.38)	49.8 - 69.5

* : Datos en mg/kg

** : Datos en %

(): Desv. Estándard

X= promedio de 12 determinaciones

En la secuencia de concentración obtenida para los sedimentos se observó que todos los metales tóxicos se encontraban en menor proporción que los nutrientes a pesar de las elevadas concentraciones de Hg detectadas con relación al contenido de este metal reportado por Krishnakumar y Bhat, en 1998 (0.01-0.2 mg/kg) en el sedimento de otras regiones del mundo y con un rango que alcanza valores superiores al reportado para sedimentos del río Almendares por González, 1989 (0.47-1.37). Este elevado contenido del Hg en el sedimento debe ser muy vigilado debido a que este metal tóxico demostró ser arrastrado a través del río, lo cual puede perjudicar el cultivo de los peces en ese acuatorio.

En general la presencia de metales tóxicos en el agua y sedimento de la presa es debida a que a la misma llegan los residuales de la fertilización de las zonas agrícolas de que está rodeada, los cuales son ricos en Cd y también a los residuales urbano-industriales sin tratar

que son abundantes en Pb y que pueden también contener Hg, los cuales se secuestran en los sedimentos por largos períodos de tiempo.

En la Tabla XVIII se muestran las concentraciones de los metales traza en el músculo de las tilapias en los dos muestreos realizados.

Tabla XVIII. Contenido de metales traza en el músculo de la tilapia de la presa Palmarito.

Metal	(X)		Media general (X)	D.S	Rango	Límite admisible NC :38-02-06 :87
	I	II				
Pb*	0.92	0.22	0.57	0.49	0.12 - 1.6	1.0
Cd*	0.12	0.11	0.12	0.03	0.07 - 0.19	0.05
Hg*	0.07	0.54	0.31	0.47	0.04 - 1.41	0.3
Cu*	0.3	0.31	0.31	0.09	0.21 - 0.51	-
Fe*	8.7	5.4	7.10	3.17	3.1 - 13.4	-
Zn*	6.6	4.9	5.75	1.59	3.8 - 9.6	-

n = 40 * : Datos en mg/kg I : Muestreo época de lluvia. II : Muestreo época de seca.

En el primer muestreo donde los pescados aún de la misma talla eran más gruesos y el nivel del Pb en el agua era mayor, se experimentó un aumento significativo ($p < 0.05$) de los niveles de este metal en el músculo del pescado, lo que trajo como consecuencia que el rango obtenido de Pb se elevara por encima de 1 mg/kg que es el límite admisible, situación que resulta perjudicial para el consumo humano, pues como es conocido este metal es biocumulado en los tejidos de los seres vivos y su toxicidad radica en que compite con elementos esenciales como el calcio, reemplazándolo en la estructura de los huesos (Allen, 1994b), por lo que esta situación debe ser vigilada estrechamente.

Los niveles de Cd se mantuvieron constantes y por encima del límite máximo permisible para pescado marino (NC 38-02-06: 1987) en las dos épocas estudiadas, no estando fijado un valor para pescado de agua dulce y siendo necesario su control debido a los efectos perjudiciales que provoca el metal en los peces como deformaciones en las vértebras, anemia, alteraciones del metabolismo, entre otras, (Strip y col. 1990) y en los humanos se conoce que presenta propiedades cancerígenas (Hardison y castel, 1998).

Por otra parte los niveles de Hg fueron significativamente mayores ($p < 0.05$) en el segundo muestreo (seca) a pesar de que no se detectó en metal en el agua y que los niveles en el sedimento no aumentaron de forma significativa. Este aumento fue debido a que la velocidad de eliminación del metal en el pescado es muy baja y la vida media en el organismo muy alta (Jonson, 1987), y al presentar los peces un peso menor dentro de la misma talla, la concentración del metal se elevó, provocando que la media general del Hg

en las tilapias se encontrara justamente en el límite admisible (0.3 mg/kg), estando un 35% de las muestras fuera de la norma. Esta situación debe ser vigilada por los efectos tóxicos que el metal provoca en los peces como por ejemplo cambios degenerativos en las neuronas, cataratas en ojos (Lupin, 1976) y en los seres humanos que se alimentan de ellos porque el metal se acumula en el cerebro, produciendo diversos trastornos neurológicos (Cnty, 1980 y Johnston y col, 1991)

Con relación a los metales nutrientes se observaron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre el contenido de Fe y Zn en las épocas estudiadas, observándose una disminución de los valores de ambos metales en la época de seca donde los niveles de Cd permanecen constantes y los de Hg son mayores, concordando esto con lo descrito en la bibliografía por Strip y col, en 1990 para pescados en general.

La secuencia de concentración en que aparecen los metales estudiados en el ecosistema se muestra a continuación:

Secuencia de concentración de metales en la presa Palmarito:

agua: $Pb > Zn > Cu > Fe > Cd$
sedimentos: $Fe > Zn > Cu > Pb > Hg > Cd.$
tilapias: $Fe > Zn > Pb > Cu > Hg > Cd.$

A continuación se muestran los resultados de la aplicación del análisis de factor en el ecosistema;

Análisis de Factor en la presa Palmarito

Matriz	F1	F 2
Agua	Cu (0.8633)	Pb (- 0.9365)
	Zn (0.8665)	Fe (0.8478)
Sedimento	Pb (-0.773)	Hg (0.7950)
	Cd (0.8600)	Cu (-0.8240)
	Fe (0.8290)	
	Zn (0.8890)	
Tilapias	Cd (0.6830)	Hg (-0.8090)
	Cu (0.8640)	Pb (0.8660)
	Zn (0.8880)	

Los resultados indicaron que más del 75% de la varianza de los datos pudo ser explicada a través de dos Factores F1 y F2, de forma tal que en el agua al Factor F1 se asocian los metales Cu y Zn; mientras que al F2 se asociaron el Fe y el Pb. Si se tiene en cuenta que el Pb se considera marcador de la contaminación urbano-industrial (Favretto y col., 1989), entonces F2 es en este caso el factor de contaminación y los metales asociados a él se consideran presentes por igual origen. En el sedimento y las tilapias, los metales tóxicos se asociaron a ambos factores, es decir a F1 Pb, Cd, Fe y Zn en el sedimento y Cd, Cu, Fe y Zn en las tilapias y a F2 Hg y Cu en el sedimento y Hg y Pb en las tilapias, por lo que en

estos dos casos al asociarse a cada factor los elementos tóxicos, ambos se consideran de contaminación. Estos resultados permiten asegurar que en las tilapias los niveles de Pb son bioacumulados fundamentalmente del agua y del sedimento, mientras que los de Cd y Hg son bioacumulados fundamentalmente a través del sedimento

II- Niveles de metales traza en la presa Niña Bonita.

En la siguiente Tabla se muestran los niveles de metales obtenidos en el agua de la presa Niña Bonita.

Tabla XIX. Concentraciones de metales traza en el agua de la presa Niña Bonita en los muestreos realizados.

Metal\	Pb*		Cd*		Hg*		Cu*		Fe*		Zn*	
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
Punto 1	0.06	ND	ND	0.008	0.0005	ND	ND	ND	0.21	ND	ND	ND
Punto 2	0.06	ND	ND	0.005	0.0007	ND	ND	ND	1.77	ND	ND	ND
Punto 3	0.06	ND	ND	0.004	ND	ND	ND	ND	2.73	ND	ND	ND
X	0.06	ND	ND	0.006	0.006	-	ND	ND	1.57	ND	ND	ND

I : época de lluvia. II : época de seca ND: no se detecta * Datos en mg/kg

Punto 1: centro Punto 2: entrada residuales IPK, Hemoderivados, etc Punto 3: entrada residuales poblado XX Aniversario. X= resultado de 3 determinaciones.

Como se observa, existió un aumento de las concentraciones de Hg, Pb y Fe en la época de lluvia con relación a la época de seca, lo que indicó el arrastre de los mismos a la presa a través de los afluentes a la misma; sin embargo en el caso del Cd ocurre lo contrario ya que los mayores valores se detectaron en la época de menores precipitaciones, lo que evidencia que el metal está presente en el ecosistema y que no proviene de fuentes externas ni es arrastrado por las aguas. Sin embargo los metales esenciales Cu y Zn no fueron detectados en el agua de la presa en ninguno de los muestreos realizados a diferencia de lo encontrado en la presa Palmarito.

A pesar de registrarse la presencia metales tóxicos en el agua de esta presa, sus valores se encontraron dentro de las reglamentaciones establecidas en la Norma Cubana 93-01-105:87.(Pb=0.1mg/kg; Cd=0.01mg/kg y Hg=0.005mg/kg)

En la Tabla XX, se observan los valores obtenidos de metales traza en el sedimento de esta presa por puntos de muestreo y épocas del año.

Tabla XX. Concentración de metales traza en el sedimento de la presa Niña Bonita en los muestreos realizados.

Metal\	Pb*		Cd*		Hg*		Cu*		Fe**		Zn*	
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
Punto 1	17.8	40.6	0.68	0.45	1.60	1.50	37.4	30.6	1.64	2.59	57.8	85.4
Punto 2	33.7	38.8	0.68	0.84	1.90	1.85	43.7	43.15	1.51	2.55	51.3	49.9
Punto 3	41.9	56.4	0.68	0.80	2.80	2.92	53.6	34.9	1.63	2.63	136.9	96.3
X	31.1	45.3	0.68	0.70	2.10	2.09	44.9	36.22	1.60	2.60	81.85	77.2

I : época de lluvia. II: época de seca. *: Datos en mg/kg **: Datos en %

X= promedio de 6 determinaciones

Punto 1: centro ; Punto 2 : entrada residuales IPK y Punto 3: entrada de residuales del poblado II Aniversario

En el sedimento las concentraciones de Zn fueron significativamente más altas en la época de lluvia para ($p < 0.05$), al igual que las de Cu a pesar de que los mismos no fueron detectados en el agua, sin embargo los valores de Pb se presentaron más bajos en igual época, siendo sus valores similares a los reportados por González y col, (1989) para sedimentos no contaminados con este metal. Estos resultados evidencian que tanto el Zn como el Cu son arrastrados por el material particulado del fango, a diferencia del Pb. Las concentraciones de Cd y Hg se mantuvieron prácticamente constantes en ambos muestreos, por lo que ambos se encuentran secuestrados en el sedimento.

A pesar de que en el agua los niveles de Hg encontrados son muy bajos, en el sedimento hay presencia de concentraciones de este metal superiores a las de algunas zonas de la bahía de la Habana (Hg= 1.47 mg/kg) y del río Almendares (Hg=1.37 mg/kg) consideradas como contaminadas (González y col, 1989), siendo peligroso pues se conoce que este metal es fuertemente retenido en el sedimento en forma de tiocompuestos, permaneciendo secuestrado por largos períodos de tiempo (García Gimeno y col., 1998), pudiendo se entonces bioacumulado por los peces cultivados en esta presa.

Se encontró que en el punto 3, correspondiente a la entrada de los residuales del IPK, Hemoderivados, etc los valores de todos los metales fueron superiores, seguidos del punto 2 donde penetran los residuales del poblado, lo cual evidencia que la contaminación de la presa es debida a los residuales urbano-industriales vertidos en la misma.

A continuación se muestran los valores promedios obtenidos de los metales traza para el sedimento de esta presa.

Tabla XXI. Valores promedio de metales traza en el sedimento de la presa Niña Bonita.

Metal	X	Rango
Pb*	38.2 (12.55)	17.8 – 56.4
Cd*	0.69 (0.13)	0.45 – 0.84
Hg*	2.09 (0.6)	1.5 – 2.9
Cu*	34.8 (13.03)	22.0 – 54.0
Fe**	2.09 (0.55)	1.5 – 2.64
Zn*	79.6 (33.9)	49.0 – 137

* : Datos en mg / kg **: Datos en % (): Desv. Estándar.
X= promedio de 12 determinaciones

Las concentraciones de Cu, Zn y Fe se encontraron dentro de los rangos reportados por Horowitz, 1989 y 1991 para sedimentos de lagos no contaminados; observándose en la Tabla VIII, una alta variabilidad en los valores obtenidos de Pb, Cu y Zn, expresada por la elevada desviación estándar y el amplio rango obtenido a lo largo del estudio.

La concentración de metales traza en el pescado se observan en la siguiente Tabla:

Tabla XXII . Concentración de metales traza en la tilapia de la presa Niña Bonita.

Metal	(X)		Media general (X)	D.S	Rango	Límite admisible NC :38-02-06 :87
	I	II				
Pb*	0.39	0.39	0.39	0.28	0.31 - 1.6	1.0
Cd*	0.12	0.12	0.1	0.1	0.1 - 0.29	0.05
Hg*	0.02	0.43	0.3	0.26	0.01 – 0.74	0.3
Cu*	0.22	0.19	0.22	0.06	0.15 - 0.34	-
Fe*	3.01	2.26	3.02	1.04	1.05 – 4.04	-
Zn*	2.45	2.9	2.45	0.23	2.03 – 2.99	-

I: muestreo de lluvia II: muestreo de seca X: promedio de 40 determinaciones

Como se observa el Cd está por encima del límite admisible para pescado marino según la NC 38-02-02:87; (0.05 mg/kg), estando el 100% de los ejemplares analizados con un contenido superior a este valor. La presencia de este metal en el pescado es debida a su presencia, aunque baja en el agua y el sedimento de la presa, habiéndose demostrado en la literatura que este metal es fácilmente acumulado por los peces y que concentraciones bajas de Cd en agua son capaces de producir disturbios en las funciones bioquímicas y fisiológicas de los mismos (Stripp, y col., 1990), lo que señala la importancia de su control en animales de cultivo.

Por otra parte se encontró que el 31% de los pescados estudiados presentaron contenidos de Hg también superiores al límite admisible (0.3 mg/kg), aunque la media general no sobrepasó las concentraciones establecidas. Su alta concentración en el pescado es debida en primer lugar a la abundante presencia del metal en el sedimento de la presa como se demostró anteriormente, y en segundo lugar a que esta especie presenta una etapa de su vida en que su alimentación es eminentemente bentónica, (es decir se alimenta del fondo) y si se tiene en cuenta que el Hg presenta una alta velocidad de asimilación en el pescado y una baja velocidad de eliminación (Johnson, 1987), quedan justificados los valores obtenidos en el músculo de la tilapia de esta presa. Con relación al Pb, los niveles obtenidos en músculo estuvieron muy por debajo de las reglamentaciones establecidas.

Los metales Fe y Zn en esta tilapia se presentaron más bajos que los obtenidos en la presa Palmarito, lo que se debió a los altos contenidos de metales tóxicos (Hg y Cd) observados en el pescado, habiéndose demostrado en trabajos reportados en la literatura que sobre todo la presencia del Cd es responsable de disturbios en el pez como por ejemplo anemia, cambios en el transporte de oxígeno, en el metabolismo de los hidratos de carbono, entre otros (Stripp y col, 1990), viéndose afectada la asimilación de los metales esenciales.

La secuencia de concentración en la que aparecen los metales en la tilapia, indicó que el Cu que es un elemento esencial, fue desplazado por el Pb y el Hg que son contaminantes, hacia los últimos lugares de la secuencia, lo que se debió a la presencia de estos dos metales tanto en el agua como en el sedimento de la presa en concentraciones mayores que el Cu, facilitando esto su mayor asimilación.

A continuación aparece la secuencia de concentración obtenida para esta presa:

Secuencia de concentración de metales en la presa Niña Bonita

agua: $Fe > Pb > Cd > Hg$

sedimento: $Fe > Zn > Pb > Cu > Hg > Cd$

tilapias: $Fe > Zn > Pb > Hg > Cu > Cd$

El análisis de la secuencia indicó que el Cu que es un elemento esencial, fue desplazado por el Pb y el Hg que son contaminantes hacia los últimos lugares , lo que se debió en primer lugar a la presencia de estos dos metales tanto en sedimento como en el agua de la presa en concentraciones mayores que el Cu y en segundo lugar a la alta velocidad de asimilación de estos metales tóxicos, como se había explicado con anterioridad, todo esto facilitó su mayor asimilación y retención en el pescado.

La aplicación del análisis de factor a los resultados del estudio se muestra a continuación:

Análisis de factor en la presa Niña Bonita

Mariz	F1	F2
Sedimento	Pb (0.775)	Fe (0.981)
	Hg (0.889)	Cu (-0.897)
	Zn (0.915)	
Tilapias	Cd (0.859)	Hg (0.828)
	Cu (-0.829)	Fe (-0.626)
	Pb (0.581)	Zn (0.810)

Se obtuvo como resultado que más del 80% la varianza de los datos se explicó a través de 2 factores al igual que en Palmarito, de forma tal que al factor F1 se asociaron los metales Pb, Hg y Zn en el sedimento y al Factor F2 los metales Fe y Cu por lo que en este caso solo F1 se considera de contaminación y la presencia de Zn en el sedimento tiene por tanto igual origen. En las tilapias al factor F1 se asociaron los metales Cd, Cu y Pb y al Factor F2 el Hg, Fe y Zn. La presencia de metales tóxicos en ambos factores en la tilapia hace que ambas componentes se consideren de contaminación (Favretto y col. 1988) y permita asegurar que los niveles de metales detectados en la tilapia de esta presa tienen su origen fundamentalmente antropogénico y que deban ser estrechamente vigiladas las fuentes contaminantes del ecosistema por su influencia negativa en el ,cultivo de peces.

III- Niveles de metales traza en la presa Paso Seco.

Los resultados obtenidos en el agua de esta presa se muestran en la Tabla XX:

Los niveles de Pb y Fe aumentaron en el segundo muestreo, donde se registró un aumento de los niveles de agua de la presa, sin embargo en igual época no se detectaron concentraciones de Cd ni de Cr, lo que indicó que estos dos metales no son arrastrados con el agua hacia la presa a diferencia de los dos primeros. La concentración promedio de Pb en la época de lluvia se encontró cercana al límite admisible para este metal (0.1 mg/l), según lo regulado en la NC 93-01-105: 87 , mientras que en el primer muestreo los valores fueron muy bajos. Esta situación pone de manifiesto que con las lluvias fueron arrastradas concentraciones apreciables de Pb proveniente de los residuales urbano-industriales aledaños, resultando los puntos de mayor concentración de metales el 1 y el 2 correspondientes a la entrada del río Almendares. No se detectaron concentraciones de Hg en el agua en ninguno de los muestreos realizados.

Tabla XXIII. Concentración de metales traza en el agua de la presa Paso Seco en los muestreos realizados.

Metal\	Pb*		Cd*		Hg*		Cr*		Fe*	
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
Punto 1	0.09	0.03	0.025	ND	<0.01	<0.01	0.09	ND	5.0	2.01
Punto 2	0.07	0.27	0.1	ND	<0.01	<0.01	0.05	ND	27.8	0.16
Punto 3	0.03	ND	0.06	ND	<0.01	<0.01	0.1	ND	3.0	0.35
Punto4	0.08	0.02	0.03	ND	<0.01	<0.01	0.06	ND	0.4	0.3
Punto 5	0.04	0.09	0.02	ND	<0.01	<0.01	0.02	ND	0.8	0.53
Punto 6	0.06	0.11	0.05	ND	<0.01	<0.01	0.04	ND	0.3	0.27
Punto 7	0.05	ND	0.04	ND	<0.01	<0.01	0.08	ND	0.3	0.08
X	0.05	0.07	0.05	ND	<0.01	<0.01	0.06	ND	1.4	0.5

I : época de seca. II : época de lluvia ND: no se detecta * Datos en mg / l X= promedio de 7 determinaciones.

En la Tabla siguiente, se muestran los niveles de metales traza en el sedimento de esta presa en los dos muestreos realizados.

Tabla XXIV. Metales traza en el sedimento de la presa Paso Seco en los muestreos realizados.

Metal\	Pb*		Cd*		Hg*		Cr*		Fe**	
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
Punto 1	24.2	78.5	20.7	0.87	2.45	1.17	21.0	24.5	2.18	3.29
Punto 2	27.8	38.9	38.9	1.24	0.01	<0.01	56.6	21.6	2.69	2.44
Punto 3	25.0	18.4	20.4	1.87	0.53	4.92	30.0	16.7	3.89	2.03
Punto4	47.5	79.6	32.2	1.68	<0.01	0.68	37.6	16.7	3.10	2.93
Punto 5	32.0	38.8	37.7	1.0	<0.01	0.74	31.0	37.6	2.60	5.35
Punto 6	28.4	33.6	21.7	1.62	<0.01	<0.01	47.3	66.2	2.31	2.96
Punto 7	34.5	23.4	27.0	1.37	1.54	2.58	26.5	53.1	2.34	3.23
X	31.3	44.5	28.4	1.24	0.6	1.44	35.7	33.8	2.7	3.2

I : época de seca. II : época de lluvia *: Datos en mg / kg. **: Datos en % X: promedio de 14 determinaciones

En el sedimento como se aprecia en la Tabla, los niveles de Pb y Hg aumentaron significativamente ($p > 0.05$) en el segundo muestreo (lluvia), fundamentalmente en los puntos de entrada del río Almendares, Itabo, centro de la presa y entrada del arroyo Gadiana para el Hg, lo que evidenció que en esta época del año con las lluvias son arrastrados estos metales a la presa de forma significativa a través del sedimento provenientes de los residuales de las industrias aledañas y poblados, vertidos al ambiente sin tratar en las inmediaciones de la presa, lo que influye negativamente en el cultivo de peces de este acuario; debido al conocido carácter bioacumulador de metales que presentan los peces. Los niveles de Cr y Fe permanecieron prácticamente constantes, lo que significa que son también arrastrados a la presa con el sedimento en la época de lluvia, pero en una menor proporción y los de Cd disminuyeron en la misma época hasta niveles inferiores a los reportados por González, (1989) en sedimentos de la Bahía de la Habana ¿1.7-6.5 mg/kg?, por lo que en el caso de este metal no existe un vertimiento notable en las inmediaciones de la presa, situación que se evidenció también en el análisis del agua como pudo verse anteriormente.

Los puntos de la presa que presentaron una mayor concentración de metales son el 2, 3 y 4 que corresponden a puntos de entrada de agua a la presa y el centro donde confluyen todas las corrientes.

En la Tabla XXV se muestran los valores promedios de la concentración de los metales estudiados en el sedimento de esta presa, observándose altos niveles de Cd. Se ha demostrado que en sedimentos anaeróbicos, el Cd está presente en cantidades elevadas por precipitación de sulfuro de Cd (Mølleberg y Jensen, 1980) y si se toma en consideración que el sedimento de esta presa presenta condiciones de anaerobiosis (Sánchez y col., 1980), se justifican plenamente los altos niveles de este metal en el sedimento, a pesar de no observarse un arrastre significativo del mismo durante el período lluvioso.

Las concentraciones promedio de Pb y Cr, se encontraron por debajo de los niveles detectados por González, (1989) en sedimentos del río Almendares en Ciudad de la Habana (Pb= 143 mg/kg;) y de los ríos San Juan y Yumurí en la Ciudad de Matanzas (Pb=73mg/kg; Cr=179 mg/kg y Pb=137; Cr=211mg/kg respectivamente), mientras que las concentraciones de Hg y Fe resultaron ser similares a las de estas zonas.

Tabla XV. Valores promedio de metales traza en el sedimento de Paso Seco.

Metal	X	Rango
Pb*	37.9 (18.3)	18.4 – 79.6
Cd*	14.8 (14.5)	0.87 – 38.9
Hg*	1.04 (1.37)	0 – 4.92
Fe**	2.95 (0.82)	2.03 – 5.35
Cr*	34.74 (15.1)	21.0 – 66.2

*: Datos en mg/ kg **: Datos en % (): Desv. Estándar. X : Promedio de 28 determinaciones

Con relación al Hg, a pesar de que en el agua los niveles no fueron elevados, en el sedimento hay presencia de este metal en concentraciones similares a las de zonas consideradas contaminadas (González, 1989); debido a que como es conocido el Hg es transportado fundamentalmente por el sedimento, adherido al material particulado de los ríos (Krom y col., 1990). Su presencia en el ecosistema se debe a los residuales de la empresa de equipos electrónicos que emite residuales sin tratar en las cercanías de la presa.

En la secuencia de concentración en que aparecen los metales en el sedimento se denotan los niveles mayoritarios del Pb con relación a los demás metales estudiados de la presa a diferencia de lo obtenido en el agua. Esta situación coincide con lo obtenido por Johnson (1987) en estudios realizados en sedimentos de lagos de Ontario, donde se demostró que en general los sedimentos superficiales retienen fuertemente el Pb de forma tal que su concentración puede llegar a ser mayor que la de todos los metales traza esenciales excepto el Zn.

Los niveles de metales obtenidos en el músculo de la tilapia se muestran en la Tabla XXVI. Como se observa, la concentración promedio de Pb es baja a pesar de que se detectan concentraciones de este elemento cercanas al límite admisible en el agua y concentraciones importantes en el sedimento. Johnson, (1987) planteó que los niveles de este metal en los peces resultan siempre inferiores a los obtenidos en el sedimento y que esto era debido a que su asimilación por parte del pescado es baja. Una situación similar se observó con el Cr que también presenta una baja asimilación.

Tabla XXVI. Concentración de metales traza en el músculo de la tilapia de la presa Paso Seco .

Metal	(X)		Media general (X)	D.S	Rango	Límite admisible NC:38-02-06 :87
	I	II				
Pb*	0.11	0.20	0.15	0.08	0.06 – 0.3	1.0
Cd*	0.01	0.14	0.08	0.08	0.01 – 0.24	0.05
Hg*	3.16	1.56	2.34	1.42	0 – 4.59	0.3
Cr*	0.19	0.04	0.12	0.14	0.03 – 0.56	-
Fe*	2.6	4.4	3.5	1.03	1.9 – 4.8	-

* Datos en mg /kg I : Muestreo época de seca II : Muestreo época de lluvia.
X: Promedio de 40 determinaciones

Los valores de Pb y Cr en la tilapia de esta presa son inferiores a los detectados en trucha de lago (Johnson, 1987) y en tilapias cultivadas en la presa Arroyo Grande II de Villa Clara (Pis y col., 1992), estando el Pb por debajo del límite admisible (1.0 mg/kg) (NC 38-02-06, 1987).Las concentraciones de Fe observadas en el pescado, se consideran propias de su composición nutricional (Sidwell, 1981; Sapunar y Jusic, 1983 y Pis, 1990).

El contenido promedio de Cd superó el límite para pescado marino fresco establecido dentro de las reglamentaciones cubanas, y fue superior al reportado por Barak y Mason, (1990) para tenca y perca, obteniéndose también concentraciones elevadas de Hg con una gran variabilidad entre las muestras expresada por la alta desviación estándar calculada. Ambos elementos traza altamente tóxicos se encontraron de forma abundante en el sedimento de esta presa y como se conoce que la especie se alimenta de fondo en una etapa de su vida y que el potencial de asimilación de ambos metales por parte del pescado es alto, se justifican los valores obtenidos en la tilapia de esta presa.

El pH del agua de esta presa fue 6.6, lo que también favoreció la asimilación del Hg por parte del pescado ya que es conocido, Wiener y col. (1990b) encontraron en el músculo de especies de agua dulce cultivados en aguas con un pH entre 5 y 6.7, concentraciones de Hg el triple que las encontradas en la misma especie cultivada en aguas de mayor alcalinidad.

Las secuencias de concentración obtenidas para las tres matrices estudiadas en esta presa se muestra a continuación:

Secuencias de concentración

agua: Fe > Cr > Pb > Cd > Hg.

sedimento: Fe > Pb > Cr > Cd > Hg.

tilapias: Fe > Hg > Pb > Cr > Cd.

Aquí se pone de manifiesto la alta velocidad de asimilación del Hg por parte de los peces, ya que siendo este metal el de menor concentración en el agua y el sedimento, es capaz de desplazar a otros que se encuentran mayoritarios en el ecosistema y situarse entre los primeros de la secuencia, lo cual subraya una vez más el cuidado que debe tenerse a la hora de cultivar peces con destino al consumo humano.

A pesar de los altos niveles de Hg en el pescado, el mismo puede ser consumido sin producir afectaciones en la salud si es procesado en forma de productos elaborados con un bajo índice de insumo de pescado (10 %) como es el caso de croquetas, fish stick etc, ya que según lo analizado por Díaz en 1992, teniendo en cuenta la tolerancia de ingesta semanal, un pescado con una concentración de 3,3 mg Hg / kg, se encontraría sólo en el límite admisible para producir efectos negativos al hombre.

La aplicación del análisis de factor a los datos obtenidos en esta presa se muestra a continuación:

Análisis de factor en la presa Paso Seco

Matriz	F1	F2
Sedimento	Hg (0.951)	Pb (-0.990)
Tilapias	Cd (-0.847)	Pb (-0.810)
	Fe (0.731)	
	Hg (0.887)	
	Cr (0.644)	

Los resultados de este análisis mostraron que más del 85% de la varianza se explicó mediante 2 factores y que los metales tóxicos Hg, Pb y Cd se asocian y en las tilapias tanto a F1 como a F2, por lo que ambos factores indican contaminación, corroborándose el hecho de que la contaminación del músculo del pescado proviene de los altos niveles detectados fundamentalmente en el sedimento de la presa.

El tratamiento estadístico de los resultados mostró correlaciones significativas entre Cd-Fe

III-1- Contenido de Hg y Cd en diferentes tallas de tilapias de la presa Paso Seco.

Tomando como base los resultados obtenidos en esta presa con relación a los contenidos elevados de Hg y Cd en las tilapias se realizó un estudio de estos metales clasificándose el pescado por tallas, para definir en función del tamaño la bioacumulación de estos metales; así como para determinar en cuales son sobrepasados los niveles admisibles y de esta forma limitar su consumo directo.

Se estudiaron tres rangos de tallas: pequeña (50 – 150g), mediana (151 – 250g) y grande (251 – 350g), conformándose 7 muestras de cada talla constituida por los filetes de 5 ejemplares.

Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla XXVII, donde se observó que en las tallas de pescado pequeñas y medianas no se presentaron concentraciones de Hg por encima de los límites admisibles (0.3 mg / kg), sin embargo en la talla grande el 29 % de las muestras rebasó este valor.

Tabla XXVII. Valores promedio de Pb y Cd en diferentes tallas de tilapias de la presa Paso Seco.

Talla	Pequeña (50-150g)		Mediana (151-250g)		Grande (251-350g)	
Metal	Cd	Hg	Cd	Hg	Cd	Hg
X	0.03	0.09	0.03	0.11	0.04	0.6
D.S.	0.02	0.06	0.01	0.05	0.02	0.9
Rango	0.02-0.07	0.03-0.2	0.02-0.05	0.05-0.2	0.02-0.08	0.04-1.96

Las concentraciones más elevadas de Hg en las tilapias de mayor peso son consecuencia de la presencia abundante de este metal en el sedimento de la presa, tal y como fue

determinado anteriormente ($X = 1.04 \text{ mg/kg}$), lo que posibilitó su asimilación por parte de los peces a través del alimento ayudado por el alto potencial de asimilación que ellos presentan frente a este metal (Johnson, 1987); así como la bioacumulación natural que del metal se produce a lo largo de su vida. El pH del agua de la presa ($\text{pH}=6.6$), favoreció también la acumulación del Hg tal y como plantearon Spry y Wiener y col. (1990 b). Se observó además que a medida que aumentaba el peso de los ejemplares aumentaban el contenido promedio del metal en el músculo de las tilapias.

Con relación al Cd, los resultados indicaron que en la talla más grande el 43 % de las muestras estuvo por encima del límite establecido para pescado marino que es de 0.05 mg/kg (NC 38-02-06: 87), mientras que las tallas pequeña y mediana no sobrepasaron dicho límite. Al igual que el Hg, los mayores valores de Cd se detectaron en la talla más grande, pero ambos valores fueron inferiores a los encontrados en las tilapias de similar peso analizadas en los dos muestreos anteriores realizados a la presa .

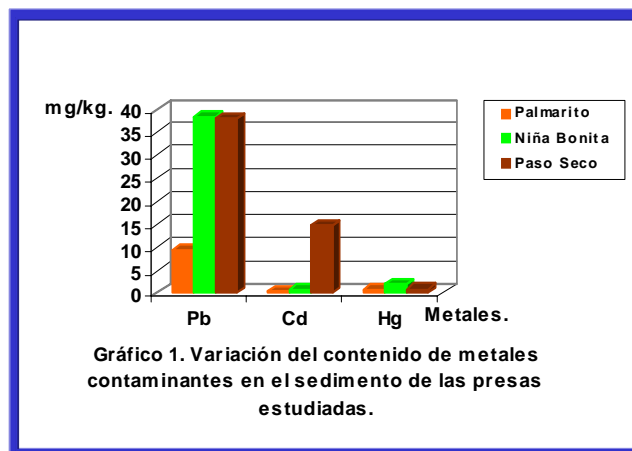
El tratamiento estadístico aplicado a las muestras no detectó diferencias significativas($p<0.05$) entre las diferentes tallas con relación al contenido de Hg y Cd a pesar de obtenerse concentraciones más altas con el aumento del peso del pescado.

Con este estudio se corroboró que la tilapia de la presa Paso Seco con pesos superiores a 250 g, alcanza niveles de Hg y Cd que pueden ser perjudiciales a la salud del hombre.

IV- Comparación del comportamiento de los metales traza en las presas estudiadas.

Los niveles de metales traza obtenidos en el agua de las tres presas estudiadas fueron en general bajos comparados con los límites admisibles en las normas para agua de cultivo de peces (NC 38-01-105: 87) tal y como se ha podido observar a lo largo del estudio, no registrándose diferencias significativas entre épocas ni presas.

Gráfico 1. Variación de los metales tóxicos en las tilapias por presas y épocas del año



Con relación al sedimento se detectaron diferencias significativas ($p > 0.05$) en cuanto al contenido de algunos metales entre presas y épocas, como se ve en el Gráfico 1.

Se registraron diferencias significativas ($p > 0.05$) en cuanto al nivel de Cd de la presa Paso Seco con relación al resto de las presas estudiadas, obteniéndose un nivel de 14.8 mg/kg, superior al de las demás analizadas. Se registraron además diferencias significativas para igual nivel de significación entre las concentraciones de este metal en igual presa entre lluvia y seca, siendo los valores en la época de mayopres precipitaciones donde se elevan los niveles de Cd en el sedimento. Por otra parte el Hg mostró diferencias significativas ($p > 0.05$) entre el sedimento de las presas Niña Bonita y Paso Seco, obteniéndose valores de 2.08 y 1.04 mg/kg respectivamente, denotándose contaminación con este metal. Los niveles de Pb fueron similares en las mencionadas presas y superiores a los de la presa Palmarito, pero comparables a los de zonas consideradas no contaminadas con este metal en otras regiones del mundo (Horowitz, 1989y 1991).

Como se ve en el Gráfico 2 , al comparar los resultados de los metales en las tilapias de las tres presas se observó que los niveles más elevados de Pb se encontraron en el músculo de las capturadas en la presa Palmarito , donde las concentraciones del metal en agua fueron también más altas; sin embargo los mayores niveles de Cd y Hg se detectaron en el músculo de las tilapias de Paso Seco, donde el nivel de Hg en el sedimento fue alto, motivando esto que las tilapias aquí cultivadas alcanzaran valores de este metal por encima del límite admisible (1.0 mg/kg).

Gráfico 2. Variación del contenido de Pb en las tilapias por presas y épocas del año.

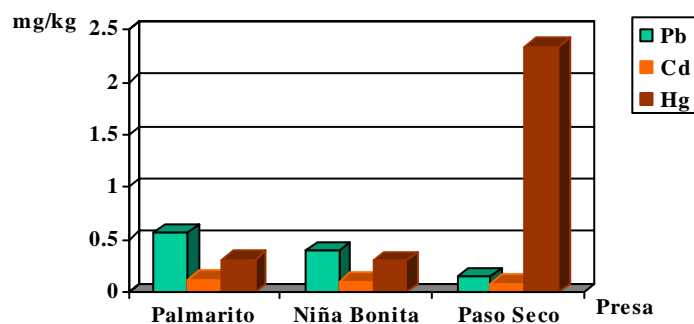


Gráfico 2. Metales tóxicos en la tilapia de las presas estudiadas.

El análisis estadístico de los resultados indicó diferencias significativas ($p > 0.05$) en los niveles de Pb en las tilapias entre presas y épocas del año. Estas diferencias se registraron entre las tilapias de Palmarito capturadas en la época de lluvia con respecto a las de las otras presas y épocas, donde el metal experimentó un aumento de los niveles como se ve en el siguiente Gráfico .

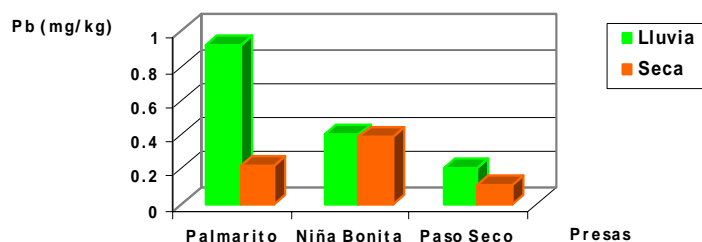


Gráfico 3. Variación del contenido de Pb en las tilapias por presas y épocas del año.

Se registraron también diferencias significativas ($P > 0.05$) en el contenido de este metal en las tilapias de Palmarito entre lluvia y seca; lo cual se debió a que los ejemplares en este muestreo presentaron un mayor peso, manteniéndose los niveles de Pb en igual nivel en el agua, vía fundamental de absorción del Pb en peces (Spry y Wiener, 1990), y si se tiene en cuenta que el coeficiente de asimilación de este metal en peces es muy elevado (Johnson, 1987), queda justificado el mayor nivel observado. En general existió una tendencia a acumularse este metal en los peces en la época de lluvia.

Los niveles de Hg en las tilapias aumentaron en la época de seca en todas las presas, excepto en Paso Seco a pesar de que no en todas se incrementó significativamente ($P > 0.05$) el nivel en los sedimentos, excepto en Paso Seco I como se ve en Gráfico 3. El tratamiento estadístico de los resultados mostró diferencias significativas ($p > 0.05$) en el contenido del metal en el pescado de Paso Seco entre las épocas del año, registrándose también diferencias significativas entre el nivel alcanzado de Hg en esta misma presa en la época de lluvia, con relación al encontrado en las demás presas y épocas analizadas. Esto era esperado ya es precisamente en esta época donde se obtienen los niveles más altos del metal en el pescado y el sedimento, resultando los valores obtenidos por encima de los límites establecidos.

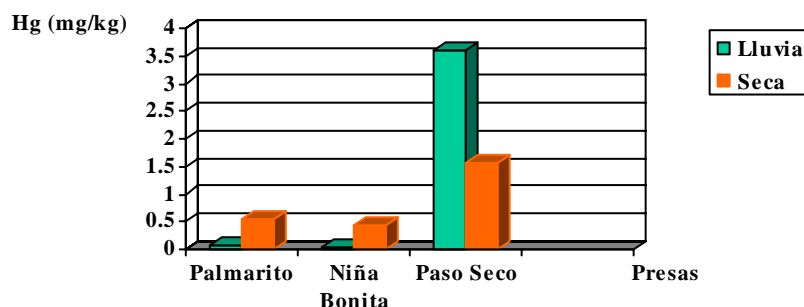


Gráfico 4. Variación del contenido de Hg en tilapias por presas y épocas del año.

Se observó además que en todos los casos, el aumento de los niveles de Hg en el músculo, implicaba una disminución de los metales esenciales, fundamentalmente el Fe, como puede verse en el Gráfico 4, implicando esto una disminución del nivel nutricional del pescado que lo hace más susceptible a contraer enfermedades infecciosas (Muñoz y col. 1994 a) y disminuyendo su calidad como alimento. En la literatura se reportan efectos similares producidos por la presencia del Cd, que conlleva a la deposición y pobre asimilación de los metales Fe, Cu y Zn, aunque el mecanismo a través del cual ocurre esto no está completamente estudiado (Stripp, 1990)

En los Gráficos 5,6 y 7. se observa la variación de los niveles de metales esenciales con el aumento de la concentración de Hg en las tilapias.

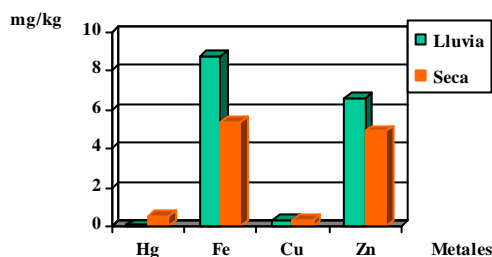


Gráfico 5. Variación de los metales nutrientes con el aumento de los niveles de Hg en las tilapias de Palmarito.

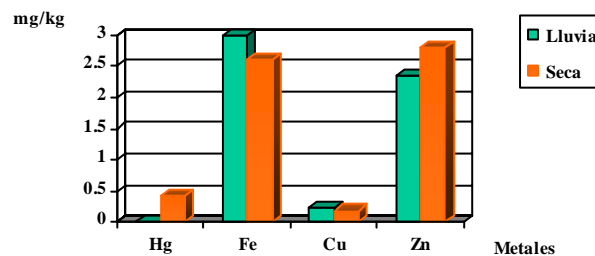


Gráfico 6. Variación de los metales nutrientes con el aumento de los niveles de Hg en las tilapias de Niña Bonita.

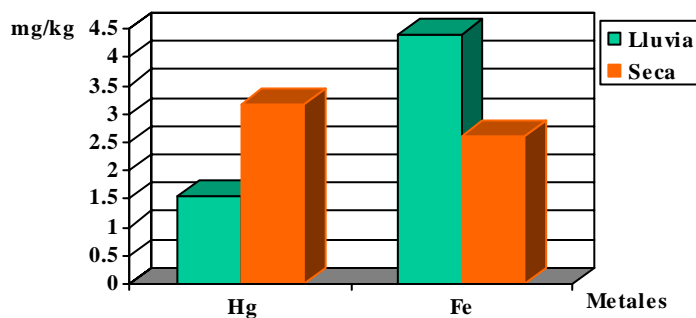


Gráfico 7. Variación del contenido de Fe con el aumento de los niveles de Hg en las tilapias de Paso Seco.

Por otra parte, los pescados de la presa Niña Bonita fueron los que presentaron los niveles más bajos de Fe, Cu y Zn, aunque los niveles de Hg no sobrepasaron los límites establecidos, lo que puede ser debido a la presencia de otras sustancias químicas dentro del ecosistema provenientes de los centros contaminantes muy cercanos a la presa, recomendándose su estudio.

Los niveles de Cd no mostraron diferencias significativas ni entre presas ni épocas del año, moviéndose en un rango entre 0.01 - 0.14 mg/kg. En todos los casos el valor promedio del contaminante fue superior al reglamentado para pescado marino (0.05 mg/kg), lo que es normal ya que los peces de agua dulce están en contacto más directo con puntos de difusión de residuales, por lo que debe establecerse un límite diferente para este tipo de pescado.

Los niveles de Fe en las tilapias de Palmarito en la época de lluvia resultaron ser los mayores con relación al de las otras presas, por lo que el tratamiento estadístico registró diferencias significativas ($p > 0.05$) con respecto a las tilapias de las diferentes presas y épocas. (Gráfico 8)

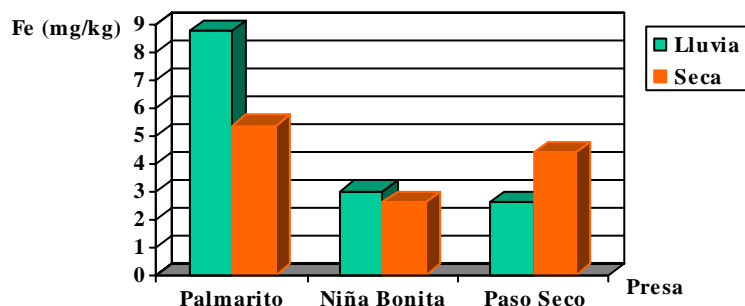


Gráfico 8. Variación del contenido de Fe en las tilapias por presas y épocas del año.

En cuanto al Cu no se registró diferencias significativas ($p > 0.05$) entre presas, pero el Zn en el pescado de Palmarito mostró diferencias entre el contenido en lluvia y en seca, mostrando los valores más elevados con respecto al resto de los peces de las otras presas, pero dentro de los valores normales de la composición nutricional; se obtuvo diferencias también en las tilapias de Paso Seco en época de lluvia con relación al resto. (Gráfico 9)

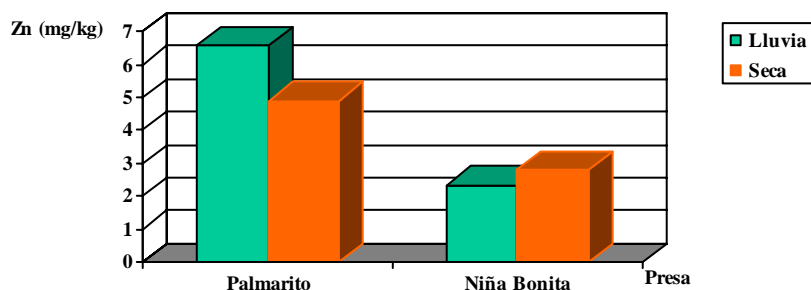


Gráfico 9. Variación del contenido de Zn en tilapias por presas y épocas del año.

En la siguiente tabla se muestran las secuencias de concentración haladas en las tres presas estudiadas

Tabla XXVIII. Secuencias de concentraciones para las matrices estudiadas en las diferentes presas

Presa/matriz	Palmarito	Niña Bonita	Paso Seco
Agua	Pb> Zn>Cu>Fe>Cd	Fe>Pb>Cd>Hg	Fe>Cr>Pb>Cd>Hg
Sedimento	Fe>Zn>Cu>Pb>Hg>Cd	Fe>Zn>Pb>Cu>Hg>Cd	Fe>Pb>Cr>Cd>Hg
Tilapias	Fe>Zn>Pb>Hg>Cd	Fe>Zn>Pb>Hg>Cu>Cd	Fe>Hg>Pb>Cr>Cd

Comparando las secuencias de concentraciones las tres presas estudiadas se observó como en la presa Palmarito, los niveles de Pb en agua fueron mayoritarios con respecto a los otros metales nutrientes, lo que provocó que en las tilapias de esa presa el Pb alcanzara niveles más elevados que de Cu que es elemento esencial. Una situación similar se observó en la presa Nina Bonita, donde además del Pb, también los niveles de Hg en las tilapias fueron superiores a los de Cu, debido a los altos niveles de estos contaminantes en el agua y el sedimento. En la presa paso Seco a pesar de que el Hg en el agua y el sedimentos ehan encontrado al final de la secuencia , su presencia fue abundante, principalmente en el sedimento por lo que en las tilapias tanto el Hg como el Pb se situaron entre los mayoritarios, e inclusive muy por encima de los l

Imites establecidos par el Hg en pescados, lo cual denota contaminación en los mismas con este metal tóxico.

CONCLUSIONES

- 1- Las tilapias de la presa Palmarito con pesos comprendidos entre 201 y 486 g y tallas entre 21 y 26.5 cm, presentaron niveles elevados de Hg y Cd que indicaron contaminación de origen antropogénico en las mismas, producto fundamentalmente del nivel de estos metales en el sedimento de la presa
- 2- En la presa Niña Bonita, las tilapias cultivadas con tallas entre 22.5 y 30 cm y pesos entre 238.5 y 535 g., presentaron contaminación con Hg y Cd en sus músculos, debido a que el sedimento de esta presa se encontró contaminado con estos metales tóxicos
- 3- En los estudios realizados al pescado de Paso Seco se determinó que las tilapias con pesos superiores a 250 g presentaron contenidos de Cd y Hg por encima de las reglamentaciones establecidas en el país, motivado esto por la contaminación del sedimento con dichos metales
- 4- En todas las presas las mayores concentraciones de metales traza tóxicos en agua y sedimento se encontraron en los puntos de entrada de ríos y arroyos, constituyendo por tanto los principales puntos de contaminación antropogénica de los embalses
- 5- En las tres presas estudiadas se observó que al aumentar los niveles de Hg en pescado, disminuían los niveles de Fe en su carne, lo que implica para el pez una mayor susceptibilidad a contraer enfermedades y una disminución en su calidad como alimento

RECOMENDACIONES

1-Consumir preferiblemente las tilapias que se cultivan en las presas estudiadas en forma de productos elaborados con bajo índice de insumo de pescado como son fish stick, croquetas, medallones u otro producto similar y no de forma directa y reiterada por la población, debido al contenido de metales tóxicos presentes en sus músculos, que sobrepasan en muchos casos los límites establecidos en las normas nacionales.

2- Realizar un control sistemático por parte de las administraciones de las presas con relación a las concentraciones de Cd y Hg en el pescado cultivado y exigir a los centros que constituyan fuentes contaminantes que establezcan el tratamiento de sus residuales, con lo que además de preservar la calidad de un recurso alimentario para la población, también ayuda a la preservación del medio ambiente.

3- Realizar estudios después de tomadas las medidas para prevenir la contaminación de origen antropogénico, que permitan conocer la disminución de los niveles de contaminantes metálicos en los ecosistemas.

4- Establecer en la norma cubana de contaminantes metálicos en alimentos, el límite de Cd para pescado de agua dulce, tomándose como base las reglamentaciones internacionales vigentes y los estudios realizados sobre el metal en estas y otras presas del país

REFERENCIAS

ACPA, (1997): La acuicultura cubana. Informe presentado en Reunión Nacional del ACPA en Camaguey. 8-11 Dic.

Ahumada, R., (1995): Herramientas conceptuales para la conservación del ambiente costero: criterios para evaluar los impactos ambientales en los sistemas marinos. *Ciencia y Tecnología del Mar*. CONA (N⁰ Especial) : 3-15, Chile.

Ahumada, R., (1995) : Bahías : áreas de uso múltiple, un enfoque holístico del problema de la contaminación. *Ciencia y Tecnología del Mar*. CONA (N⁰ Especial) : 39-47. Chile.

Ahumada, R., (1995) : Programa de vigilancia del contenido de metales traza (As, Cd, Cu, Hg., Mo, Se y Zn) en sedimentos marinos de Caleta Coloso. *Ciencia y Tecnología del Mar*. CONA (N⁰ Especial) :89-100. Chile.

Ajmal, M. ; Uddin,R. ; Khan, A.J., (1988) : Heavy metals in water, sediments, plants and fish of Kali Nadi. *Environmental Institut*. Vol. 14 N^o 6 ; 515-523.

Allen, P., (1994) : Distribution of mercury in the soft tissue of the blue tilapia *Oreochromis aureus* (Steindachner) after acute exposure to mercury (II) chloride. *Bulletin. Environmental. Contamination Toxicology*. Vol. 53 , N^o 5 pp. 675-683.

Allen, P., (1994) : Mercury accumulation profiles and their modification by interaction with cadmium and lead in the soft tissue of the blue tilapia *Oreochromis aureus* (Steindachner) after acute exposure to mercury II chloride. *Buletin Environmental Contamination Toxicology*. Vol 53, No. 5, p. 675 - 683

Augier, H.; W. K. Park and - Ramonda , (1992): Study of geographical and seasonal metal content variation in different parts of the edible sea urchin, *Paracentrotus lividus* Lamarch, from three provincial test areas . *Internationals D'Oceanographic Medicals*. CERBOM. ANNEE, 1992. Tomos 107-108.

Barak, N.A.E. and C.F., Mason, (1990): Mercury. cadmium and lead concentrations i five species of freshwater fish from Eastern England. *The Science of the Total Environment*, N° 92 pp. 257-263. Elsevier.

Barg U.C., (1994): Orientaciones para la promoción de la ordenación medio ambiental del desarrollo de la acuicultura costera. FAO. *Documentos Técnicos de Pesca* , 328. Roma.

Batilde L., (1988): *Alimentación y Nutrición*: “Los Minerales”. Curso de post-grado impartido en el IIIA. Dpto. de Docencia. Cuba.

Byrd, J.T. y col. (1990): The behavior of trace metal in the Geum Stuary, Korea. *Estuaries*; 13:1 p. 8 – 13.

Caddy, J.F. y R.C., Griffiths, (1990): Tendencias recientes en las pesquerías y el medio ambiente en la zona del Consejo General de Pesca del Mediterráneo.(CGPM). *Análisis y Estudios* No. 63, 83 p.qn

Campesan, G; R. Capelli; G. Pagotto; G. Stocco y G. Zanicchi., (1980): Heavy metals in organisma from the lagoon Venice)Italy). *Ves. Journées Etud. Pollution*, p. 317 – 322.

Castaño,A.; M. Vega; T. Bazqrez and J.V. Tarazona, (1994): Biological alternatives to chemical identification for the ecotoxicological assesment of industrial effluents. The RTG-2 in vitro cytotoxicity test. *Environmental Toxicology and Chemistry*. Vol. 17 N° 10 p 1609-1911.

Canty A.J., (1980): Aspects of biological behaviour of mercury compounds. Australian Advances in Veterinary Science . Published by *The Australian Veterinary Association*, p. 47.

Comisión del Codex Alimentarius CAC/ vol XVII-ED.1, (1984): Programa conjunto FAO/OMS sobre normas alimentarias. Contaminantes p. 9.

Comisión del Codex Alimentarius CX/FAC 95/19, (1994): Documento de trabajo sobre el cadmio. Comité del CODEX Aliemntarius sobre aditivos alimentarios y contaminantes en alimentos. 27 Reunión. La Haya. Paises Bajos. 20-34 marzo 1995.

Comisión del Codex Alimentarius C F/ FAC 95/16, (1995): Anteproyecto de codigo de prácticas sobre medidas para reducir en el origen la contaminación de los alimentos. 27^a reunión. La Haya 20-24. Marzo 1995.

Comisión del Codex Alimentarius CX/ FFP / 94/15, (1994): Definición de especies predatoras de peces a las que se aplique el nivel máximo para el metil mercurio. Programa conjunto FAO / OMS sobre normas alimentarias. Comité del Codex sobre pescado y productos pesqueros. 21ª Reunión. Berguen, Noruega, 2-6 marzo 1994.

Comisión del Codex Alimentarius CX / FAC/ 94/ 20, (1994): Documento de trabajo sobre el plomo. Programa conjunto FAO / OMS sobre normas alimentarias. Comité del Codex sobre aditivos y contaminantes en alimentos. 26ª Reunión. La Haya, Países Bajos, 7-11 marzo 1994.

Comisión del Codex Alimentarius CX / FAC / 95 / 18, (1994): Documento exámen sobre plomo. Programa conjunto FAO / OMS sobre normas alimentarias. Comité del Codex sobre aditivos y contaminantes en alimentos. 26ª Reunión. La Haya, Países Bajos, 7-11 marzo 1994.

Coombs, T.L., (1980): Heavy metals pollutants in the acuatic environment. Reprinted from *Animals and Environmental Fitness*. Eedited by R. Gilles . Pergamon Press Oxford and New York 1980, p. 290.

CNUMAD, (1980): La CNUMAD en acción en el sector forestal. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación . Roma 83 p.

Daly, H.B., (1993): Laboratory rat experiments show consumption of lake Notario salmon causes behavioral changes: support for wildlife and human research results. *Journal Great Lakes Res.* 19 (4) p. 784 – 788.

Díaz, V.; M.A. Pis y E. Nuñez: (1980): Composición física y química de la tilapia spp. IFI N° 80-27. Centro de Desarrollo de Productos Pesqueros. MIP. Dic. 1980.

Díaz, V.; C. Wong; O. Carrillo y E. González. (1992): Evaluación de la calidad proteínica de la carpa común (*Cyprinus carpio*) cultivada en Cuba. *Fondo Nacional de Manuscritos de la ACC*.

Directiva D/96/23/, (1998=: Directiva de la Unión Europea par alas medidas aplicables con respecto a determinadas sustancias y residuos en animales vivos o productos a cada estado o terceros países exportadores.

Eustace, I. J., (1974): Zinc, cadmium, copper and manganese in species of finfish caught in the Derwent eastuary, Tasmania. *Aust. Journal. Mar. Frehwater Resourse.*, N° 25 p. 209-220.

Favretto, L.; L. Gabrielli; G. Pertoldi M. Y M. Saitta; (1989): Principal component analysis: a chemometric aid for classification of polluted and unpolluted mussels. *Analytical Chimica Acta* No. 220, p. 35 -114.

FAO / OMS, (1972): Evaluación de diversos aditivos alimentarios y de los contaminantes Hg, Pb y Cd . 16 Informe del Comité Mixto FAO / OMS de expertos. Informe N° 51. *Serie de informes técnicos* N° 505, Ginebra, 4-12 abril 1972.

FAO/SIDA, (1983): Manual de métodos de investigación del medio ambiente acuático. Parte 9. Análisis de presencia de metales y organoclorados en peces. *FAO. Documentos Técnicos de Pesca*, 212, 35 p.

FAO, (1992): Informe de la consulta sobre desarrollo sostenible y medio ambiente en sectores agrícolas, forestal y pesquero de América Latina t el Caribe. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Oficina regional de la FAO para A. Latina y Caribe, santiago de Chile, p. 99

García Gimeno, R.M. y P.J., Sánchez, (1998): Riesgos sanitarios del pescado y mariscos . II Enfermedades parasitarias, micóticas, virales y por contaminantes químicos. *Alimentaria*, No. 293, p. 97 – 101

Grupo Mixto de Expertos OMI / FAO /UNESCO / COI / OMM /OMS / OIEA / Naciones Unidas / PENUMA (GEMSAP), (1995): Informe del vigésimo cuarto período de sesiones. New York, 21-25 marzo , *Informe de estudio GEMSAP*, 52, 44p.

González, H. (1989): Estudio de la contaminación marina por metales pesados en algunas áreas cubanas . Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Químicas, CNIC, Cuba

González, H. (1989):Heavy metals in sediments of Matanzaz Bay, Cuba. *Chemistry and Ecology*: 14, p. 37 - 46

González, H. e I. Tórres (1990): Heavy metals in sediments arraund a sewage oulfall at Havana, Cuba. *Marine Pollution Bulletin*: 21: %; p. 253 -255.

González, H. y L. Brugman, (1991): Heavy metals in litoral peposits of Havana, Cuba . *Chemistry and Ecology*: Vol 5, p. 171 – 179

Harada, M., (1995): Methylmercury poissining in Japan caused by environmental pollution. *Critical Review Toxicology*, Vol. 25 No. 1, p.1 – 24.

Hardison, A. and S. Castells, (1988): Carsinógenos en alimentos. *Alimentaria*, No. 180, p. 71 -86

Hintze, J. L., (1988): SOLO (2.0). Manual del Usuario

Horowitz, A.J.; K.A. Elrick y R.P., Hooper, (1989): The prediction of aquatic sediment associated geochemical factors. *Hydrological Process*, Vol. 3, p. 347 - 364

Horowitz, A.J.; K.A. Elrick ; C.R, Demas y D.K., Demcheck, (1991): The use of sediments trace elements geochemical model for the identification of local fluvial baseline concentrations. *Proceeding of the Vienna Symposium*. LAHS, Public No. 203e

Huss, H., (1988): El pescado fresco: Su calidad y cambios de calidad. *Manual de capacitación preparado por programa de capacitación FAO/DANIDA en tecnología pesquera y control de la calidad*. Colección FAO: Pesca No. 29

Johnson, M.G., (1987): Trace elements loading to sediments of Ontario lakes and correlation in fish. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science* , Vol. 44 (1), p.3-

Khan, R.A. y W., Kicenuik; (1998): Effect of petroleum aromatic hydrocarbons on monogeneids parasitizing atlantic cod *Gadus morhua*. *Bulletin Environ. Toxicology*; No 40, p 94-100.

Krihnakumar, P:K.; G.S.; Bhat; N:G: Vaidya and V:K.; Pillai, (1998): Heavy metals in the biotic distribution and abiotic matrices along Karnataka Coast, west Coast of Indian: *Journal of Marine Science*, Vol. 27, p. 201 – 205.

Krom, M.; H. Horming and Y., Cohen, (1990): Determination of the environmental apacity of Halifa Bay with respect to the input of mercury. *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 21 No.7, p. 349 - 354

Kurland, L:T.; S:N.; Faro and H:S: Siedler, (1960): Minamate disease. The outbreak of a neurologic disorder in Minamata Japan, and its relationship on the ingestion of seafood contaminated by mercury compounds. *World Neurological* No. 1, p. 370 – 395.

Larraín, A., (1995) : Criterios ecotoxicológicos para evaluar alteraciones ambientales y establecer parámetros de control : importancia de los bioensayos de toxicidad. *Ciencia y Tecnología del Mar*. CONA (N^o Especial) : 39-47. Chile.

Lerch, G.:(1984): Diagramas climáticos de Cuba. *Academia de Ciencias de Cuba*, 12 p.1, tabla y 71 gráficos

Lovsin, L:L.; A:B., DaSilva and J.A.fernández; (1974): The intensive cultivate of the all male hybrid of tilapia harnorum in northeast. *FAO Symposium on Acuaculture in Latin América*. Montevideo, Uruguay, 26 nov. -2 dic.

Lupín, H. (1976): Contaminación con mercurio de productos pesqueroas. Cámara Marplatense de Industriales del Pescado . *Boletín* No. 90, CITEP, Contribución No. 7

Malins, D:C: and G:K:Ostrander, (1991): Perspectives in aquatic toxicology. *Annu. Rev. Pharmacology Toxicol.* No. 31, p. 371 - 399.

McKown, M:N.; C. R.; Tschirn and P:P:F., Lee, (1978): Investigation of matriz interference for AAE trace metals analysis of sediments. *Report* No EPA-600/7-78-085

Meneses, M. R. and S.Z.; Qasim, (1983): determination of acute toxicity levels of mercury to the fish tilapia mosámbica. *Proc. Indian Academic Science*, Vol 92, No 5, p. 375 – 380.

Mólemberg, F. and A., Jensen, (1983): The ecotoxicology od cadmium in fresh and sea water an water pollution with cadmium in Denmark. *The Natural Agency of Environmental Protection*, Denmark, dic. , 1980.

Morsy, M:G: and M., Protasowicki, (1990): Cadmium bioaccumulation and effects on some hematological and histological aspects in carp *Cyprinus carpio*, a seleted temperature. *Acta Ichthyologica Et. Piscatoria*, Vol. XX, fasc. 1, p. 105 -115

Munns, r. and D. Holland, (1977): Papid digection and flameless atomic absorption spectroscopy of mercury in fish: Collaborative study. Food and Drug Administration 20 th and California. *Journal of the AOAC*, Vol. 60, No 4, P. 833 – 837

Munda, I.M. and V. Hudnik, (1986): Growth response of focus vesiculosus to heavy metals. Single and dual combination as related to accumulation. *Botánica Marina*, Vol, XXIX, p. 401 – 412.

Muñoz, M:J.; A: Castaño; T. Blázquez; M. Vega; M. Carbonel; G. Ortiz and J:V: Tarazona; (1994 b): A holistic concept for toxicological diagnosis of sublethal processes in aquatic environmets. Sublethal and crhonic effects of pollutants on freshwater fish. *FAO*, Muller and Lloyd Eds. Backwell, Orford, Cap 1.

Norma Cubana *NC 80-25 (1984)*: pescados y mariscos. Conservas de pescado. Determinación del índice de pH, CEN, Cuba

Norma Cubana *NC 38-02-06, (1984)*: Contaminantes metálicos. Regulaciones sanitarias, CEN, Cuba.

Norma Cubana *NC 93-01-105, (1987)*: Especificaciones y procedimiento para la evaluación de los objetos hídricos de uso pesquero, CEN, Cuba.

PEMARES, (1989): Observaciones sobre los límites de concentraciones de metales pesados establecidos por la actual normativa española para moluscos bivalvos depuradores. Conserjería de Agricultura y Pesca . *Junta de Andalucía. Dirección General de Pesca, ALIMAR*

Pinta , M. (1980): *Spectrometric D'Adsorption Atómiqe. Tomo II*. Aplication al analyce chemique 2 da edition entiérement refordue. Cap 6, p. 365

Pis M.A : P.Serrano ; E. Núñez; (1992): Determinación de Hg total en bonito (*Katsuwonus pelamis*). *Memorias de la III Conferencia Internacional de Ciencia y Tecnología de los Alimentos*. Tomo 2, sept/1992.

Pis M.A (1991) : Contenido de macro y microelementos en la tilapias (*Oreocromis aureus*) de las presas Alacranes y Mampostón. IFI , CIP, Cuba (Inédito).

Pis M.A; M:M., Lezcano; P. Serrano y G. Navarro, (1993): Determinación de los contaminantes metálicos en agua, sedimento y tilapias de la presa Arroyo Grande II. **Fondo Nacional de Manuscritos**. Dpto de Selección y canje BNCT del IDICT, (23/11/93)

Pis M.A; M:M., Lezcano; P. Serrano y E. San Emeterio, (1999): Contenido de Hg Total en pescados de la zona de Isabela de Sagua. **Revista de Ciencia y Tecnología de los Alimentos**. Vol 9 No 1-2, 1999

Directiva 96/23/E.,(1998): Plan de Vigilancia de residuos Químicos. MIP, Cuba
Randosome, J:E: and Aston, (1979): A rapid method for the determination of mercury in sediments suspended solids and soils. **Department of Environmental Science**. University of Lancaster. Lancaster L:A :I:4 y Q England.

Sánchez, N.; E. Ruiz y R. Vizcalla, (1998): Características físicas y químicas del embalse Ejército Rebelde (Paso Seco). **Boletín Técnico**, 32, ENACUI, Cuba

Sapunar, J. and M. Music, (1983): Cooper, Zinc and iron in fish. **Hrana i Isharana**, Vol 24 No 9/12, p. 229-232.

Sidwell, V. (1981): Chemical and nutritional composition of finfishes, wales, crustaceans mollusk and their products. **NOAA Technical Memorandum NMFS F/SEC. 11** , 432 ps.

Sigarroa, S.)1985): Biometría y diseño experimental. Primera parte **Ed. Pueblo y Educación**, 393 ps.

Spry, D.J. and J.G., Wiener , (1991): Metal bioavailability and toxic to fish in low alkalinity lakes: A critical review. **Environmental Pollution**, Vol 71 , p. 243 – 304.

Stripp, R.A.; M., Heit; D.C., Bogen; J. Bidnset and L. Trombetta; (1990): Trace element accumulation in tissue of fish from lakes with different pH value. **Water, Air and Soil Pollution**, Vol 51, p. 75 – 87

Suárez, G. y T. Romero, (1995): Contaminación del medio ambiente acuático. **Editorial Científico Técnico, Pinos Nuevos**, 112 ps.

Tarazona, J.V.; J.A., Ortiz; M., Carballo and M.J., Muñoz, (1995): The role of cellbiology on the application of toxicology to environmental science: Biological Assessment of pollution and Biomarker. Cell Biology in Environmental Toxicology . Copyright 1995. University of the Basque Country Press Service. Bilbo.

Thrower, S.J., (1979): Selenium could counteract toxicity of mercury in fish. **Australian Fisheries**, p. 47

Tuncel, G.; G. Ramelow and T.I., Balkas, (1980):Mercury in water and sediments from a section of the Turkish Mediterraneo coasts. **Marine Pollution Bulletin**, Vol. 11, p. 18 – 22.

Udayaganesan, P.; N. Angusamy and G.V: Rajamanickam, (1998): heavy metal distribution and provenance of vaippar basic sediments southeast coast of India. Indian of *Journal of Marine Science*, Vol 27, p. 179 – 184

Wiener, J.G. and J.P. Geisy, (1979): Concentration of Cd, Cu, Mn, Pb and Zn in fishes in a highly organic soft water pond. *Journal Fish Res. Board Can.* No 36, p. 270 – 279

Zook, E.; J. Powell; B. Hackley; J. Emerson; J.B. Brooker and G. Knobl, (1976): National Marine Fisheries Service. Preliminary survey of select seafood for mercury, lead, cadmium, chromium and arsenic content. *Journal Agri. Food Chemistry*, Vol 24, No. 1