

00361

26
2ey



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

**FACULTAD DE CIENCIAS
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO**

**“EVALUACION DEL IMPACTO DEL PLOMO EN EL
RECURSO HIDROLOGICO DEL ESTADO
DE MORELOS”**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADEMICO DE :
MAESTRA EN CIENCIAS
(B I O L O G I A)**

**P R E S E N T A :
MARIA DEL PILAR SALDAÑA FABELA**

DIRECTOR DE TESIS: M. EN C. JESUS GARCIA CABRERA

FALLA DE ORIGEN

MEXICO, D. F.

1995



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

+A MI MADRE:

Que siempre está conmigo.

A MI PADRE:

Que con su esfuerzo, sacrificio y amor me enseña el camino para ser mejor cada día.

A MIS HERMANOS:

Rocío, Román y Lulú, que me han apoyado a lo largo de mi desarrollo profesional y personal al contar con su cariño, esperando no defraudarlos nunca.

A MIS SOBRINOS:

Rodrigo, Ana Paula, Natalia y al bebé, por su amor que me motiva para superarme, esperando alcancen sus ideales y se preparen para ser mejores cada día.

A LA FAMILIA MARTINEZ SALDAÑA:

Por su cariño y apoyo que me han brindado.

A PATY, BETO, PATY Ch.,
CLAUDINA, ADRIANA Y
JAIME:

Que aunque hemos seguido caminos diferentes, siempre estaremos juntos por la amistad que nos une.

A VICTORIA, SONIA, ERIC,
ALICIA Y RUBEN:

Por la amistad que me han brindado.

AL DR. JESUS GARCIA CABRERA:

Director de la Tesis, por sus comentarios y apoyo incondicional, que me han ayudado a superarme como persona y profesionista, pero principalmente por la amistad que me ha brindado y que considero lo más valioso

Agradezco a la Dra. Irma Rosas Pérez, Dr. Alfonso Vázquez Botello, Dr. Fermín Rivera Agüero, Dra. Blanca E. Jiménez Cisneros, M. en C. Javier Alcocer Durand y al Dr. Ilangovan Kupusamy, por sus valiosas observaciones al trabajo, que enriquecieron el contenido del mismo.

Al Instituto Mexicano de Tecnología del Agua a través de la Subcoordinación de Calidad del Agua, actualmente de Impacto Ambiental, por permitirme desarrollar el presente trabajo.

En especial al MVZ Rogelio López López y Q. Manuel Sánchez Zarza, por su apoyo, consejos y asesoría en las determinaciones analíticas que conforman parte de esta tesis.

Al Dr. Felipe I. Arreguín Cortés, Coordinador de Tecnología de Tratamiento y Calidad del Agua y al Dr. Alvaro A. Aldama Rodríguez, Vocal Ejecutivo del IMTA, por su apoyo incondicional y motivación para seguirnos superando académicamente.

Al Lic. Alfredo Tapia Tapia, por la realización de las figuras que aparecen en el presente trabajo.

A todas las personas que de una u otra manera colaboraron durante el desarrollo de la investigación.

Todos hablan de ti, todos abusan de ti, todos te utilizan a ti, pero pocos han valorado la importancia que tienes para nuestra vida, nuestras actividades y nuestra cultura.

Este es un pequeño esfuerzo para que de alguna manera te valoremos y te protejamos a lo largo de tu ciclo. Para que nos sigas permitiendo subsistir junto con nuestras futuras generaciones.

Agua: eres vida, eres conocimiento, eres todo lo que necesitamos para ser felices y plenos. Eres un reflejo de nuestra educación y responsabilidad.

Recibe este tributo como lo que eres: la diosa fortuna que han valorado nuestros antepasados y que seguirán valorando nuestros descendientes.

Gracias por soportar los maltratos y abusos de la humanidad inconsciente, que depende de ti para poder vivir.

INDICE

| | |
|---|-----|
| 1. Introducción..... | 1 |
| 2. Antecedentes..... | 8 |
| 2.1 Internacionales..... | 8 |
| 2.2 Panorama de los tóxicos en México..... | 9 |
| 2.3 Estado de Morelos..... | 12 |
| 2.4 Metales pesados..... | 17 |
| 3. Area de estudio..... | 25 |
| 3.1 Hidrología..... | 27 |
| 3.2 Acuacultura..... | 30 |
| 3.3 Usos del agua en Morelos..... | 32 |
| 3.4 Estaciones de muestreo..... | 33 |
| 4. Métodos..... | 37 |
| 4.1 Técnica de muestreo en campo..... | 37 |
| 4.2 Técnica de análisis en laboratorio..... | 38 |
| 5. Análisis de resultados..... | 41 |
| 5.1 Parámetros fisicoquímicos..... | 41 |
| 5.2 Análisis de diversidad de la comunidad de peces..... | 46 |
| 5.3 Análisis de plomo en sedimentos..... | 46 |
| 5.4 Análisis de plomo en peces..... | 48 |
| 5.5 Análisis de resultados de plomo en agua..... | 48 |
| 6. Resultados y Discusión..... | 49 |
| 6.1 Fisicoquímicos..... | 49 |
| 6.2 Índice de calidad del agua..... | 52 |
| 6.3 Plomo en agua..... | 61 |
| 6.4 Índice de geoacumulación..... | 73 |
| 6.5 Diversidad, abundancia y distribución de peces..... | 79 |
| 6.6 Bioacumulación en peces de los ríos Apatlaco y Cuautla..... | 91 |
| 7. Conclusiones y Recomendaciones..... | 98 |
| 8. Bibliografía..... | 103 |

INDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Interacciones de los metales en los compartimentos de los ecosistemas terrestre y acuático..... | 5 |
| Figura 2. Importancia del plomo atmosférico en la contaminación global del ambiente y en el aporte de plomo al organismo humano..... | 20 |
| Figura 3. Localización de la cuenca del río Amacuzac..... | 26 |
| Figura 4. Principales ríos de la Cuenca Alta Amacuzac, Mor..... | 28 |
| Figura 5. Ubicación de las estaciones de monitoreo en los ríos Apatlaco y Cuautla, Edo. de Morelos..... | 34 |
| Figura 6. Red de cuchara para la captura de peces..... | 40 |
| Figura 7. Estaciones de monitoreo de calidad del agua en la red estatal de la Comisión Nacional del Agua en el Estado de Morelos..... | 42 |
| Figura 8. Intervalos de calificación del ICA según usos del agua..... | 43 |
| Figura 9. Índice de calidad del agua estación Temixco (río Apatlaco)..... | 54 |
| Figura 10. Índice de calidad del agua estación Zacatepec (río Apatlaco)..... | 55 |
| Figura 11. Índice de calidad del agua estación Jojutla (río Apatlaco)..... | 57 |
| Figura 12. Índice de calidad del agua estación Cuautla (río Cuautla)..... | 58 |
| Figura 13. Evaluación del índice de calidad del agua en los ríos Apatlaco y Cuautla, Mor..... | 60 |
| Figura 14. Balance de Masas. Carga de plomo en los ríos Apatlaco y Cuautla, Edo. de Morelos..... | 64 |
| Figura 15. Valores promedio del factor de acumulación en peces/agua (A) y peces/sedimento (B) de los ríos Apatlaco y Cuautla, Mor..... | 69 |
| Figura 16. Distribución de los valores del factor de acumulación en peces/sedimento (A) y peces/agua (B) del río Cuautla, Mor..... | 70 |
| Figura 17. Distribución de los valores del factor de acumulación en peces/sedimento (A) y peces/agua (B) del río Apatlaco, Mor..... | 72 |
| Figura 18. Acumulación de plomo en los sedimentos de los ríos Apatlaco y Cuautla, Edo. de Morelos..... | 78 |
| Figura 19. Adaptación anatómica de los peces de la familia Poeciliidae para obtener oxígeno de la película superficial del agua..... | 81 |
| Figura 20. Resultados obtenidos del índice de diversidad en el río Cuautla..... | 82 |
| Figura 21. Abundancia y distribución de los peces capturados en el río Cuautla a lo largo de los muestreos y en las diferentes estaciones establecidas..... | 85 |
| Figura 22. Resultados obtenidos del índice de diversidad en el río Apatlaco..... | 87 |

| | | |
|------------|---|----|
| Figura 23. | Abundancia y distribución de los peces capturados en el río Apatlaco a lo largo de los muestreos y en las diferentes estaciones establecidas..... | 89 |
| Figura 24. | Concentración de plomo en peces del río Apatlaco, Mor..... | 95 |
| Figura 25. | Concentración de plomo en agua del río Apatlaco, Mor..... | 95 |
| Figura 26. | Concentración de plomo en sedimentos del río Apatlaco, Mor..... | 95 |
| Figura 27. | Concentración de plomo en peces del río Cuautla, Mor..... | 96 |
| Figura 28. | Concentración de plomo en agua del río Cuautla, Mor..... | 96 |
| Figura 29. | Concentración de plomo en sedimentos del río Cuautla, Mor..... | 96 |

INDICE DE TABLAS

| | | |
|-----------|--|----|
| Tabla 1. | Relación de industrias ubicadas en el primer distrito de control de la contaminación (ECCACIV,1988)..... | 14 |
| Tabla 2. | Usos del plomo en México (%)..... | 23 |
| Tabla 3. | Pesos específicos de los parámetros elegidos para elICA..... | 45 |
| Tabla 4. | Resultados promedio y desviación estándar de los parámetros de cuadro ambiental determinados <i>in situ</i> , para los dos ríos del edo. de Morelos..... | 50 |
| Tabla 5. | Porcentajes de calificación del índice de calidad del agua (ICA) determinado en las estaciones de la red de monitoreo de la Comisión Nacional del Agua estatal.... | 53 |
| Tabla 6. | Calificación de los ríos Apatlaco y Cuautla de acuerdo a los usos del agua..... | 53 |
| Tabla 7. | Resultados de plomo en agua, sedimento y peces del río Apatlaco, edo. de Morelos..... | 62 |
| Tabla 8. | Resultados de plomo en agua, sedimento y peces del río Cuautla, edo. de Morelos..... | 66 |
| Tabla 9. | Factores de acumulación de plomo en los peces de los ríos Apatlaco y Cuautla, Estado de Morelos..... | 68 |
| Tabla 10. | Índices de geoacumulación del enriquecimiento de plomo determinados en los sedimentos de los ríos Apatlaco y Cuautla, Mor..... | 77 |
| Tabla 11. | Resultados de abundancia y diversidad determinados en el río Cuautla, edo. de Morelos..... | 84 |
| Tabla 12. | Resultados de abundancia y diversidad determinados en el río Apatlaco, edo. de Morelos..... | 88 |
| Tabla 13. | Coefficiente de correlación por rangos de Sperman entre el contenido de plomo total en peces y el presente en su ambiente..... | 97 |

1 INTRODUCCION

La descarga de sustancias potencialmente tóxicas en cuerpos de agua naturales y los efectos resultantes sobre los usos del agua es un tema de interés mundial en la actualidad, ya que la presencia de estos elementos ha sido responsable de innumerables situaciones de impacto sobre el ecosistema acuático y a la salud pública en general.

El mundo depende sin excepción de productos químicos, ya sea para aumentar la producción de alimentos, proteger la salud y facilitar la vida diaria. Muchos de estos productos son peligrosos y es necesario evaluar los riesgos directos o indirectos para la salud, al utilizarlos, almacenarlos o desecharlos. Su descarga al ambiente, intencional o no, puede causar serios problemas. Cuando se generan y manejan grandes cantidades de estas sustancias que no existían en la naturaleza se plantean grandes problemas, en especial cuando no se cuentan con procesos físicos y biológicos conocidos que puedan degradarlos hasta llevarlos a formas inocuas.

A la fecha se han registrado 7 millones de sustancias. De este total, aproximadamente 70 mil son de uso corriente en países industrializados y 3 mil de ellas representan el 95 % de la utilización (PNUMA, 1985). Muchas de estas sustancias son potencialmente tóxicas y pueden afectar los cuerpos de agua superficiales por diferentes vías, puntuales o dispersas.

En las sociedades desarrolladas existe la amenaza de contaminación de origen industrial. Problemas que resultan más obvios en los países en vías de desarrollo debido al crecimiento demográfico, al desarrollo industrial, la explosión urbana y la ordenación errónea de los recursos naturales, además de ser receptores de industrias contaminantes que emigran de los países desarrollados y se instalan en lugares donde la legislación ambiental no es tan severa como en su lugar de origen.

Los países en vías de desarrollo como México, se enfrentan a serios problemas de contaminación en sus cuerpos de agua, debido a que la mayoría de las industrias descargan sus aguas residuales sin previo tratamiento, o en algunos de los casos el tratamiento no es el adecuado, o la planta de tratamiento no fue diseñada para la capacidad de carga que recibe, por lo que al llegar al cuerpo receptor se afecta su calidad alterando y modificando a la biota que sostiene.

Un producto o sustancia se cataloga peligrosa o tóxica cuando produce una respuesta adversa (efecto) en un sistema biológico, dañando seriamente su estructura o función o produciendo la muerte (Rand y Petrocelli, 1985), también se considera que una sustancia se vuelve tóxica cuando está presente en el ecosistema acuático (columna de agua, sedimento u organismo acuático) en concentraciones que interfieren con el uso deseable del recurso, por su impacto negativo sobre la salud humana o sobre el sistema acuático (CEPIS, 1988).

Debido a la importancia que en la actualidad reviste el conocimiento y manejo de las sustancias tóxicas en el ambiente por su repercusión en la contaminación tanto del aire, del agua y el suelo y que en la actualidad son de amplia producción mundial, la cual está creciendo constantemente, se encuentran nuevos tóxicos que son perjudiciales a los organismos y por consiguiente al ser humano.

Uno de estos elementos considerado como una sustancia tóxica, es el plomo el cual es utilizado ampliamente en la industria y por lo tanto su distribución en el ambiente ha aumentado considerablemente, por lo que está clasificado como uno de los cinco metales pesados de interés por los efectos tóxicos que ejercen sobre los organismos (Jenkins, 1981, Vega, 1985).

La capacidad de un cuerpo de agua para sostener la biota del sistema, así como su estabilidad para otros usos, depende de varios elementos traza. Algunos metales se encuentran en concentraciones

trazas y son importantes para el metabolismo de los organismos.

Sin embargo el desarrollo de los países ha generado un aumento en las descargas de aguas residuales industriales y domésticas hacia los ecosistemas acuáticos provocando un incremento en la concentración de metales, lo cual puede tener severos efectos toxicológicos sobre el ambiente acuático y el hombre (Chapman, 1991; Salomons, 1984).

Los metales en aguas naturales pueden existir en la forma de iones libres, carbonatos solubles, sulfuros, hidróxidos, cloruros o sulfatos y como complejos solubles con ligandos orgánicos (Demayo, 1978; Chapman *op. cit.*).

Esta amplia variedad de formas en las que se presentan los metales en aguas superficiales y los procesos de sorción que son dominantes en los ríos, donde la cantidad de formas suspendidas está determinada por su turbiedad, es importante desde el punto de vista toxicológico y ecológico, ya que dependiendo de la forma en que se presenta el metal, éste puede estar disponible para los organismos (Linnik, 1989).

La determinación de la concentración total de los metales en el ambiente incluyen toda la diversidad de formas en las que se encuentran los metales (fracciones disueltas y particuladas). Dicha determinación no proporciona información de las fracciones que se consideran tóxicas a los organismos.

La identificación de las diversas formas de los metales se realiza a través de la especiación, que se refiere a la forma física y química presente en el ambiente (Salomons, *op. cit.*; Batley, 1989).

La especiación proporciona información de la movilidad y por lo tanto de la disponibilidad del metal hacia los organismos y su toxicidad potencial. Los factores que influyen en la especiación de los metales

en el agua son la solubilidad de los compuestos formados, los estados de oxidación, la disponibilidad de los compuestos complejados, formación de complejos, adsorción o desorción del material particulado, pH del medio y el potencial redox (Ferguson, 1990; Allan, 1986; Forstner, 1979).

La especiación del metal en el ambiente acuático es difícil de predecir por la competencia que existe entre las fases orgánicas e inorgánicas en las fracciones solubles y particuladas (Allan op. cit.; Vega, 1985) y porque en los ecosistemas acuáticos se reconocen cuatro depósitos abióticos como son: el material suspendido, el sedimento, la columna de agua (fracción disuelta) y el agua subterránea (Fig. 1), los cuales interactúan entre sí con la especie del metal (Salomons op. cit.).

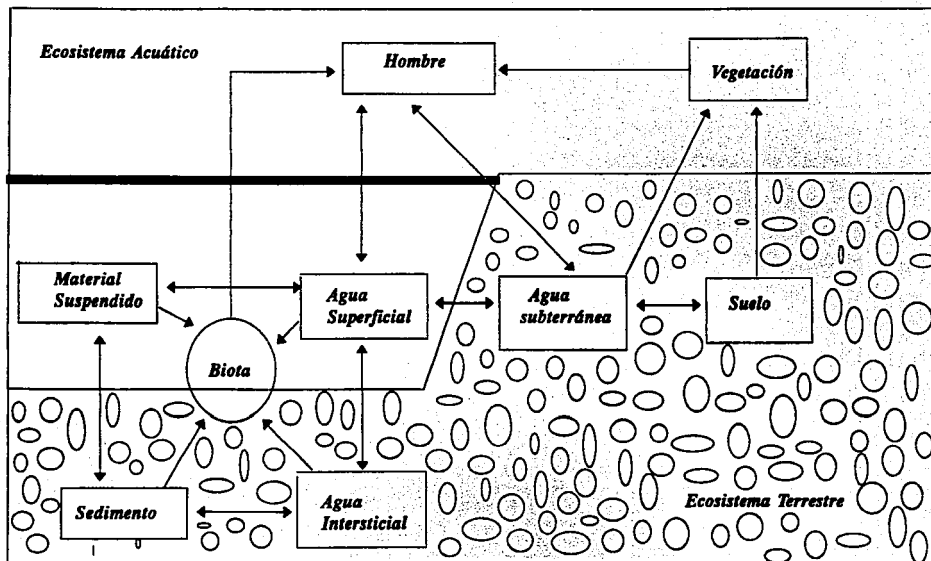
El plomo es uno de los metales de mayor uso y explotación por el hombre desde la antigüedad y se empleaba en tuberías de conducción de agua, en la fabricación de vasijas, como material de construcción, soldaduras, pinturas entre otros, y es posiblemente el primer metal descubierto por el hombre.

La amplia dispersión y el uso generalizado del plomo debido a sus propiedades tales como alto grado de ductibilidad y baja corrosión, han propiciado que el plomo se concentre en el ambiente (Ferguson, op. cit.; UNEP, 1985; Moore, 1984; Forstner op. cit.).

Generalmente el Pb^{+2} predomina en el ambiente acuático. En agua dulce a pH de 9, el $PbCO_3$ es la principal especie inorgánica (88%) y el restante es $Pb(OH)_2$, mientras que a pH de 6 los ligandos prevalientes son $PbCO_3$, el $PbSO_4$ y $PbCl_2$ (UNEP, op. cit.; Jackson, 1980; Vega, 1986).

Las especies de plomo más comunes en aguas dulces y marinas son: $PbCO_3$, $Pb(CO_3)_2$, $PbCl^+$, $PbCl_2$, $Pb(OH)^+$ y $Pb(OH)_2$, solamente en condiciones ácidas o en concentraciones bajas de cloruros, el ión

Figura 1. Interacciones de los metales en los compartimentos de los ecosistemas terrestre y acuático.



Pb⁺² se presenta en cantidades razonables (Ferguson, op. cit.; UNEP, op. cit.).

En los sedimentos, la especiación de los metales es más difícil de determinar, debido a que la técnica en el estado sólido no es tan sensible como los métodos aplicables al agua. Los procesos más importantes son la quimiosorción sobre los óxidos de manganeso (Mn) y de hierro (Fe), floculación y complejación de los metales

asociados con materia orgánica. La sorción del metal en las arcillas está controlado por el número de sitios libres en la superficie de las arcillas, la cantidad de materia orgánica y el tamaño de grano de los sedimentos.

Algunos de los compuestos del plomo que se presentan en el sedimento son PbCO₃, PbSO₄ y Pb₅(PO₄)Cl, los cuales se derivan de las emisiones atmosféricas del plomo en la gasolina y de los productos primarios y secundarios de la industria del plomo (Ferguson, op. cit., Batley op. cit.).

Debido a la complejidad de las diferentes formas en las que se encuentra el plomo en el ambiente acuático y la interrelación entre la fase acuosa (columna de agua) y sólida (sedimento y partículas suspendidas), la disponibilidad del metal hacia los organismos depende de dos factores:

- a) la concentración del metal en la fase abiótica y**
- b) los procesos bioquímicos que ocurren dentro del organismo.**

Estos factores determinan la toxicidad del metal para los organismos dependiendo de las concentraciones detectadas en su entorno y la especiación del metal presente, pudiendo ser asimilados en los diferentes órganos o en su defecto excretados.

Existen diversas formas de integrarse de los metales pesados a los organismo las cuales varían de especie a especie:

- a) vía branquial y piel**
- b) por adsorción**
- c) del alimento soluble e insoluble.**

A través de las branquias la entrada del metal del agua hacia el organismo es un suministro constante para todas las especies.

Los hábitos alimenticios, la distribución del metal en el organismo y la afinidad de este por órganos específicos, determinan la entrada y acumulación del metal en la fauna acuática.

En los peces la concentración del elemento traza en el tejido comestible (músculo) es importante por los efectos tóxicos sobre los consumidores del producto, sin embargo, la concentración detectada en el músculo es frecuentemente bajo comparado con lo determinado en otros órganos (hígado, riñón, huesos, branquias)(Forstner, 1979; Derache, 1990).

Por lo que existe una mayor acumulación de plomo en huesos, branquias, riñón y piel, detectándose concentraciones menores en tejido comestible y determinándose, según estudios realizados por Murphy *et al.* en Spry, 1991, que la concentración de plomo no se incrementa con la edad, tamaño y peso del pez.

El plomo en los diferentes niveles tróficos no se magnifica y la acumulación en peces se incrementa cuando aumenta la concentración en el agua por la entrada directa a través de las branquias y cuando el pH disminuye aumenta la disponibilidad de las especies tóxicas del plomo hacia los peces, pudiendo existir como ión divalente libre, la forma más asimilable a través de las branquias (Spry, *op. cit.*).

Los objetivos planteados en este trabajo son:

- **Evaluar la calidad del agua de los ríos Apatlaco y Cuautla del Edo. de Morelos con base en el Índice de Calidad del Agua (ICA).**
- **Determinar la carga de plomo en los ríos Apatlaco y Cuautla.**
- **Determinar el grado de contaminación de los ríos Apatlaco y Cuautla utilizando peces como indicadores de contaminación.**
- **Evaluar el grado de acumulación del plomo en el sedimento de los ríos Apatlaco y Cuautla.**
- **Evaluar la bioacumulación de Pb en peces.**

2. ANTECEDENTES

2.1.-Internacionales

El primer signo de alarma internacional relacionado con productos químicos tóxicos ocurrió a finales de los años 50, cuando una gran proporción de los habitantes de la bahía de Minamata, en Japón, contraieron una extraordinaria enfermedad. La investigación reveló que padecían envenenamiento con mercurio por el consumo de pescado que había sido contaminado por residuos vertidos en el agua. El pescado concentraba el mercurio con desastrosas consecuencias para los seres humanos que lo ingerían.

Desde entonces, el ritmo de accidentes con productos químicos tóxicos se ha acelerado. Los acontecimientos han mostrado que los problemas no ocurren solamente cuando se liberan accidentalmente grandes cantidades de productos tóxicos. Por ejemplo, bajos niveles de los productos conocidos como bifenilos policlorados (de los que existen más de 200 formas) pueden producir efectos extremadamente tóxicos si se ingieren en pequeñas dosis durante períodos prolongados.

Los agentes inductores de cáncer pueden parecer inocuos en pequeñas dosis durante décadas, hasta que se descubre la amenaza

que encierra si la exposición ha ocurrido durante periodos prolongados. Por ejemplo, el cloruro de vinilo se consideraba totalmente inofensivo, hasta que en 1974 se descubrió que este producto, básico en la fabricación de plásticos, era carcinogénico para el ser humano. Se consideraba tan inofensivo que se había estado usando como propulsante en aerosoles. Aunque hoy su uso y fabricación están estrictamente restringidos, el producto es tan importante que en 1985 aún ocupaba el 19° lugar entre los 50 principales productos químicos de Estados Unidos (por sí sola, la producción estadounidense ya alcanzó cerca de 3.5 millones de toneladas) (PNUMA, 1985).

La escala de los accidentes también ha experimentado un rápido incremento en los últimos años. En 1984, el accidente de la fábrica de plaguicidas en Bhopal, India, en el que se liberaron enormes cantidades de gases altamente tóxicos, tuvo trágicas consecuencias para cientos de miles de personas. Más recientemente aun, el accidente del reactor nuclear en la Unión Soviética generó radioactividad de bajo nivel por grandes áreas de Europa y un incendio ocurrido en Suiza causó un derrame de productos químicos tóxicos en el río Rhin, matando a los peces y otras formas de vida acuática y produciendo una extensa contaminación pluvial.

2.2 Panorama de los tóxicos en México.

Históricamente, nuestro país comienza a sufrir los estragos de la contaminación industrial por el año de 1877, donde una incipiente industrialización se encuentra asentada en la ciudad de México y sus proximidades, aunque sólo concentra la quinta parte del capital industrial nacional. La contaminación es debida a fábricas de aceites, ácidos, vidrio, manufacturas de tabaco, papelería e imprentas.

Es a partir de la Revolución Mexicana, que México, la capital, registra un crecimiento explosivo, siendo cada vez más marcada - especialmente a partir de 1940-, su naturaleza predominantemente

industrial. En este año (1940), la capital mexicana tenía 1 757 530 habitantes; el sector ocupacional más importante era el industrial que contaba con 175 mil trabajadores. De acuerdo a este desarrollo de la industria en nuestro país, se han presentado ya algunos casos alarmantes de intoxicación como en 1964-67, en Ciudad Mante, Tamps., donde se detectaron 226 casos de intoxicación aguda originada por plaguicidas organofosforados; en 1967 en Baja California, 559 casos de intoxicación por plaguicidas organofosforados y a partir de 1940 se registraron los primeros casos de envenenamiento por arsénico en la región de la Comarca Lagunera (Coahuila-Durango) (Vizcalno, 1987).

Este aumento de tóxicos en los ecosistemas se debe al crecimiento cada vez más acelerado de la industria, la cual es la principal actividad que aporta mayor cantidad de contaminantes al aire, agua y suelo, registrándose en 1975 las más importantes industrias, aproximadamente 72 000 de 119 000 registradas y que de 60 actividades industriales (exceptuando la generación de energía eléctrica), 8 de ellas son las que extraen un 87 % de agua y consumen el 89 % de todo el uso industrial; estas mismas generan el 97 % de los contaminantes descargados por todo el sector industrial.

Los productos químicos peligrosos causan, por tanto, problemas de muchos tipos. El primero es que debido a la rapidez con que aumentan en número, los trabajadores sanitarios, especialmente en los países en desarrollo, son incapaces de mantenerse al corriente de la amplitud de la amenaza. Con frecuencia, la contaminación de una zona con un producto poco conocido pone a los funcionarios en apuros; no saben nada -o muy poco- de la toxicidad del producto, ni de la manera más segura de deshacerse de él.

El segundo problema es que a menudo se sabe relativamente poco sobre la naturaleza del peligro. Las pruebas de toxicidad realizadas con animales sirven para mostrar los posibles efectos de una sola

dosis administrada generosamente, pero los efectos de pequeñas dosis acumuladas durante largos periodos o el tipo de exposición repetida tal como ocurre realmente en la práctica, son mucho más difíciles de evaluar. Lo mismo ocurre con los efectos producidos cuando los productos químicos se concentran en los tejidos de otros animales, particularmente de los peces y crustáceos o cuando dos o más productos químicos reaccionan entre sí dentro del cuerpo para producir derivados tóxicos.

La rapidez con que se necesita información es el tercer problema. La contaminación es causada a menudo por escapes, incendios, accidentes o explosiones. Estos pueden poner en peligro a las comunidades en cuestión de segundos. Evacuar es por lo general la única medida segura para limitar el número de muertos y heridos, porque conseguir la información sobre medidas de seguridad y técnicas de eliminación apropiadas puede tardar horas, a veces días e incluso semanas.

Finalmente, queda el problema de los residuos peligrosos. La mayoría de las industrias químicas producen durante el proceso de fabricación, productos secundarios potencialmente dañinos y estos subproductos tienen que ser eliminados de alguna forma porque la solución ideal -el reciclaje- es con frecuencia todavía prohibitivamente costosa y rara vez 100 % efectiva. En los países desarrollados, las disposiciones que regulan la eliminación de residuos tóxicos son hoy tan estrictas que las industrias sucumben a la tentación de quitarse el problema de encima pasándoselo a otro, por ejemplo, construyendo fábricas en otros países en los que las normas no son tan estrictas o no se aplican con demasiado rigor; pueden incluso tratar de exportar los residuos tóxicos para su eliminación en países en vías de desarrollo, sosteniendo que las instalaciones evacuadoras de residuos en estos países crea el empleo y el ingreso que éstos tanto necesitan.

Aunado a esto, según CEPIS (1988), el problema en América Latina y El Caribe se agrava, ya que no existen equipos de laboratorio para análisis rutinarios de metales pesados, plaguicidas u otras sustancias orgánicas complejas y que el esfuerzo para controlar la contaminación se centra básicamente en contaminantes convencionales (pH, DBO, coliformes fecales, sólidos en suspensión, grasas y aceites, etc.) y algunos metales pesados. Además, los planes para control de la contaminación existentes en los países latinoamericanos generalmente no están orientados para obtener un diagnóstico de la contaminación tóxica a nivel nacional.

En la actualidad, nuestro país no se ha mantenido al margen del desarrollo industrial y ya padece de problemas de contaminación con diversas sustancias, lo que ha obligado a contemplar estudios toxicológicos que colaboren a resolver el control de estos contaminantes en el ambiente y sobre todo -y a largo plazo- conocer el verdadero destino de las sustancias tóxicas.

2.3 Estado de Morelos

La contaminación del agua en el estado de Morelos es ocasionada principalmente por los desechos industriales y municipales, los cuales han adquirido dimensiones considerables en los últimos años. Las descargas de aguas residuales medidas como DBO, anualmente aportan 44.8 millones de kg, con una descarga de aguas residuales de 2,498 L/s, correspondiendo el 83 % de origen industrial y el 17 % a las de origen urbano.

En el sector industrial los principales aportadores son la industria azucarera con el 65 %, la fabricación de alimentos con el 17 %, la industria textil con el 2 %, la elaboración de bebidas el 1 % y la industria química el 1 %. Los principales contribuyentes de dicha contaminación son los municipios de Zacatepec, con 49 %, Yautepec con el 21 %, Cuautla con 14 % y Cuernavaca con el

11 % (Vargas, 1992).

En el municipio de Cuernavaca, el problema es causado principalmente por los desechos generados por la Ciudad Industrial del Valle de Cuernavaca (CIVAC), establecida desde 1972. Actualmente, CIVAC esta integrada por industrias de diversas ramas, tales como la textil, química, farmacéutica, automotriz, plásticos, maquinaria y herramientas metálicas entre otras, además de contar con áreas habitacionales y de servicios.

Los desechos de CIVAC, así como zonas aledañas, descargan en los drenajes naturales más cercanos, específicamente en las Barrancas Puente Blanco y La Gachupina, mientras que la descarga de los alrededores como el fraccionamiento Villa del Descanso, Pedregal de las Fuentes, Las Palmas, colonia Flores Magón y los poblados de Jiutepec, Tejalpa y Tlalhuapan, descargan en la Barranca Rivetex, rastro municipal y Puente Blanco; sin embargo, a partir del funcionamiento de la Empresa para el Control de la Contaminación del Agua de la Ciudad Industrial del Valle (ECCACIV), parte de los desechos de la zona industrial (49,748,010 litros en 1987) son conducidos a la planta de tratamiento, la cual descarga su efluente en la Barranca Puente Blanco (Tabla 1). En ambos casos, las aguas que llegan a las barrancas son aprovechadas corriente abajo para el riego agrícola, posteriormente desembocan en el río Apatlaco a la altura del municipio de Xochitepec, que es afluente del río Amacuzac (Athié, 1978).

Hasta 1989, los municipios más afectados por el excesivo desarrollo industrial son Cuernavaca con 550 industrias, Cuautla con 243, Jiutepec con 200 y Yautepec con 109, destacándose las industrias manufactureras (alimenticia, metal-mecánica y textil), sumando un total de 1914 industrias establecidas en todo el estado (Secretaría de Programación y Presupuesto (SPP, 1981).

Tabla 1. Relación de industrias ubicadas en el primer distrito de control de la contaminación (ECCACIV, 1988).

| EMPRESA | LUGAR DE DESCARGA |
|--------------------------------------|-------------------------------|
| Química Mexama, S.A. | ECCACIV * |
| Laboratorios Julián S.A. | ECCACIV * |
| Pond's de México S.A. de C.V. | ECCACIV * |
| Esquim S.A. | ECCACIV |
| Christianson S.A. de C.V. | ECCACIV |
| Syntex S.A. | ECCACIV |
| Laboratorios Le Petit | ECCACIV |
| Textiles San Andrés | Conectado ECCACIV sin pagar * |
| Nissan Mexicana S.A. | ECCACIV |
| Noriega y de Blanco S.A. | Conectado ECCACIV sin pagar |
| Nobilis Lees, S.A. | ECCACIV |
| Laboratorios Up John | ECCACIV |
| Cementos Moctezuma, S.A. | ECCACIV * |
| Textiles Morelos, S.A. | ECCACIV * |
| Cables Automotrices, S.A. | ECCACIV |
| Raffia S.A. | ECCACIV |
| NEC de México, S.A. | ECCACIV |
| Polygal Mexicana, S.A. | ECCACIV |
| MEX Control, S.A. | ECCACIV |
| Electrocap, S.A. | ECCACIV |
| Manufacturera Gráfica Mexicana, S.A. | ECCACIV * |
| Tamacani | ECCACIV |
| Hidramac, S.A. | Conectado ECCACIV sin pagar |
| Telegabinetes de México, S.A. | Sin funcionar |
| Grupo Industrial Colfocin | ECCACIV |
| VECO, S.A. | ECCACIV |
| Dermamex, S.A. | ECCACIV |
| Laboratorios Imperiales | ECCACIV |

Tabla 1a. Relación de industrias ubicadas en el primer distrito de control de la contaminación (ECCACIV, 1988).

| EMPRESA | LUGAR DE DESCARGA |
|-----------------------------------|-----------------------------|
| ORSABE, S.A. | ECCACIV |
| Domenisis, S.A. | ECCACIV |
| Refrigeración de Morelos, S.A. | Conectado ECCACIV sin pagar |
| Selemex, S.A. | ECCACIV |
| KS de Morelos | ECCACIV |
| Avíos para Telares | ECCACIV * |
| Cerámica de Cuernavaca | ECCACIV * |
| Erge | Conectado ECCACIV sin pagar |
| Hilados de Morelos | ECCACIV * |
| Herramientas EXELETE | ECCACIV |
| Industrias Parmec, S.A. de C.V | ECCACIV |
| Colorantes Unión, S.A. | ECCACIV * |
| Plastovin, S.A. | ECCACIV |
| Dos Osos, S.A. | ECCACIV |
| Penwalt, S.A. de C.V. | ECCACIV |
| Válvulas Jet, S.A. | ECCACIV |
| Investigación Farmacéutica, S.A | ECCACIV |
| Travenol, S.A. de C.V. | ECCACIV |
| Termo-Hidráulica, S.A. de C.V. | ECCACIV |
| Mayekama de México, S.A. | ECCACIV |
| BAUAMEX S.N.C. | ECCACIV |
| IUAQUIMEX, S.A. | ECCACIV |
| Alucaps Mexicana, S.A. de C.V. | ECCACIV |
| Asimec, S.A. de C.V. | ECCACIV |
| Nacional Algodonera, S.A. de C.V. | ECCACIV |
| Acabados de Grasas, S.A. de C.V. | ECCACIV |
| PAKSA | Barranca Puente Blanco |
| PEMEX | Barranca El Rastro * |

Tabla 1b. Relación de industrias ubicadas en el primer distrito de control de la contaminación (ECCACIV, 1988).

| EMPRESA | LUGAR DE DESCARGA |
|---------------------------------|--------------------------|
| Rastro Municipal | Barranca El Rastro |
| Grupo Industrial Interamericano | Barranca Rivetex |
| RASF Vitaminas | ECCACIV |
| Gasolinera CIVAC | Barranca Puente Blanco * |
| Centro Deportivo IMSS | Infiltración |
| Porcelana de Cuernavaca, S.A. | ECCACIV |
| Sistemas y Componentes, S.A. | ECCACIV |

* Industrias potencialmente aportadoras de plomo

Con respecto al agua superficial, se determinó que el principal problema se debe al alto contenido de materia orgánica producida por los desechos domésticos provenientes de la parte central de la cuenca.

En cuanto al río Cuautla, presenta una descarga no considerada con anterioridad como peligrosa, ya que conduce agua del manantial "Las Tazas", pero que arrastra gran cantidad de desechos municipales de la ciudad de Cuautla. Esta descarga es la llamada Barranca o río Ayala, a la altura del kilómetro 11 y que afecta hasta la confluencia con el río Amacuzac en el kilómetro 59.

2.4 Metales pesados

La liberación de los elementos potencialmente tóxicos (como los metales pesados) en el ambiente afectan a los ecosistemas a diferentes escalas, local, regional y mundial; estos impactos pueden ser estudiados por diferentes medios, tales como, suelo, agua y biota.

El análisis de datos de núcleos de sedimentos por ejemplo, indican la tasa de entrada y el desarrollo histórico de ciertos contaminantes a una escala regional y mundial, mostrando las mayores

perturbaciones para el plomo a escala mundial, como se muestra a continuación (MeyBech M; Chapman y Helmer, 1990):

ESCALA DE PERTURBACION DE LOS CICLOS GEOQUIMICOS DE METALES EXPLOTADOS POR EL HOMBRE

| | GLOBAL | REGIONAL | LOCAL |
|----------|--------|----------|-------|
| ALUMINIO | - | + | - |
| CADMIO | (-) | + | + |
| CROMO | - | - | + |
| PLOMO | + | + | + |
| MERCURIO | (-) | + | + |

+ Perturbación significativa

- No perturbación

() El enriquecimiento puede no ser antropogénico

Dada la importancia del probable riesgo por contaminación con plomo en el área de estudio, se anotan sus principales características que deben ser consideradas para evaluar el riesgo real al ecosistema.

El plomo se encuentra en forma natural en la corteza terrestre de un modo relativamente abundante en un promedio de 16 mg/kg y fue uno de los primeros metales extraídos por el hombre a partir de la galena (PbS), la cerusita (PbCO₃) y la anglesita (PbSO₄).

A nivel mundial, México y Perú son los principales productores de plomo en América Latina y el incremento en la producción y consumo ha aumentado el riesgo de exposición y de impacto a la salud humana, debido a las descargas de este elemento hacia los diferentes componentes ambientales. Dicho metal es utilizado en forma de diversos compuestos en la industria, siendo las más importantes la de baterías, pigmentos para pinturas, alfarería, cables y productos químicos, además como tetraalquilo de plomo se usa extensivamente como antidetonante en la gasolina (Corey, 1989).

Esta última actividad es la principal vía de entrada por la cual se produce la mayor contaminación antropogénica del ambiente; al ser emitido hacia el aire, el metal o sus derivados contaminan prácticamente todos los componentes ambientales tales como aire, agua, suelo y alimento (Fig. 2).

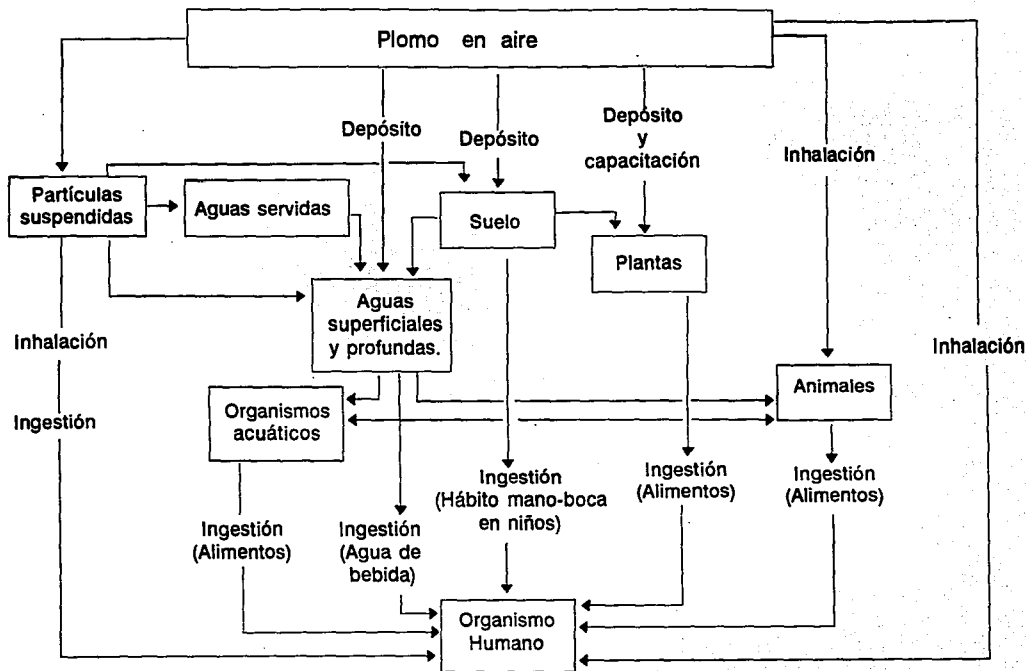
Las descargas urbanas y los depósitos atmosféricos son fuentes indirectas de plomo encontrado en el ambiente acuático. El plomo en aguas superficiales es sorbido en los sólidos suspendidos y sedimentos (EPA, 1982 en Draff, 1991).

Diversos autores (EPA, 1988), determinan que en el ambiente acuático el tetraetilo de plomo se introduce al agua a partir de los desechos generados durante los procesos de manufactura; además, las fuentes antropogénicas pueden generar los tetraalquilos de plomo en el medio acuático por una combinación de alquilación química y biológica de diversos compuestos orgánicos e inorgánicos del plomo.

Wong y Chau (1979), citados por EPA, op. cit., investigaron el potencial de los microorganismos autóctonos de ciertos sedimentos acuáticos para que metilaran los compuestos orgánicos e inorgánicos de plomo a tetrametilo de plomo, tóxico y volátil, determinando que la metilación de los compuestos orgánicos de plomo ocurre fácilmente en ausencia y presencia de sedimentos; dicha metilación aumentó la toxicidad del plomo para diversas especies de algas de agua dulce y la acumulación del plomo en peces se detectó en niveles altos.

Los compuestos orgánicos del plomo como los trialquilos de plomo y tetraalquilos de plomo son más tóxicos que las formas inorgánicas y han mostrado ser concentrados en los organismos acuáticos, presentando una mayor toxicidad los compuestos tetraalquilos de plomo que los compuestos trialquilos de plomo; así como las formas etil son más tóxicas que las formas metil (Eisler, 1988 en Draff, op. cit.).

Figura 2. Importancia del plomo atmosférico en la contaminación global del ambiente y en el aporte de plomo al organismo humano.



En organismos acuáticos, las concentraciones de plomo son usualmente mayores en organismos bentónicos y algas y menores en depredadores de niveles tróficos superiores (por ej. peces carnívoros). Altos Factores de Bioconcentración (FBC) fueron determinados en estudios, usando ostras (6,600 FBC *Crassostrea virginica*) algas de agua dulce (92,000 FBC *Selenastrum capricornotum*) y trucha arcoiris (729 FBC *Salmo gairdneri*) (Eisler, 1988 en Draff op. cit.).

Villegas y Villarreal, 1989, determinaron una acumulación diferencial de Zn, Cu y Pb en tejidos de *Cichlasoma cyanoguttatum* en un orden de hueso < branquias < vísceras < músculo.

Mac Donald (1951), citado por Khan et al., 1989, reportó que los huesos de las vértebras fueron el sitio de depositación de plomo en peces.

Chau et al. (EPA, op. cit.), determinaron alquilos de plomo en sedimentos del río St. Lawrence cerca de Maitland, Ontario: metil trietilo de plomo 142 ng/g, tetraetilo de plomo 329 a 1152 ng/g, trietilo de Pb^{+1} 187 ng/g. En muestras de peces, (carpa y robalo), encontraron 137 ng/g de tetrametilo de plomo, 57 a 96 ng/g de dietildimetilo de plomo, 780 a 4384 ng/g de tetraetilo de plomo y 53 a 3433 ng/g de trietilo de Pb^{+1} .

El promedio de plomo contenido en sedimentos de ríos se estima en aproximadamente 20 mg/kg (EPA, 1982 a, en Draff op. cit.). Un análisis de sedimentos de 10 lagos de Pensylvania, EUA., indicaron que los valores elevados de plomo no fueron derivados de la depositación de plomo en forma de rocas nativas, sino más bien fue originada por la depositación antropogénica del plomo (probablemente formada de las emisiones de automóviles) sobre el suelo y subsecuentemente por precipitación, las partículas del suelo fueron arrastradas hacia los lagos (Case, 1989).

Brugman, 1981, citado por Mmari y Shem, 1989, registraron concentraciones altas de plomo, de 2 - 400 mg/kg en sedimentos cercanos a las costas del mar Báltico y Hamilton-Taylor 1979, citados por los mismos autores, encontraron una concentración de 500 mg/kg de plomo en los sedimentos del Lago Windermere en Inglaterra.

Kemp *et al.* citado por Demayo 1978, concluyó que los elementos en los sedimentos del Lago Erie, pueden derivarse en grupos conservativos, enriquecidos y nutrientes; los conservativos (Al, K, Na, Mg y Si) indican las especies mineralógicas mayores y fueron los más abundantes en los sedimentos y su concentración permaneció constante en el tiempo. Los metales enriquecidos (Hg, Pb, Zn, Cd y Cu) y nutrientes (Carbono orgánico, nitrógeno y fósforo) tienen altas concentraciones y este enriquecimiento es atribuido a las fuentes antropogénicas.

En el río Danubio, que atraviesa 8 países, MeyBech, *op. cit.* encontró concentraciones de plomo en agua y sedimentos de: República Federal de Alemania < 0.003 mg/L y 16 mg/kg; Austria 0.00366 mg/L y 68 mg/kg; Hungría 0.2 mg/L y 200 mg/kg y en Yugoslavia 0.106 mg/L.

Con lo que respecta a las investigaciones realizadas sobre aportes de plomo al ser humano, Corey y Galvão (1989), han encontrado que las emisiones atmosféricas de este metal en las ciudades con intenso tráfico, proporcionan a los habitantes urbanos un promedio de 0.006 hasta 0.009 mg/d de plomo.

La EPA determinó que en promedio un niño ingiere vía alimento 0.019 mg/d de plomo y vía agua de consumo 0.007 mg/d, mientras que un adulto ingiere vía alimento 0.030 mg/d y agua 0.015 mg/d de plomo, por lo que el promedio de ingesta diaria es de 0.05 mg/d. Asimismo, se estima que cuando en el agua de bebida se presenta un intervalo de concentración de 0.094-0.125 mg/L se espera

encontrar en la sangre un intervalo de 0.015-0.020 mg de Pb/100 mL de sangre y se sospecha que pueden existir efectos adversos cuando el nivel de plomo en la sangre alcanza concentraciones de 0.030 hasta 0.040 mg/100 mL, ya que el nivel normal es de 0.017 mg/100 mL.

Albert y Badillo, (1991), en el artículo Environmental lead in México, realizan la revisión de trabajos referentes a este metal. La revisión indica que México en el periodo de 1983 a 1987 ocupó el sexto lugar en producción mundial de plomo, los principales usos fueron como óxidos de plomo que se utilizan en varios procesos industriales, principalmente manufactura de baterías y producción de tetraetilo de plomo (50 a 60 %) y en menor porcentaje en soldaduras, cables, municiones, pigmentos, pinturas, cerámica, esmaltes y otros productos (Tabla 2).

Tabla 2. Usos del plomo en México (%)

| Usos | 1981 | 1986 |
|---------------------|------|------|
| Oxidos | 55.7 | 68.9 |
| Baterías | 14.9 | 7.0 |
| Tetraetilo de plomo | 8.5 | 10.9 |
| Cables | 6.7 | 5.7 |
| Otros | 14.7 | 7.6 |

La producción de tetraetilo de plomo utilizada en la gasolina en 1987 se estimó en más de 32 toneladas métricas por día que fueron emitidas al aire en la Ciudad de México y Zona Metropolitana y México es el país que ha usado el mayor contenido de plomo a nivel mundial (1 g/L), en comparación con Inglaterra (0.007 g/L) y Alemania (0.04 g/L) por ejemplo.

A partir de 1986 se disminuyó el contenido de plomo a 0.16 g/L en la gasolina nova y en 1988 el promedio anual de emisiones al aire se estimó en 16,590 toneladas métricas.

La manufactura de cerámica, la cual es un oficio importante en México, ya que es el 5o. lugar como productor a nivel mundial de alfarería y cerámica, esta localizada en los estados de Morelos, Guanajuato, Hidalgo, Jalisco, Estado de México, Michoacán, Oaxaca y Puebla.

En cuanto a la relación de plomo en agua, los autores mencionan que se le ha dado poca importancia a los estudios de contaminación del agua en México y que esto podría tener serias consecuencias en el futuro. Se han encontrado concentraciones de plomo en el río Coatzacoalcos de 0.012 mg/L y de 0.029 mg/L, Pérez (1993) determinó una concentración promedio de 0.0124 mg/L en el canal Chijol, Veracruz, mientras que Villanueva (1992), citando a varios autores determinaron concentraciones promedio de plomo en varias lagunas costeras del Golfo de México encontrándose en un ámbito de 0.001 a 1.96 mg/L (Rosas *et al.*, 1983).

En México pocos ríos y algunas áreas costeras del Golfo de México han sido estudiados en relación al contenido de plomo en sedimentos. Vázquez Botello citado por Albert, 1992, determinó concentraciones de plomo total en sedimentos del río Coatzacoalcos de 46.7 mg/kg, en los sedimentos del río Tonalá y la Laguna del Ostión en Veracruz, encontrándose fuertes tendencias de asociación entre el contenido de plomo, el contenido de materia orgánica y el tamaño de grano de los sedimentos y menciona que la biodisponibilidad del plomo en la fracción no detrítica fue de 19.1 %.

En cuanto a los aspectos bióticos, existen pocos estudios como lo menciona Albert, *op. cit.*, algunos de ellos son los de Ochoa, 1972, Vázquez Botello, 1978, Rosas, 1983, Ponce, 1988; que han realizaron estudios en Lagunas costeras del Golfo de México,

utilizando organismos como ostiones, peces y crustáceos de agua dulce; algunos resultados indican que varios organismos contienen plomo en concentraciones por arriba del límite permisible por la Food and Drug Administration (1971) que es de 0.2 mg/kg, por lo que estos organismos pueden considerarse como no aceptables para consumo humano.

Albert, *op. cit.*, concluye entre otros puntos que el plomo en la gasolina es aún usado en concentraciones altas en todo el país, con excepción de la Ciudad de México y que son necesarios más estudios en ciertas regiones y en algunos grupos de población expuestos a este contaminante.

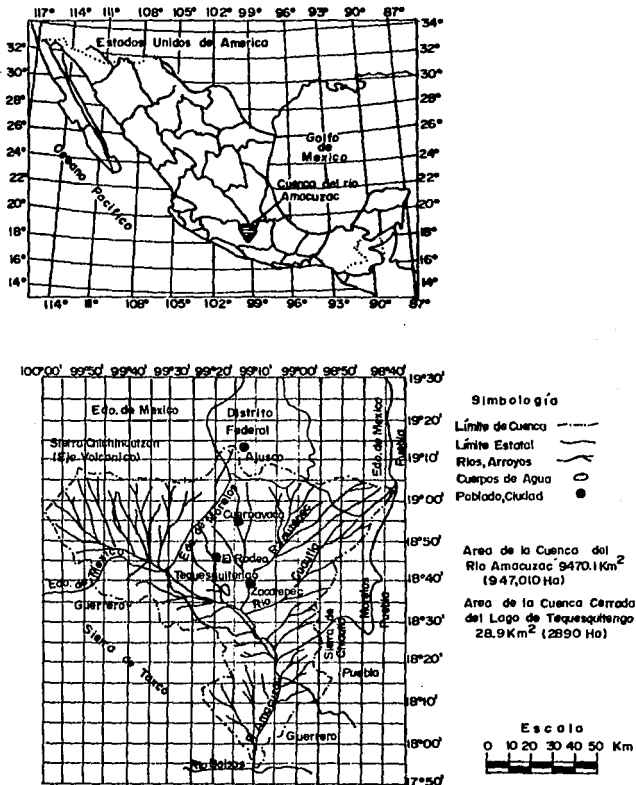
3. AREA DE ESTUDIO

El estado de Morelos ocupa una superficie de 4 958.22 km² y junto con los estados de México, Guanajuato, Hidalgo, Tlaxcala, Puebla y Querétaro, forman la región centro del país, alcanzando una superficie que representa el 6.5 % del total nacional.

La cuenca del río Amacuzac (Región Hidrológica No. 18), comprende casi la totalidad del estado de Morelos, el extremo suroeste del Estado de México, una pequeña fracción del sur del Distrito Federal y del suroeste del estado de Puebla, así como el extremo norte del estado de Guerrero (Fig. 3).

La cuenca se asemeja a un triángulo, con su base en el lado norte y el vértice en el sur, limitando al norte con el Distrito Federal y Estado de México, al sur con los estados de Puebla y Guerrero, al este con el estado de Puebla y al oeste con el Estado de México.

Figura 3. Localización de la cuenca del Río Amacuzac.



3.1. Hidrología

La cuenca del Alto Amacuzac está formada principalmente por los ríos Tetlama, Apatlaco, Yautepec, Cautla y Amacuzac (Fig. 4).

El río Apatlaco o Jojutla como se le conoce en su parte baja se forma en una serie de barrancas situadas al oeste de Cuernavaca, entre las que se encuentran las de Tetlama, Del Túnel, de San Antón, de la India y de Cuajomulco. Sigue una trayectoria de norte a sur, corriendo por las zonas de cultivo de los poblados de Temixco, Acatlipa, Xochitepec, Atlacholoya, Xoxocotla, Tetlepa, Zacatepec y Jojutla de Juárez. Los aportes más importantes que recibe a lo largo de su recorrido, son los del río Tetlama por la margen derecha y el río Palo Escrito por la izquierda. Su principal uso consiste en el riego agrícola, así como receptor de las descargas municipales de Zacatepec y aguas tratadas de ECCACIV y la descarga del Ingenio Emiliano Zapata.

Cuenta a lo largo de su recorrido con varias obras de toma, agua que se aprovecha en su totalidad para riego de cultivos, a excepción de las aguas del canal Tenayucan, que eran aprovechadas para la generación de energía eléctrica. En la margen derecha se encuentran las siguientes obras de desviación:

- Canal segunda toma río Apatlaco.
- Canal tercera toma río Apatlaco.
- Canal sexta toma río Apatlaco.
- Canal octava toma río Apatlaco.
- Canal novena toma río Apatlaco.
- Canal Tenayucan.

En la margen izquierda del río Apatlaco se encuentran las siguientes obras de desviación:

**Canal primera toma río Apatlaco.
Canal quinta toma río Apatlaco.
Canal séptima toma río Apatlaco.
Canal Soledad.**

El río Apatlaco tiene un recorrido aproximado de 40 km desde el poblado de Alta Palmira hasta la desembocadura en el río Yautepec.

El río Cuautla o Chinameca es afluente directo del río Amacuzac, tiene sus orígenes en las faldas del volcán Popocatepetl a una elevación aproximada de 3 600 m.s.n.m. En su parte alta toma el nombre de Barranca del Volcán, siendo su orientación general de noroeste a suroeste, con una longitud aproximada de 110 km., regando en su parte alta los terrenos del poblado de Achichipilco e inmediatamente después las inmediaciones de Yecapixtla, para pasar a irrigar ampliamente el valle de Cuautla. Los principales afluentes son del río Agua Hedionda junto con las aguas de la barranca Papayo y el río de la Cuera por la margen izquierda. Sus aguas son utilizadas principalmente para el riego agrícola. Actúa como receptor de desechos municipales de la ciudad de Cuautla (Barranca Ayala) y descargas de pequeñas industrias aledañas (SRH, 1970).

En la margen derecha del río Cuautla se localizan las siguientes obras de desviación:

**Canal El Zote.
Canal San Esteban.
Canal La Torre.**

En la margen izquierda del río Cuautla se localizan las siguientes obras de toma:

**Canal Socavón.
Canal El Túnel.**

**Canal Las Tortugas.
Canal Las Iguanas.
Canal Mirador.**

3.2. Acuacultura

Con respecto a la pesca en el estado de Morelos, esta actividad se considera de suma importancia ya que de acuerdo al inventario de cuerpos de agua lénticos de SEPESCA (Díaz, *et al.* 1988), se registran 1654 hectáreas divididas en:

| Intervalo de superficie (ha) | Núm. de cuerpos de agua | Superficie (ha) |
|---|------------------------------------|----------------------------|
| 1 - 10 | 72 | 384 |
| 11 - 100 | 4 | 167 |
| 101 - 1000 | 3 | 1100 |

De los cuerpos anotados, veintisiete son permanentes con una superficie de 1132 ha y cincuenta y dos son temporales con una superficie de 340 ha; éstos últimos están constituidos principalmente por bordos, jagüeyes y ollas.

Las características incipientes de la actividad pesquera en el estado y la falta de capacitación técnica en el desarrollo de la acuacultura, propician que las técnicas de producción a la fecha se mantengan en un nivel de subsistencia y se utilicen artes y métodos de pesca rústicos, chinchorros, atarrayas y anzuelos; en algunas ocasiones se emplean métodos prohibidos como son los explosivos, aparatos generadores de corriente eléctrica y chinchorros con luz de malla muy pequeña, todos ellos muy nocivos para el desarrollo de las especies objeto de explotación.

Los recursos bióticos de mayor importancia comercial son las mojarras (*Tilapia aurea* y *Tilapia mossambica*) ampliamente distribuidas en todo el estado tras su introducción en 1967 y el bagre del Balsas (*Ictalurus balsanus*), especie nativa capturada en el río Amacuzac.

En 1982, la Delegación de Pesca comenzó a introducir crías de *Oreochromis hornorum* al repoblar los cuerpos de agua como parte de su programa de extensionismo y hoy se encuentran en casi todo el estado. Se registran para esta área 21 especies agrupadas en 16 géneros y 10 familias (Anguillidae, Characinidae, Salmonidae, Ictaluridae, Cyprinidae, Goodeidae, Poeciliidae, Cichlidae, Atherinidae y Centrarchidae).

La fauna ictica del estado de Morelos se representa en su mayoría por especies introducidas intencional o accidentalmente; las especies más abundantes son las representantes de las familias Poeciliidae y Cichlidae y las menos abundantes son las familias Anguillidae y Atherinidae (Díaz, et al., 1988).

De las 21 especies registradas, solo cinco son autóctonas de la cuenca del balsas: *Ictalurus balsanus*, *Balsadichthys whitei*, *Cichlasoma istlanum* (la más abundante), *Lermichtys multiradiatus* y *Melaniris balsanus* (la menos abundante).

Poecilia sphenops y *Astyanax fasciatus* son abundantes y ampliamente distribuidas en el estado ya que ambas se encuentran en un 90 % de los cuerpos de agua del mismo.

Para el apoyo de las actividades de acuicultura, el estado cuenta con un centro acuícola (El Rodeo), donde se reproducen entre tres y cuatro millones de crías de la especie *Oreochromis mossambicus* en estanques de reproducción, alevinaje y cría. Las crías se destinan a las unidades de engorda. El otro centro acuícola llamado "Zacatepec" produce de uno a dos millones de crías de *Oreochromis hornorum* y

***Cyprinus carpio* para siembra.**

Los productos piscícolas del estado se comercializan localmente en los mercados de las poblaciones cercanas a las unidades de engorda, principalmente frescos, secos/salados y eventualmente refrigerados (Díaz, *et al.*, *op. cit.*).

3.3. Usos del agua en Morelos

El estado de Morelos cuenta con 33 municipios, dentro de los cuales existen varias localidades de importancia turística por los balnearios de aguas termales y medicinales. La agricultura es una actividad muy importante cosechando principalmente caña de azúcar, arroz, frijol, maíz, jitomate, tomate y algunos productos de menor importancia como son algodón, cacahuate, melón, sandía y otros frutales.

El agua en el estado se extrae tanto del subsuelo que se utiliza en los diferentes sectores (industrial, agropecuario y de servicios) y de la superficie, la cual se emplea principalmente para uso agropecuario.

Este sector cuenta con una superficie de riego de 51 mil ha que emplean un volumen de 609 M m³/año, de los cuales 145.5 Mm³/año, son de fuentes subterráneas.

Con respecto a la superficie de temporal, existe una superficie aprovechable de 171 900 ha; sin embargo, únicamente se cultivan 137 mil ha debido principalmente a la falta de crédito y por la costumbre de los ejidatarios de dejar reposar la tierra con el fin de mejorar su calidad con fertilizantes.

En cuanto al uso industrial, la demanda total de agua para éste sector es de 137 M m³/año, orientándose en su mayoría a cubrir la demanda de los 3 ingenios azucareros, Casasano, Emiliano Zapata y Oacalco, que en conjunto extraen 105.3 M m³/año, con un gasto

promedio de 3.3 m³/s, equivalente al 76.7 % del volumen total demandado por la industria.

El resto del sector industrial demanda 32 M m³/año, que corresponde a la industria manufacturera y de la construcción que se encuentran en áreas conurbadas o cercanas a los mayores centro urbanos como son CIVAC y corredor industrial de Cuautla.

El uso doméstico en el estado abastece de agua a zonas urbanas con 53.5 M m³ y 44.5 M m³ en las zonas rurales, cubriendo el 85 y 70 % respectivamente del suministro de agua potable a nivel estatal por medio de 345 sistemas de agua potable.

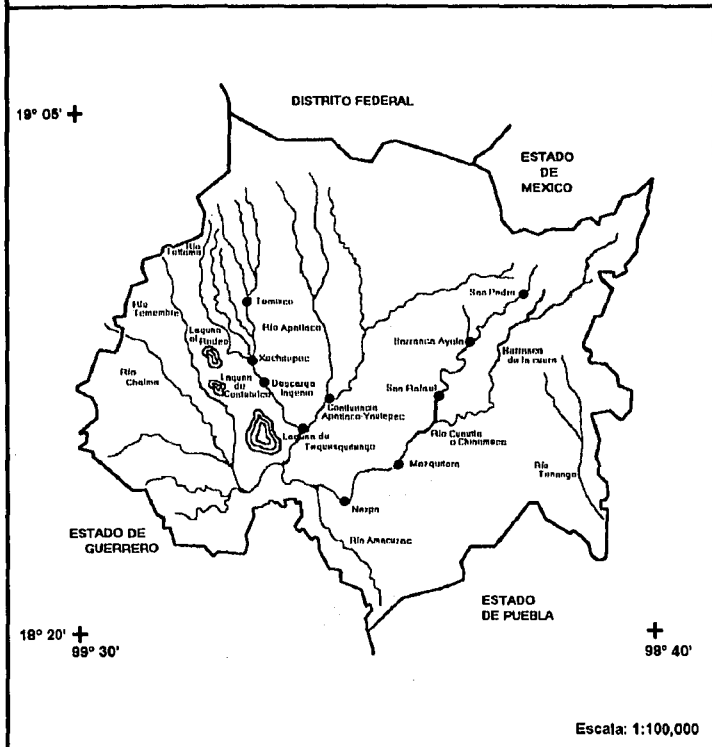
En cuanto a la demanda de agua en el sector turismo, el volumen total demandado para las albercas de los sistemas de agua potable exclusivamente es de 20.2 M m³/año, representando el 2.24 % de la extracción a nivel estatal (Sánchez y Espinoza, 1989).

3.4. Estaciones de muestreo

De acuerdo a los antecedentes de 1988-89, se establecieron tres estaciones de muestreo sobre el segmento sur del río Apatlaco en el periodo de abril a septiembre de 1990, con objeto de obtener muestras de agua, sedimento y peces para evaluar el contenido de plomo y cuya ubicación se observa en la figura 5. Estas son:

Xochitepec: ubicada en el kilómetro 19.3 de la carretera Federal No. 95 México-Acapulco (libre) al NW del poblado del mismo nombre, a 100 m de la margen izquierda en sentido N-S (Cuernavaca-Iguala) y bajo el puente denominado "Xochitepec" a espaldas de la Unidad Deportiva Mariano Matamoros y dentro del municipio de Xochitepec. Se encuentra a una altura de 1050 m.s.n.m. . Aproximadamente a 13 kilómetros aguas abajo del origen del río.

Fig. 5. Ubicación de las estaciones de monitoreo en los Ríos Apatlaco y Cuautla, Edo. de Morelos.



Descarga Ingenlo: situada dentro del municipio de Jojutla a 200 m de la carretera Jojutla-Zacatepec, a espaldas del Centro para el Desarrollo de la Cultura, la Recreación y el Deporte "La Perseverancia", al NW de la ciudad de Jojutla de Juárez. Se encuentra a 850 m.s.n.m. y a 34 kilómetros del origen del río.

Confluencia Apatlaco-Yautepec: hacia el SW de la ciudad de Jojutla de Juárez, entrando por la calle de Prolongación de Leyva, yendo hacia el sur del rastro municipal, en el paraje conocido como "El Panteón". A 800 m.s.n.m. y a 36 kilómetros del origen del río.

Además, se estableció la estación Temixco para monitorear la diversidad y distribución de los peces, siendo su descripción la siguiente:

Temixco: se encuentra ubicada dentro del municipio de Cuernavaca, al NE del poblado de Temixco y en dirección SE de la Ciudad de Cuernavaca (a 5 Km aproximadamente sobre la carretera Federal No. 95 (libre) México-Acapulco). Se encuentra ubicada a 1200 m.s.n.m. y a 4 kilómetros del origen del río.

Para el río Cuautla, se eligieron las siguientes estaciones para monitorear el contenido de plomo:

San Pedro: situada bajo el puente denominado "San Pedro Apatlaco", a 3.5 kilómetros al sur del resurgimiento del río (manantiales "Los Sabinos") en la colonia Francisco I. Madero, hacia el SE de la Ciudad de Cuautla dentro del municipio del mismo nombre. A 1300 m.s.n.m. y a 6 kilómetros aguas abajo.

Barranca Ayala: está en la esquina de las calles de Aquiles Serdán y Rodrigo Avelar, en el lado SE del poblado de Ciudad Ayala, en el municipio de Ayala. A 1175 m.s.n.m. . Este afluente entra al río Cuautla a 11 kilómetros aguas abajo del punto de resurgimiento del río.

Mezquitera: se encuentra ubicada en el lugar conocido como "El Astillero" dentro del ejido "La Mezquitera", sobre la carretera Jojutla-Chinameca, dentro del municipio de Jojutla, a 10 kilómetros aproximadamente de su confluencia con el río Amacuzac. A 1200 m.s.n.m. y a 48 kilómetros aguas abajo del resurgimiento del río.

Nexpa: situada al NW del pueblo de Nexpa en el lugar conocido como "La Peña", en donde el río Cuautla se une al Amacuzac. Dentro del municipio de Tlalquitenango. A 700 m.s.n.m. y 59 kilómetros aguas abajo y en el sitio de confluencia con el Amacuzac.

Se eligió también la estación San Rafael, para detectar la diversidad y distribución de los peces, siendo su descripción la siguiente:

San Rafael: ubicada aproximadamente a la mitad del área que comprenden los campos agrícolas del DDR-095, en el kilómetro 14 de la carretera Cuautla-Chinameca, bajo el puente denominado "San Rafael" en el poblado del mismo nombre al SE de Ciudad Ayala, dentro del municipio de Tlaltzapán. A 1050 m.s.n.m. y a 28 kilómetros aguas abajo del resurgimiento del río.

De acuerdo a la distribución espacial y según Illie's y Botosanean (1963) citados en Pesson 1978, las estaciones de muestreo se pueden clasificar en tres tipos de asociaciones desde su origen hasta la parte baja de la cuenca como sigue: Temixco (río Apatlaco) y San Pedro (río Cuautla) se ubican en la zona de crenon en la cuenca alta con características de surgencia de las aguas, fondo rocoso de gran tamaño y pendiente escarpada.

Las estaciones de Xochitepec y Descarga Ingenio (río Apatlaco); Barranca Ayala y San Rafael (río Cuautla), se ubican en el ritron (metarritron) en la cuenca media en donde se sitúa la zona de erosión de los ríos con fondos de fuerte granulometría.

Las estaciones de Confluencia-Apatlaco (río Apatlaco); Mezquitera y Nexpa (río Cuautla) se localizan en la zona del potamon que se caracteriza por la sedimentación de los ríos, con aguas tranquilas y granulometría de menor tamaño.

4. METODOS

4.1. Técnicas de muestreo en campo

Mensualmente se tomaron muestras de agua en 14 estaciones, para los análisis físicos y químicos, y en siete de ellas se tomaron muestras de peces y sedimentos para el análisis de plomo.

Parámetros fisicoquímicos.

El muestreo para metales pesados y parámetros fisicoquímicos en agua se realiza como lo indica la Norma Oficial Mexicana, utilizando envases de plástico de uno y tres litros de capacidad respectivamente; el de sedimentos se realiza tomándolo con un cucharón de plástico directamente del cauce a nivel superficial y transportándolo en bolsas de plástico de dos kilos de capacidad. Se transportan a una temperatura de 4°C .

Se miden en campo parámetros de cuadro ambiental que incluye temperatura, pH, conductividad, oxígeno disuelto y gasto. Se obtiene muestra para determinar en laboratorio por ciento de materia orgánica y textura en sedimentos.

Los parámetros físicos y químicos determinados en campo y las técnicas empleadas se enlistan a continuación:

| PARAMETRO | TECNICA DE ANALISIS |
|--|---------------------|
| Velocidad promedio (m ³ /s) | molinete |
| Area seccional | cinta métrica |
| Gasto (Q) | molinete |
| Temp. amb. (°C) | termómetro |
| Temp. del agua (°C) | termómetro |
| pH | potenciómetro |
| Oxígeno disuelto (mg/L) | oxímetro |
| Conductividad (µmhos/cm) | conductímetro |

4.2 Técnicas y análisis de laboratorio

Parámetros fisicoquímicos.

Los análisis de laboratorio se realizaron de acuerdo a las técnicas recomendadas por los Métodos Estándar (APHA *et al.* 1992) y la SARH, (1982).

Las técnicas y parámetros determinados en el laboratorio de Toxicología fueron:

| PARAMETRO | TECNICA DE ANALISIS |
|--------------------|----------------------|
| % materia orgánica | pérdida por ignición |
| Textura | Bouyoucos |

Las técnicas y parámetros determinados en el laboratorio de la Subcoordinación de Calidad del Agua fueron:

PARAMETRO**TECNICA DE ANALISIS****Sólidos totales (mg/L)****gravimétrico****Sólidos suspendidos tot.(mg/L)****gravimétrico****Plomo (mg/L)****absorción atómica**

El análisis de plomo en agua, sedimentos y peces se determinó con el espectro de absorción atómico marca Hewlet Packard, modelo 5000 con horno de grafito modelo 400, con límites de detección para agua de 0.005 ppm y <0.25 ppm para peces y sedimento.

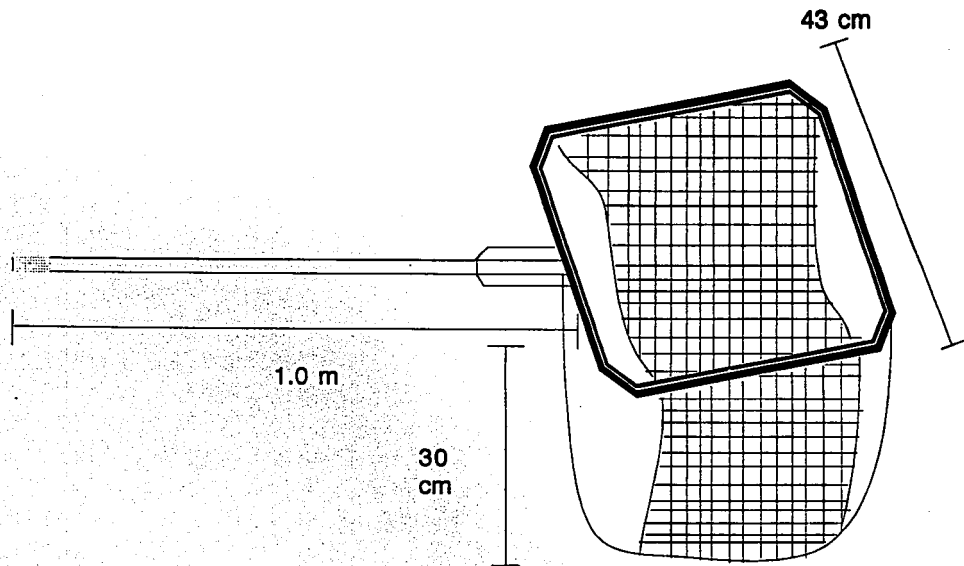
Necton

Para determinar la distribución, abundancia y diversidad de la comunidad nectónica (peces) se establecieron 14 estaciones de muestreo, utilizándose para la captura de los organismos una red de cuchara de dimensiones de un metro de largo en el mango, luz de malla de 0.3 cm y boca de 43 x 43 cm y 30 cm de profundidad (Fig. 6), preservando los organismos capturados con formol al 4 % y transportando en bolsas de plástico debidamente etiquetadas para su posterior identificación y conteo en el laboratorio.

La determinación taxonómica se realizó con el manejo de las claves de Alvarez del Villar (1970), Rosen (1963), Suplemento No. 4 de Acuarama (1977) y corroborándose la identificación con el auxilio del personal del Centro de Reproducción de Peces Tropicales de Chiconcuac, Morelos y el Departamento de Zoología del Instituto de Biología de la UNAM.

Para realizar dicha determinación y dados los problemas que se presentan en algunas familias de peces dulceacuícolas por la utilización específica del gonopodio (órgano reproductor), como es el caso de los poecílidos. Se transparentaron algunos organismos por medio de la técnica de tinción de cartilago, hueso y aclaramiento para embriones, larvas y juveniles de peces (Cruz, ENEPI-UNAM

Figura 6. Red de cuchara utilizada para la captura de peces.



(comunicación personal)).

Los organismos colectados *in situ* se separaron en envases de plástico de 125 mL, seleccionando a organismos de la misma especie y tratando de que fuera la misma para todas las estaciones, preservándose a una temperatura de 4 °C para su posterior análisis de contenido de plomo por Espectrofotometría de Absorción Atómica, que se realizó en el laboratorio de la Subcoordinación de Calidad del Agua.

Cabe hacer notar que no se emplearon estándares de referencia por lo que no se evaluó el método de recuperación.

Índice de Calidad del Agua.

Para determinar el Índice de Calidad del Agua (ICA) en los ríos, se utilizaron los datos de la red de Monitoreo estatal de la Comisión Nacional del Agua, para el periodo 1985 - 1991, ubicándose al menos una estación por río (fig. 7).

5. ANALISIS DE RESULTADOS

5.1. Parámetros fisicoquímicos.

El análisis de los resultados físicos y químicos de campo se realizó tomando en cuenta los criterios ecológicos de calidad del agua emitidos por SEDUE (1990), comparándolos con las concentraciones que se presentaron en los ríos en las diferentes estaciones y épocas en que se realizó el estudio.

Se aplicó el Índice de Calidad del Agua (ICA), que toma en cuenta una serie de 15 parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos, los cuales de acuerdo a su valor global indican el grado de contaminación y su posible uso (Fig. 8).

Fig. 7. Estaciones de monitoreo de calidad del agua en la red estatal de la Comisión Nacional del Agua en el Estado de Morelos.

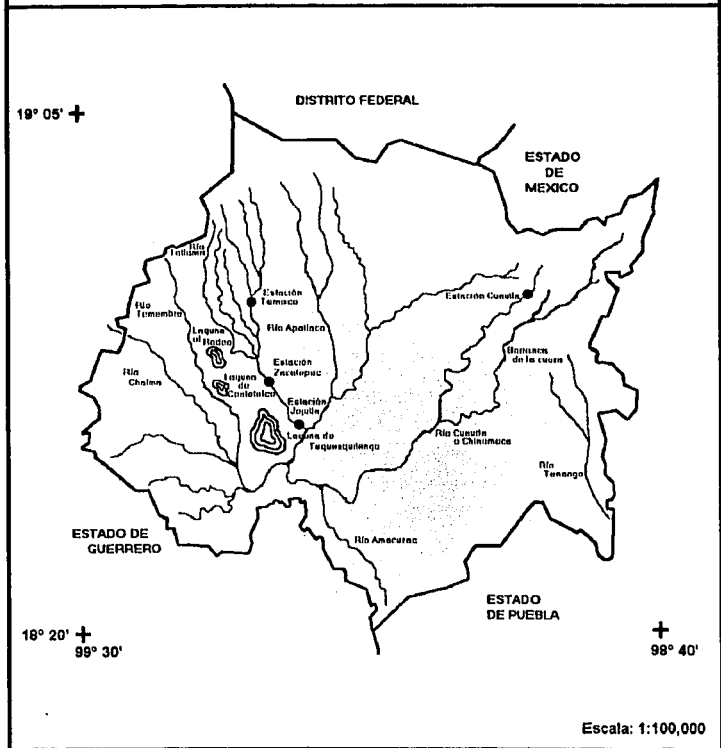
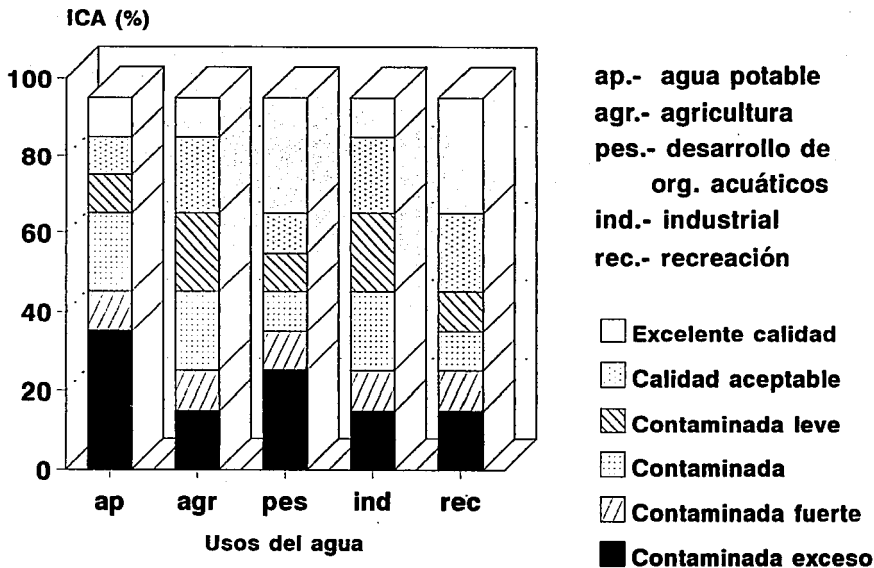


Figura 8. Intervalos de calificación del ICA según usos del agua



El ICA es una evaluación numérica que se obtiene a partir de una media geométrica ponderada (León V, 1991; Canter, 1986) dada por:

$$\text{ICA} = \prod_{i=1}^n Q_i^{W_i} \quad (1)$$

en donde W_i , son los pesos unitarios asignados a cada parámetro (i) por su importancia y ponderados entre 0 y 1 (Tabla 3), de tal forma que se cumpla que:

$$\sum_{i=1}^n W_i = 1 \quad (2)$$

siendo n , el número de parámetros elegidos, Q_i la calidad del parámetro (i), en función de su concentración y cuya calificación oscila entre 0 y 100 y \prod representa la operación multiplicativa de las variables Q elevadas a la W .

El valor del ICA que se obtiene (ec. 1) es un número entre 0 y 100 que califica la calidad del agua, permitiendo estimar el grado de contaminación del cuerpo de agua de acuerdo a la figura 8.

Tabla 3. Pesos específicos de los parámetros elegidos para el ICA.

| | Unidad | Peso |
|---------------------------------------|---------------------|--------------|
| O. D. | % Saturación | 0.103 |
| DBO₅ | mg/L | 0.096 |
| DQO | mg/L | 0.053 |
| pH | --- | 0.063 |
| SST | mg/L | 0.033 |
| Coliformes totales | NMP/100 mL | 0.083 |
| Coliformes fecales | NMP/100 mL | 0.143 |
| NO₃ | mg/L | 0.053 |
| NH₃ - N | mg/L | 0.043 |
| PO₄ | mg/L | 0.073 |
| Fenoles | mg/L | 0.033 |
| ΔT | °C | 0.043 |
| Alcalinidad (CaCO₃) | mg/L | 0.055 |
| Dureza (CaCO₃) | mg/L | 0.058 |
| Cloruros | mg/L | 0.068 |

5.2 Análisis de diversidad de la comunidad de peces.

Para el análisis de la diversidad de la comunidad se utilizó el índice de diversidad de Shannon-Weaver (Odum, 1972), para evaluar a la comunidad en relación con los parámetros de calidad del agua como son temperatura, pH, oxígeno disuelto, conductividad, dureza y sólidos suspendidos.

$$H' = \Sigma (ni/N) \log (ni/N) \quad (3)$$

donde

ni: valor de importancia para cada especie

N: total de los valores de importancia

Para el análisis de bioacumulación de plomo de los peces capturados en siete estaciones, se realizó un doble muestreo de peces en las mismas, correspondiendo uno a diversidad y abundancia y el otro a bioacumulación.

La distribución de las estaciones es como sigue: para el río Cuautla San Pedro (Km 6), Barranca Ayala (Km 11), Mezquitera (Km 48) y Nexpa (Km 59); para el río Apatlaco, Xochitepec (Km 13), Descarga Ingenio (Km 34) y Confluencia Apatlaco-Yautepec (Km 36).

5.3 Análisis de plomo en sedimentos.

Los metales pesados tienen la tendencia de ser adsorbidos por las partículas en suspensión en el agua y pueden sedimentarse en el lecho de los cuerpos de agua. Por esa razón, los sedimentos funcionan como un integrador de la variación de las concentraciones de metales presentes en el agua a lo largo del tiempo, y también

como un concentrador encontrándose generalmente contenidos mucho más elevados en los sedimentos que aquéllos encontrados en el agua (CEPIS, 1990).

Para estimar el enriquecimiento relativo de los metales trazas en los sedimentos por efectos culturales y como lo menciona Suess y Erlenkeuser (1975) en Salomons (1984), el orden de enriquecimiento cultural que influencia antropológicamente a los sedimentos es $Cd > Pb > Zn$, en este caso en particular se estimó cuantitativamente el enriquecimiento relativo del plomo en los sedimentos del sistema acuático de los ríos Apatlaco y Cuautla por efectos culturales de contaminación por medio del Índice de Geoacumulación propuesto por Müller (1979) (en Salomons *op. cit.*) como sigue:

$$I_{geo} = \log_2 \frac{C_n}{1.5 B_n} \quad (4)$$

donde

C_n: concentración medida del elemento n en la fracción de sedimentos (<2µm), B_n: valor histórico geoquímico en sedimentos arcillosos.

El índice maneja una escala de cero a seis considerándose el primero como valor de condiciones naturales y seis un enriquecimiento del más del doble o 100 % de lo que deberfa de esperarse en condiciones naturales provocado por el desarrollo industrial.

El valor antecedente de plomo (20 mg/kg) se estimó de la composición promedio de rocas, de sedimentos fósiles acuáticos y de depósitos recientes en áreas no contaminadas (Salomons *op. cit.*).

5.4 Análisis de plomo en peces.

El análisis de los datos de concentración de plomo en peces se llevó a cabo tomando en cuenta que una sustancia tóxica puede ser asimilada directamente por los organismos acuáticos, tanto del agua como del consumo de organismos contaminados. Los peces están expuestos a dichas sustancias químicas disueltas en el agua y la absorben a través de sus agallas y por difusión circulan en su torrente sanguíneo y subsecuentemente en varios órganos y componentes del mismo.

La concentración en el pez y la concentración disuelta en el agua está relacionada linealmente a través de un coeficiente de partición, que en el caso de los sistemas biológicos se denominan factor de bioconcentración (FBC), el cual está dado por la ecuación propuesta por CEPIS, (1988) que es como sigue:

$$Nw = \frac{v}{c'd} \quad (5)$$

donde

Nw: factor de bioconcentración, v: concentración de la sustancia tóxica en el pez, c'd: concentración de la sustancia tóxica disuelta en el agua.

Cuando el valor de dicho factor es mayor a la unidad se dice que dicha sustancia tóxica se bioacumula en el organismo acuático y por lo tanto el riesgo a la salud humana puede ser significativo.

5.5 Análisis de resultados de plomo en agua

Se realizó una evaluación preliminar rápida de los ríos Apatlaco y Cuautla debido a que, éstos son los que presentan problemas con

metales pesados como Zn, Cr⁺⁶ y Pb, evaluando únicamente el Pb dado que los otros metales se presentan en la mayoría de las determinaciones en concentraciones por debajo del límite detectable por el espectro de absorción atómica (Cubillas *et. al.*, 1986; IMTA, 1989).

La evaluación rápida estima la magnitud relativa del problema ocasionado por los metales utilizando el modelo del Midwest Research Institute (MRI)(CEPIS, 1990), para carga de metales provenientes de descargas no identificadas (dispersas) a un cuerpo receptor empleando la siguiente ecuación algebraica:

$$Y(HM)_{sed} = Q_R [C(HM)_A - C(HM)_B] 8.64 \times 10^{-5} \quad (6)$$

donde

$Y(HM)_{sed}$: carga total de metales pesados (kg/día); $C(HM)_A$: Concentración total de metales pesados en el curso receptor (mg/L); $C(HM)_B$: concentración total de metales pesados de base (mg/L); Q_R : caudal del cuerpo receptor (L/seg) y 8.64×10^{-5} : constante dimensional para obtener las unidades de $Y(HM)_{sed}$.

6. RESULTADOS Y DISCUSION

6.1 Físicoquímicos

Valores promedio de los parámetros físicoquímicos en los ríos Apatlaco y Cuautla obtenidos *in situ*, se presentan en la Tabla 4. El análisis del ICA se discute para cada una de las estaciones de la red estatal y por último, se analizarán los resultados del contenido de plomo en agua, peces y sedimento.

El pH determinado en los ríos se encuentra en un intervalo de 7.3 a 7.9, observándose en general un pH neutro con tendencia a la

Tabla 4. Valores promedio y desviación estandar de los parámetros fisicoquímicos determinado *in situ*, para los ríos del edo. de Morelos

| ESTACION | T°C AMBIENTE | T°C AGUA | pH | Oxig. Disul. mg/L | CONDUC. µmhos/cm |
|---|--------------|-----------------------------------|---------------------------------|----------------------|---------------------|
| RIO APATLACO | | | | | |
| TEMIKCO | 25.0 ± 2.9 | 22.2 ± 1.3 | 7.4 ± 0.7 | 5.5 ± 0.7 | 273 ± 60 |
| XOCHITEPEC | 30.4 ± 3.8 | 26.3 ± 1.8 | 7.4 ± 1.2 | 5.0 ± 1.0 | 410 ± 109 |
| DESC. INGENIO | 33.0 ± 7.3 | 28.2 ± 5.6 | 7.5 ± 0.8 | 3.3 ± 2.6 | 1240 ± 935 |
| CONFL. APATLACO | 29.0 ± 3.9 | 26.0 ± 3.4 | 7.3 ± 0.7 | 2.8 ± 2.5 | 1090 ± 317 |
| RIO CUAUTLA | | | | | |
| SAN PEDRO | 26.6 ± 5.5 | 23.0 ± 2.6 | 7.3 ± 0.9 | 5.5 ± 1.1 | 454 ± 194 |
| BARRANCA AYALA | 27.2 ± 5.1 | 25.7 ± 2.2 | 7.6 ± 0.4 | 3.5 ± 1.2 | 440 ± 93 |
| SAN RAFAEL | 32.0 ± 4.5 | 29.6 ± 3.9 | 7.9 ± 0.4 | 6.2 ± 1.4 | 618 ± 334 |
| MEZQUITERA | 32.0 ± 6.3 | 29.5 ± 1.4 | 7.4 ± 0.7 | 6.8 ± 1.5 | 825 ± 170 |
| NEXPA | 30.0 ± 4.3 | 28.1 ± 1.9 | 7.4 ± 0.7 | 6.2 ± 0.9 | 990 ± 155 |
| LIMITE PERMISIBLE PROTECCION VIDA ACUATICA (SEDUE, 1990) | | CONDICIONES NATURALES ± 1.5 | < 0.2 UNIDADES VALOR NATURAL | 5.0 | ----- |

alcalinidad, estos valores se presentan dentro del límite para protección de la vida acuática establecido por SEDUE, 1990. Dichos resultados se compararon con el Global Environment Monitoring System (GEMS, 1987), el cual de un total de 232 ríos monitoreados para este parámetro el valor medio corresponde a 7.6, denotando valores comunes en este tipo de sistemas.

La conductividad se presentó dentro de un intervalo de 273 $\mu\text{mhos/cm}$ a 1240 $\mu\text{mhos/cm}$ (río Apatlaco) y 454 a 990 $\mu\text{mhos/cm}$ (río Cuautla); el valor máximo que se determinó en el río Apatlaco corresponde a la estación Descarga Ingenio, la cual recibe las aguas residuales del Ingenio Emiliano Zapata. En el río Cuautla la conductividad aumenta aguas abajo del río. Al comparar estos resultados con los obtenidos por el GEMS agua, de un total de 232 ríos monitoreados, el valor promedio es de 250 $\mu\text{mhos/cm}$ y considera un valor extremo de 900 $\mu\text{mhos/cm}$, por lo que los valores detectados en los ríos que se encuentran por arriba de este valor, se deben a las entradas de descargas industriales y agrícolas bien localizadas.

La temperatura del agua se presentó en un ámbito de 23 °C a 29 °C y la temperatura ambiente de 25 °C a 33 °C.

El oxígeno disuelto osciló entre 2.78 - 5.5 mg/L (río Apatlaco) y 3.57 - 6.85 mg/L (río Cuautla), detectándose niveles por debajo del límite permisible para la vida acuática (5.0 mg/L, SEDUE, 1990) en las estaciones que tienen influencia de descargas industriales o están influenciadas por éstas aguas arriba.

Los impactos producidos por las actividades industriales y agrícolas de las zonas aledañas a los ríos, se encuentran bien identificadas por las variaciones detectadas en las mediciones en campo, encontrando que los segmentos con niveles bajos de oxígeno disuelto y valores elevados de conductividad se presentan en los segmentos de Descarga Ingenio hasta la confluencia con el río Yautepec (río

Apatlaco) y Barranca Ayala (río Cuautla).

6.2 Índice de calidad del agua.

Las estaciones ubicadas en los ríos Apatlaco y Cuautla se presentan en la figura 7, los resultados del ICA se presentan en la tabla 5 y 6.

Río Apatlaco.

En el río Apatlaco se presentan tres estaciones de monitoreo de la CNA ubicadas en los municipios de Temixco, Zacatepec y Jojutla.

El comportamiento de cada una de estas estaciones en el periodo 1985 - 1991 fue el siguiente:

La estación Temixco registró un intervalo del ICA de 44% (1990) a 62% (1986) (Fig. 9), indicando condiciones de contaminación para agua potable, agricultura e industria y para recreación se considera de calidad aceptable en el último periodo (1990-91).

Las variaciones anuales del ICA en esta estación indican una disminución de la calidad del agua en los años 1990-1991 considerándose contaminada para todos los usos, a excepción del de recreación.

La estación Zacatepec registró un intervalo de 26% (1987) a 56% (1989) (Fig. 10). Dado que el ámbito es amplio en términos generales, se considera contaminada para agua potable, agricultura, pesca (desarrollo de organismos acuáticos) e industria y calidad aceptable para recreación.

Tabla 5. Índice de calidad del agua (ICA) determinado en las estaciones de la red de monitoreo de la Comisión Nacional del Agua estatal.

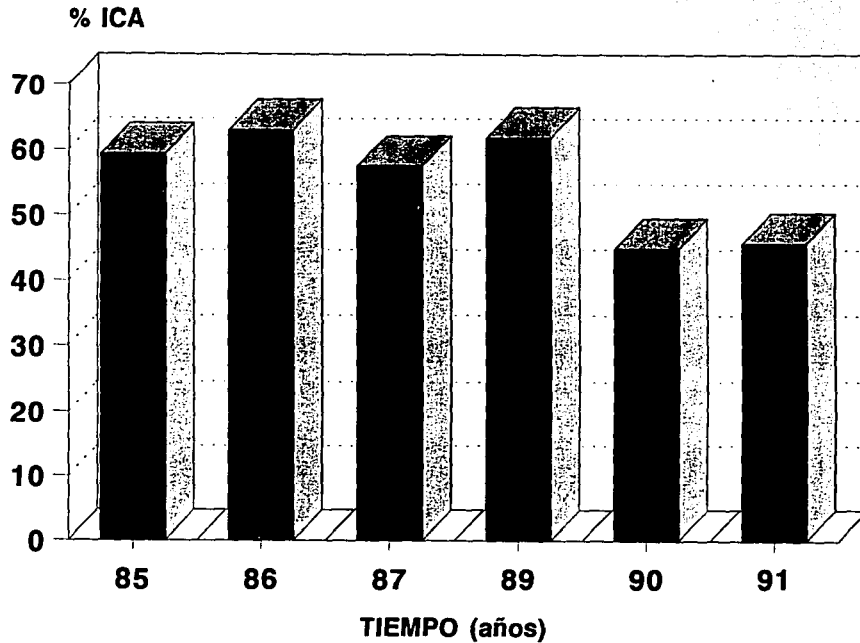
| ESTACION | 1985 | 1986 | 1987 | 1989 | 1990 | 1991 |
|------------------------|------|------|------|------|------|------|
| CUAUTLA | 52 | 63 | 71 | 73 | 54 | 55 |
| APATLACO- TEMIXCO | 59 | 62 | 57 | 61 | 44 | 45 |
| APATLACO- ZACATEPEC | 49 | 52 | 26 | 56 | 28 | 27 |
| APATLACO- JOJUTLA | 44 | 49 | 42 | 53 | 29 | 23 |

Tabla 6. Clasificación de los ríos Apatlaco y Cuautla de acuerdo a los usos del agua.

| USOS DEL AGUA | 1985 - 1986 | 1987 - 1989 | 1990 - 1991 |
|---------------|---------------------------------|--|-------------------------------|
| AGUA POTABLE | ----- | Cuautla | ----- |
| AGRICULTURA | Apatlaco(Temixco) Cuautla | Cuautla Apatlaco(Temixco) | ----- |
| PESCA | Apatlaco (Temixco), Cuautla | Cuautla, Apatlaco (Zacatepec) | Cuautla |
| INDUSTRIA | Apatlaco (Temixco), Cuautla | Apatlaco(Temixco) Cuautla | ----- |
| RECREACION | Apatlaco (Zacatepec) Cuautla | Apatlaco (Zacatepec y Jojutla), Cuautla | Apatlaco(Temixco), Cuautla |

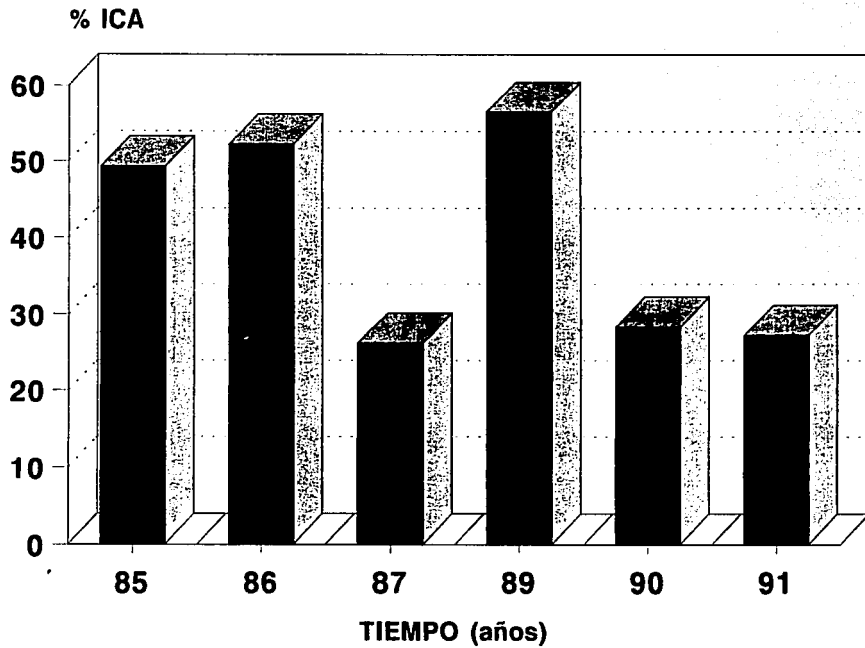
----- No Apta

**Figura 9. Índice de calidad del agua
estación Temixco (río Apatlaco)***



*** Periodo: 1985 - 1991**

**Figura 10. Índice de calidad del agua
estación Zacatepec (río Apatlaco)***



* Periodod: 1985 - 1991

La variación anual en los años 1990-91 indica una disminución en la calidad del agua y en función de los usos, se considera que va de fuertemente contaminada a contaminada para todos los usos.

Por lo que respecta a la estación Jojutla, ésta presenta un intervalo del ICA del 23% (1991) al 53% (1989) (Fig. 11), indicando que únicamente para recreación se considera de calidad aceptable. Al igual que en las estaciones anteriores en el periodo 1990-91 se presenta una disminución en la calidad del agua, considerándose excesivamente contaminada para todos los usos.

En términos generales, las estaciones ubicadas en el río Apatlaco indican que aguas arriba (estación Temixco) se presenta una mejor

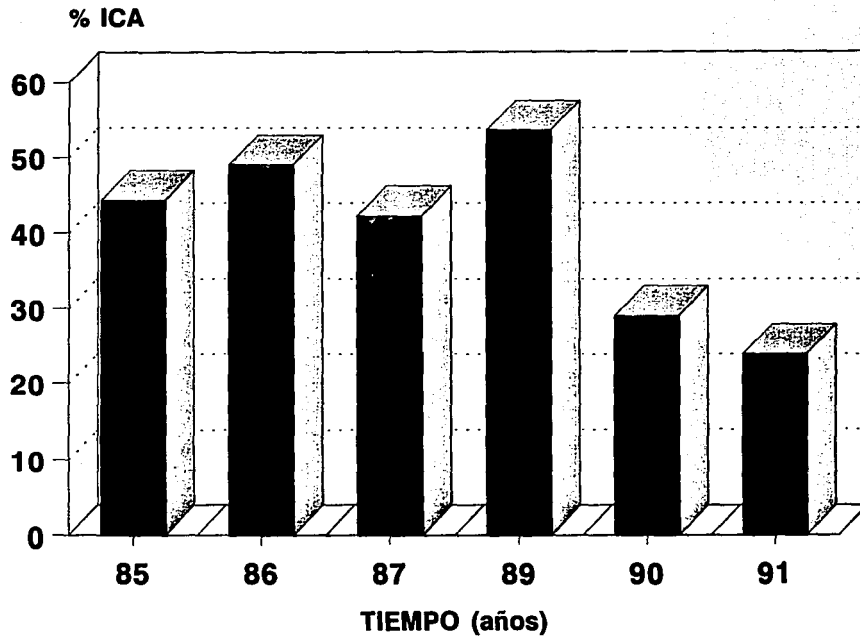
calidad con respecto a las demás estaciones (Zacatepec y Jojutla); debido principalmente a que las descargas de ECCACIV son desechadas aguas abajo de dicha estación, además de que antes de ser descargadas son utilizadas para riego agrícola, lo que significa un aumento en la concentración de nutrimentos, sólidos y sustancias tóxicas como plaguicidas que deterioran la calidad del agua. Aunado a esto al llegar a la estación Zacatepec, ésta recibe las aguas residuales del Ingenio Emiliano Zapata, por lo que la disminución de la calidad del agua es de aproximadamente un 20%, manteniéndose así hasta la siguiente estación (Jojutla).

Río Cuautla.

En el periodo 1985-1991 el comportamiento del ICA en el río Cuautla osciló entre 52% (1985) y 79% (1989) (Fig. 12), indicando que la calidad del agua se considera levemente contaminada para los usos agrícola e industrial y de calidad aceptable para pesca y recreación.

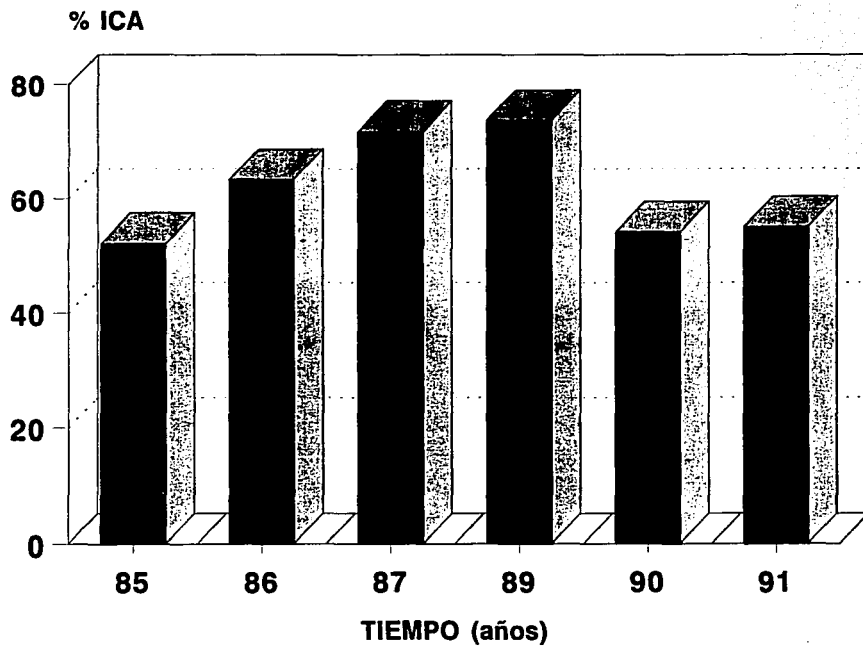
En la variación anual considerando los seis años, se tiene un incremento en la calidad del agua de 1985 a 1989, disminuyendo en aproximadamente un 20% en 1990-91 con respecto a lo anterior,

**Figura 11. Índice de calidad del agua
estación Jojutla (río Apatlaco)***



*** Periodo: 1985 - 1991**

**Figura 12. Índice de calidad del agua
estación Cautla (Río Cautla)***



* Período: 1985 - 1991

por lo que el uso del agua del río Cuautla es aceptable únicamente para peca (desarrollo de organismos acuáticos) y recreación.

El análisis del ICA realizado en el periodo 1985-1991, indica una disminución en la calidad del agua para los usos establecidos, encontrándose los mínimos valores en el periodo 90 - 91, siendo el río más contaminado el río Apatlaco (Fig. 13); el cual es el principal receptor de las descargas de la Ciudad Industrial del Valle de Cuernavaca y del Ingenio Emiliano Zapata.

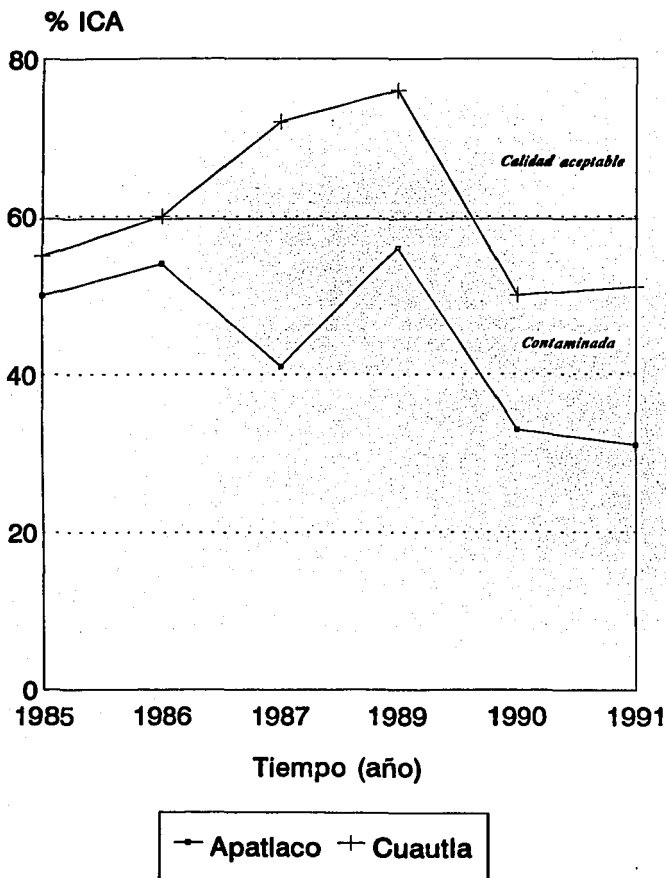
El deterioro que sufre por los impactos producidos por las actividades industriales, agrícolas y municipales se refleja hasta su confluencia con el río Amacuzac, por lo que el poder de asimilación que puede tener la corriente para los contaminantes vertidos en el cauce sobrepasa la capacidad de autopurificación natural que presentan los ríos, siendo necesario para su restauración o recuperación la

introducción de sistemas de tratamiento adecuados en los poblados de Zacatepec y Jojutla de Juárez, o alguna medida correctiva adecuada (desvío de descargas), las cuales pueden contribuir a mejorar la calidad del agua del río.

En cuanto al río Cuautla, es importante el establecimiento de dos estaciones más que se ubiquen en la parte media y baja del río para poder evaluar los cambios en la calidad del agua, ya que la estación que se tiene actualmente esta ubicada en la parte alta y solo detecta los cambios de los escurrimientos de la zona agrícola de temporal, mientras que las descargas de las ciudades, pequeñas industrias y zona de riego de la parte media y baja del río no son detectadas y por lo tanto no es posible evaluar los cambios en la calidad del agua en estas zonas.

Es importante hacer notar, que en el último periodo (1990-91) las presiones que sufren estos ríos por las descargas antropogénicas han ocasionado la disminución en la calidad del agua, a tal grado que los

Fig. 13 Variación anual de la calidad del agua de los ríos Apatlaco y Cuautla, edo de Mor.



posibles usos se consideran como no aceptables al detectarse condiciones de contaminación, por lo que es necesario instrumentar acciones correctivas de control de descargas a través, en primera instancia de sistemas de tratamiento y evaluar y detectar todas las fuentes puntuales y dispersas de contaminación para recuperar estos cuerpos de agua importantes para el estado.

6.3 Plomo en agua.

El flujo de metales tóxicos a través del ambiente resulta de la movilización natural e inducida por el hombre. La persistencia de éstos en el ambiente presenta problemas específicos, ya que no pueden ser degradados biológica ni químicamente en la naturaleza (PEMEX, 1986). Durante el transporte por un río, los factores ambientales cambian. Esto quiere decir que algunos metales pesados se movilizan a partir de partículas y se transforman o se unen a complejos solubles en la columna de agua (Margalef, 1983), resultando en que una gran proporción de un metal se deponga, sedimente o se incorpore a la columna de agua por fenómenos de sorción, coprecipitación, desorción y sedimentación (Salomons, 1984; CEPIS, 1990; Rand y Petrocelli, 1985).

Las concentraciones de plomo en agua para el río Apatlaco en las tres estaciones oscilaron entre < 0.005 mg/L (abril a junio) y 0.037 mg/L (julio)(Tabla 7), con un promedio a lo largo de los muestreos de 0.00705 ± 0.0075 mg/L, presentándose la máxima concentración en la estación Confluencia-Apatlaco en la época de avenidas, lo cual puede indicar la movilización del metal a partir de los sedimentos, ya que como lo menciona Allan, 1986, los cambios climáticos como avenidas, tormentas, etc., contribuyen a la resuspensión y movilización de los metales del sedimento. Esto coincide con la concentración de plomo de la capa superficial de los sedimentos, la cual disminuye en la misma época.

Tabla 7. Concentración de plomo en agua, sedimentos y peces del río Apatlaco, edo. de Morelos

| ESTACION | XOCHITEPEC | DESC. INGENIO | CONF. APATLACO |
|-------------------|------------|---------------|----------------|
| km | 13 | 34 | 36 |
| ABRIL | | | |
| AGUA* | <0.005 | <0.005 | <0.005 |
| SEDIMENTOS+ | 23.7 | 19.6 | 9.8 |
| PECES+ | 11.9 | 3.9 | 7.6 |
| MAYO | | | |
| AGUA | <0.005 | <0.005 | <0.005 |
| SEDIMENTOS | 171.8 | 30.4 | 32.4 |
| PECES | 4.7 | 5.6 | |
| JUNIO | | | |
| AGUA | <0.005 | <0.005 | <0.005 |
| SEDIMENTOS | 32.4 | 18.9 | 32.9 |
| PECES | 13.0 | 19.5 | 25.7 |
| JULIO | | | |
| AGUA | 0.007 | 0.006 | 0.037 |
| SEDIMENTOS | 4.4 | 8.4 | 19.5 |
| PECES | 4.9 | 8.4 | 7.6 |
| AGOSTO | | | |
| AGUA | 0.007 | <0.005 | <0.005 |
| SEDIMENTOS | 10.4 | 23.7 | 16.9 |
| PECES | 12.4 | 19.2 | 16.6 |
| SEPTIEMBRE | | | |
| AGUA | 0.005 | <0.005 | <0.005 |
| SEDIMENTOS | 8.9 | 7.9 | 10.9 |
| PECES | 6.3 | 17.3 | 12.2 |

* mg/L

+ mg/kg

Límites de detección

Agua < 0.005 mg/L

Sedimento < 0.25 mg/kg

Peces < 0.25 mg/kg

El cálculo del modelo MRI, determinó que el aporte total de plomo al curso receptor es de 1.509 kg/d (Fig. 14), con una concentración promedio de 0.005 mg/L de Pb, presentándose principalmente en forma disuelta en la columna de agua (0.004 mg/L) más que en la forma particulada (0.001 mg/L), lo que significa que la mayor concentración de Pb se presenta en forma disuelta y dado que ésta forma es la más utilizable por los organismos acuáticos (Salomons y Forstner, 1984; Marcus y Geoffry, 1990) se puede inferir que los organismos están bioacumulando este tóxico, además de acumularse en la cadena alimenticia causando efectos fisiológicos adversos en la fauna acuática (CEPIS, 1990 A).

Cálculo del balance de masas para el Plomo:

$$Y(HM)_{sed} = Q_R [C(HM)_A - C(HM)_B] 8.64 \times 10^5 \quad (6)$$

$$Y(HM)_{sed} = 1730 \text{ L/s } [17.0\mu\text{g/L} - 6.9\mu\text{g/L}]8.64 \times 10^5 \\ = 1.5 \text{ kg/d}$$

Cálculo para la determinación de la concentración de las fracción disuelta y particulada en columna de agua:

$$C_d = f_d(CT)$$

$$C_p = f_p(CT)$$

C_d = concentración disuelta

C_p = concentración particulada

f_d = fracción disuelta

f_p = fracción particulada

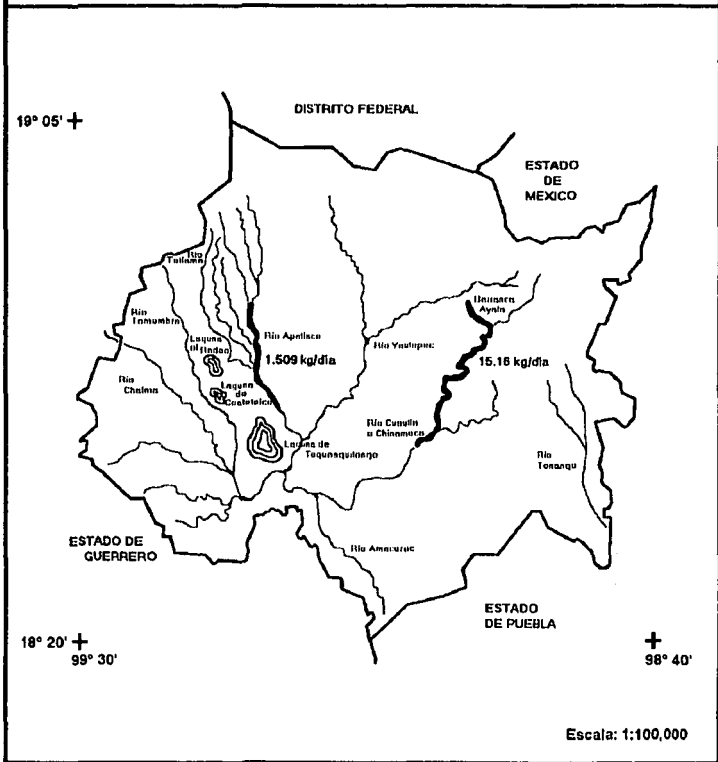
CT = concentración total

CT = concentración total

$$C_d = 0.8 \text{ (0.005 mg/L)} \\ = 0.004 \text{ mg/L}$$

$$C_p = 0.2 \text{ (0.005 mg/L)} \\ = 0.001 \text{ mg/L}$$

Fig. 14. Balance de Masas. Carga de plomo en los Rios Apatlaco y Cuautla, Edo. de Morelos.



$$CT = C_d + C_p$$

$$CT = 0.004 \text{ mg/L} + 0.001 \text{ mg/L}$$

$$= 0.005 \text{ mg/L}$$

Por lo que respecta al río Cuautla, la concentración de plomo osciló entre $<0.005 \text{ mg/L}$ y 0.127 mg/L (julio) (Tabla 8), con un promedio de $0.013 \pm 0.026 \text{ mg/L}$, teniendo un comportamiento variable a lo largo de los muestreos y coincidiendo el valor máximo con la época de avenidas.

El cálculo del modelo MRI, determinó que el aporte total de Pb al curso receptor es de 15.1 kg/d (Fig. 14), con una concentración promedio a lo largo del muestreo de 0.012 mg/L , presentándose fundamentalmente en forma disuelta en la columna de agua (0.010 mg/L), más que en la forma particulada (0.002 mg/L), lo que significa que al igual que en el río Apatlaco, la fracción disuelta es la utilizable por los organismos acuáticos.

Cálculo del balance de masas para plomo:

$$Y(HM)_{\text{sed}} = Q_R [C(HM)_A - C(HM)_B] 8.64 \times 10^5 \quad (6)$$

$$\begin{aligned} Y(HM)_{\text{sed}} &= 4570 \text{ L/s} [53.5 \mu\text{g/L} - 15.1 \mu\text{g/L}] 8.64 \times 10^5 \\ &= 15.1 \text{ kg/d} \end{aligned}$$

Cálculo para la determinación de la concentración de la fracción disuelta y particulada en columna de agua:

$$\begin{aligned} C_d &= 0.8 (0.013 \text{ mg/L}) & C_p &= 0.2 (0.013 \text{ mg/L}) \\ &= 0.010 \text{ mg/L} & &= 0.002 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

TABLA 8. Concentración de plomo en agua, sedimentos y peces del río Cautla, edo. de Morelos.

| ESTACION | SAN PEDRO | BCA. AYALA | MEZQUITERA | NEXPA |
|-------------------|-----------|------------|------------|--------|
| km | 6 | 11 | 48 | 54 |
| ABRIL | | | | |
| AGUA* | <0.005 | <0.005 | <0.005 | <0.005 |
| SEDIEMTO+ | 4.9 | 109.5 | 5.0 | 4.2 |
| PECES+ | 5.3 | 6.1 | 25.0 | 3.5 |
| MAYO | | | | |
| AGUA | 0.005 | 0.005 | 0.005 | <0.005 |
| SEDIMENTOS | 4.4 | 71.2 | 6.9 | 5.9 |
| PECES | 7.1 | 11.1 | 8.3 | 8.3 |
| JUNIO | | | | |
| AGUA | 0.008 | 0.007 | 0.053 | 0.007 |
| SEDIMENTOS | 8.4 | 28.9 | 9.4 | 8.0 |
| PECES | 7.2 | 11.8 | 5.2 | 5.4 |
| JULIO | | | | |
| AGUA | 0.127 | <0.005 | <0.005 | 0.007 |
| SEDIMENTOS | 10.4 | 14.4 | 23.8 | 6.9 |
| PECES | | 5.5 | 13.3 | 14.1 |
| AGOSTO | | | | |
| AGUA | 0.015 | 0.006 | <0.005 | <0.005 |
| SEDIMENTOS | 6.9 | 25.4 | 6.9 | 11.6 |
| PECES | 6.3 | 10.0 | 23.5 | 13.4 |
| SEPTIEMBRE | | | | |
| AGUA | <0.005 | 0.007 | <0.005 | <0.005 |
| SEDIMENTOS | 8.3 | 42.3 | 8.8 | 5.4 |
| PECES | 8.5 | 10.4 | 8.8 | 6.8 |

* mg/L

+ mg/kg

Límites de detección

Agua 0.005 mg/L

Sedimento < 0.25 mg/kg

Peces < 0.25 mg/kg

$$\begin{aligned} \text{CT} &= 0.010 \text{ mg/L} + 0.002 \text{ mg/L} \\ &= 0.012 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

Por lo que respecta al análisis del factor de acumulación de plomo calculado para la relación peces/agua y peces/sedimento en los ríos Apatlaco y Cuautla que se presentan en la tabla 9 se tiene lo siguiente:

En el río Cuautla los valores del factor de acumulación en la relación peces/sedimento oscilaron entre 0.05 y 5.0, presentándose los valores más altos en los meses de abril y mayo que corresponden a la época de secas con un promedio de 1.41, mientras que en la época de lluvias (junio-septiembre), los valores disminuyeron con un valor promedio de 0.95, debido probablemente al aumento en el flujo del río, lo cual ocasiona una resuspensión o liberación del metal en esta época hacia la columna de agua.

En la figura 15 se observan los promedios mensuales del factor de acumulación, los cuales en la gráfica B siguen un comportamiento similar con una tendencia a incrementarse a partir del mes de junio.

En la figura 16 A se observa que el factor de acumulación del río Cuautla, se distribuye principalmente entre los valores de 0.05 a 1.8, con cerca del 50% y 35% respectivamente.

Los valores del factor de acumulación determinados para la relación peces/agua, se presentaron en un ámbito de 99 a 5000 (Tabla 9), con un promedio de 1875 para la época de secas y 1569 para la época de lluvias, observándose en la figura 16 B que los valores de 1506 y 1757 son los que presentan una mayor incidencia (27%).

En la figura 15 A se observa que los valores promedio mensuales para la relación peces/agua se incrementan en el mes de agosto, coincidiendo con el aumento en este mes del factor de acumulación peces/sedimento (Fig. 15 B), por lo que el incremento en el

Tabla 9. Factores de acumulación de plomo en los peces de los ríos Apatlaco y Cuautla, Estado de Morelos.

Factor de acumulación pez/sedimento (río Cuautla)

| Km | Abril | Mayo | Junio | Julio | Agosto | Sept | Prom. ± D.S. |
|----|-------|------|-------|-------|--------|------|--------------|
| 6 | 1.09 | 1.59 | 0.85 | 0.58 | 0.91 | 1.02 | 1.00 ± 0.33 |
| 11 | 0.05 | 0.15 | 0.40 | 0.38 | 0.40 | 0.24 | 0.27 ± 0.14 |
| 48 | 5.0 | 1.20 | 0.55 | 0.56 | 3.37 | 0.98 | 1.94 ± 1.82 |
| 54 | 0.84 | 1.38 | 0.67 | 2.03 | 1.15 | 1.24 | 1.21 ± 0.47 |

Factor de acumulación pez/agua (río Cuautla)

| Km | Abril | Mayo | Junio | Julio | Agosto | Sept | Prom. ± D.S. |
|----|-------|------|-------|-------|--------|------|--------------|
| 6 | 1076 | 1430 | 901 | 47 | 425 | 1708 | 931 ± 618.4 |
| 11 | 1232 | 2218 | 1691 | 1112 | 1673 | 1488 | 1569 ± 393.9 |
| 48 | 5000 | 1670 | 99 | 2672 | 4704 | 1760 | 2650 ± 1897 |
| 54 | 714 | 1664 | 775 | 2011 | 2690 | 1362 | 1536 ± 756.1 |

Factor de acumulación pez/sedimento (río Apatlaco)

| Km | Abril | Mayo | Junio | Julio | Agosto | Sept. | Prom. ± D.S. |
|----|-------|------|-------|-------|--------|-------|--------------|
| 13 | 0.05 | 0.03 | 0.4 | 1.10 | 1.18 | 0.70 | 0.576 ± 0.50 |
| 34 | 0.20 | 0.18 | 1.03 | 1.0 | 0.81 | 2.17 | 0.898 ± 0.72 |
| 36 | 0.78 | -- | 0.78 | 0.38 | 0.98 | 1.11 | 0.806 ± 0.27 |

Factor de acumulación pez/agua (río Apatlaco)

| Km | Abril | Mayo | Junio | Julio | Agosto | Sept. | Prom. ± D.S. |
|----|-------|------|-------|-------|--------|-------|---------------|
| 13 | 2382 | 948 | 2608 | 704 | 1774 | 1264 | 1613 ± 774.2 |
| 34 | 790 | 1126 | 3916 | 1408 | 3856 | 3472 | 2428 ± 1467.1 |
| 36 | 1538 | -- | 5148 | 205 | 3336 | 2442 | 2533 ± 1864.1 |

-- No se capturaron peces

Fig. 15 Valores promedio del factor de acumulación para peces/agua (A) y peces/sedimento (B) de los ríos Apatlaco y Cuautla, Mor.

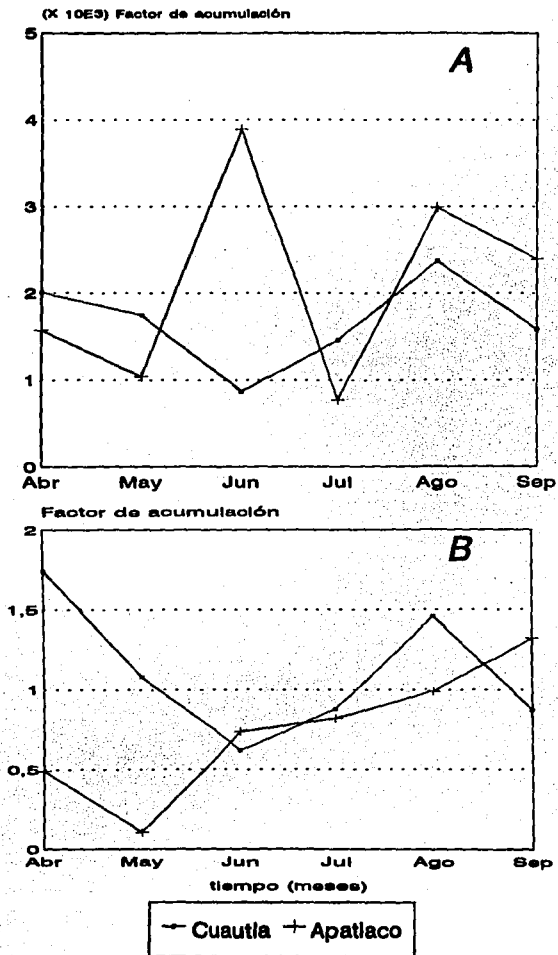
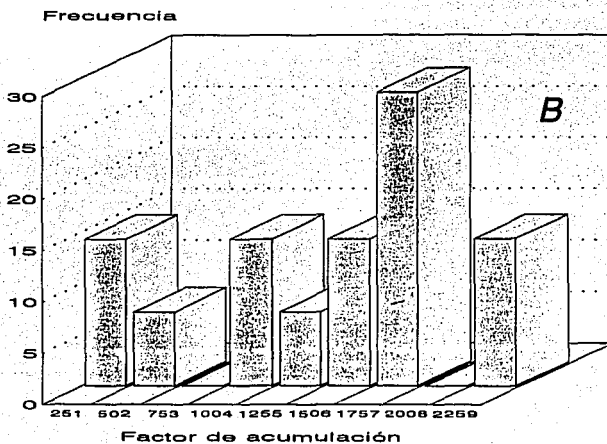
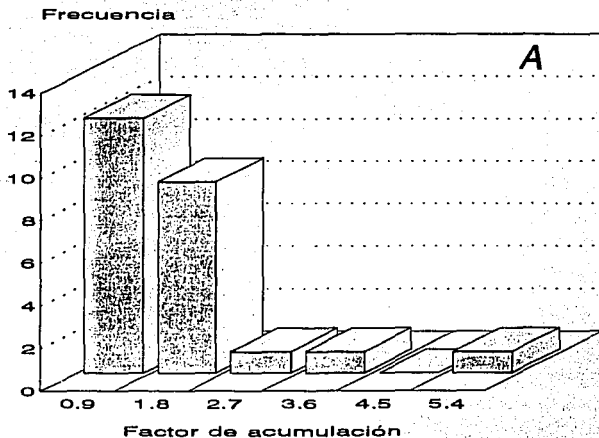


Fig. 16 Distribución de los valores del factor de acumulación en peces/sedimento (A) y peces/agua (B) del río Cuautla, Mor.



contenido de plomo total en los peces es mayor con relación a lo encontrado en agua y sedimento.

Por lo que respecta al río Apatlaco, el factor de acumulación para la relación peces/sedimento presentó valores que oscilaron entre 0.05 y 2.17 (Tabla 9), detectándose los valores más altos en los meses de junio a septiembre que corresponde a la época de lluvias, con un promedio de 0.97, mientras que en la época de secas (abril-mayo) el promedio fue de 0.24; observándose un comportamiento inverso con respecto al río Cuautla, el cual en promedio incrementa en la época de secas.

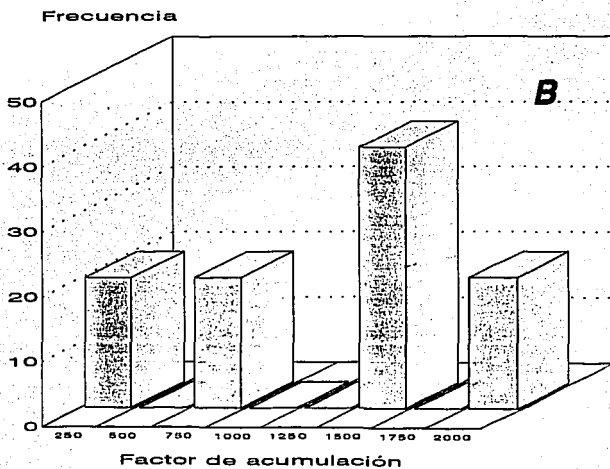
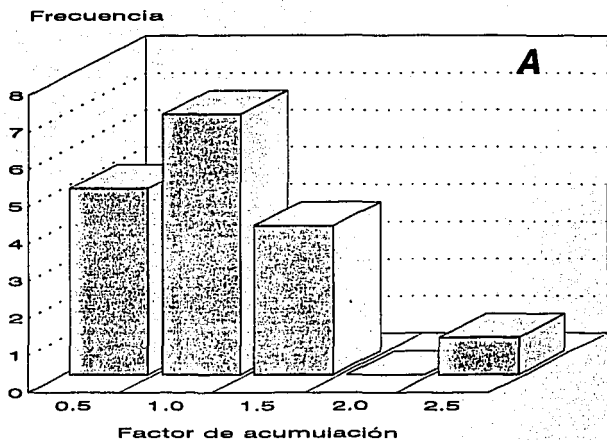
En la figura 17 A, el factor de acumulación para peces/sedimento que tiene una frecuencia mayor se distribuye con un 38% entre los valores de 0.5 a 1.0, en la figura 15 B se encuentran graficados los promedios mensuales observándose la tendencia en el aumento del factor a partir del mes de junio hasta septiembre (época de lluvias).

En la relación peces/agua, los valores del factor de acumulación oscilaron entre 205 y 5148, determinándose un promedio de 1356 en la época de secas, mientras que en la época de lluvias, el promedio fue de 2511, observándose los valores más altos en los meses de junio y agosto.

La distribución de los factores de la relación peces/agua se presentan en la figura 17 B, en donde se observa que los valores de 1250 y 1500 son los que con más frecuencia se presentan a lo largo de los muestreos con un 36%.

Los promedios mensuales que presentan valores máximos se determinaron en los meses de junio y agosto, correspondiendo a la época de lluvias (Fig. 15 A).

Fig. 17 Distribución de los valores del factor de acumulación en peces/sedimento (A) y peces/agua (B) del río Apatziaco, Mor.



6.4 Índice de geoacumulación.

Dentro de los sistemas acuáticos, es de importancia fundamental el material suspendido y los sedimentos del fondo. El primero funciona como un medio de transporte de los metales tóxicos y químicos orgánicos que están adheridos en y dentro de las partículas suspendidas del material abiótico y biótico y pueden ser removidos de y enterrados en los ecosistemas.

Cuando un contaminante está asociado con una partícula, su destino durante el transporte está influenciado por procesos como los mencionados por Allan, (1986).

- a) Sorción/desorción
- b) Floculación
- c) Precipitación y co-precipitación
- d) Bioacumulación
- e) Eventos a corto y largo plazo (inundaciones, vientos, etc.)
- f) Tasa de sedimentación
- g) Episodios de resuspensión
- h) Liberación del agua de los poros del material particulado
- i) Enterramiento

La distancia a la que pueden llegar dichas partículas depende de su tamaño y de la velocidad de la corriente. Por otro lado, los sedimentos del fondo son los receptores de las partículas al generarse el hundimiento y enterramiento de las mismas; sin

embargo, este proceso no es el último destino de los metales, ya que existe la resuspensión por medio de los organismos bentónicos (bioturbación) que mueven el sedimento y provocan que los metales biodisponibles ingresen a la columna de agua y sean utilizados por los diferentes organismos del ecosistema (peces, plancton, etc.) aunado a los cambios climatológicos como tormentas, avenidas, etc. que contribuyen también a la movillización de los metales del sedimento.

Por otro lado, los metales pesados tienen la tendencia de ser adsorbidos por las partículas en suspensión presentes en el agua, sedimentándose en el lecho del cuerpo de agua. Por esta razón, los sedimentos funcionan como un integrador de la variación de las concentraciones de metales presentes en el agua a lo largo del tiempo y también como un concentrador, verificándose generalmente contenidos mucho más elevados en los sedimentos que aquellos detectados en el agua (CEPIS, 1990 A).

En el río Apatlaco las concentraciones de plomo en sedimentos oscilaron entre 4.46 a 171.8 mg/kg, correspondiendo el máximo valor a la estación Xochitepec (km 13) en el mes de mayo; el valor promedio fue de 26.87 ± 37.38 mg/kg. Por lo que respecta al río Cuautla, la concentración de plomo en sedimentos se presentó en un ámbito de 4.22 a 109.57 mg/kg, correspondiendo el máximo valor a la estación Barranca Ayala (km 11) en el mes de abril; con un valor promedio de 18.28 ± 24.74 mg/kg.

Las concentraciones más altas que se detectaron en ambos ríos se presentaron en la época de secas.

Una medida cuantitativa del enriquecimiento de los metales en los sedimentos, es el índice de geoacumulación, el cual se utilizó para conocer el grado de contaminación por plomo que sufren los sedimentos de los ríos Apatlaco y Cuautla, obteniendo lo siguiente:

Para el río Cuautla en las diferentes estaciones a lo largo de su cauce, se obtuvieron valores del índice de geoacumulación de 1 para la estación San Pedro (Km 6), 3 para la estación Barranca Ayala (Km 11), 1 para Mezquitera (Km 48) y 1 para Nexpa (Km 59). El valor más alto corresponde al área que recibe una mayor actividad antropogénica por las descargas tanto municipales como industriales que se localizan entre las estaciones de San Pedro y Barranca Ayala, siendo ésta última la que recibe el mayor impacto del plomo al ser transportado por el material abiótico y biótico del sistema, incrementando el valor de 0 (condiciones naturales) a 3 en dicha estación, por lo que el enriquecimiento cultural que se detecta en sedimentos en este segmento es de aproximadamente 12 veces más por arriba del valor antecedente que se presenta en condiciones naturales.

En cuanto a las otras estaciones (Km 48 y 59), las cuales se encuentran a 37 y 48 kilómetros de distancia respectivamente del segmento más contaminado presentan un valor de 1, indicando con esto que el enriquecimiento es mínimo ya que no existe un impacto por actividad antropogénica y probablemente se presente una autodepuración de la corriente resultado de la velocidad del agua y pendiente del terreno, provocando que el metal se encuentre principalmente en la columna de agua en estas estaciones, en donde la concentración es de < 0.005 mg/L.

En el caso del río Apatlaco, el valor del índice de geoacumulación a lo largo de los muestreos fue de 4 para la estación Xochitepec (Km 13), 2 en la estación Descarga Ingenio (Km 34) y 4 en la estación Confluencia Apatlaco-Yautepec (Km 36), lo que indica que la primera estación tiene un enriquecimiento antropogénico de aproximadamente 24 veces más que en condiciones naturales. Esto se debe principalmente a las descargas municipales del poblado del mismo nombre, ya que existen dos industrias (Aromáticos y Mexi-Bras), los cuales vierten sus desechos al cauce del río, incrementando dicho enriquecimiento, además de que en esta zona

descargan las aguas residuales tratadas de ECCACIV.

La estación Descarga Ingenio ubicada a 23 kilómetros de la estación Xochitepec, presenta un enriquecimiento de aproximadamente 6 veces más de las condiciones naturales, debido a que la descarga que recibe es principalmente del ingenio azucarero de Emiliano Zapata, el cual descarga materia orgánica y celulosa, mientras que la última estación, Confluencia Apatlaco-Yautepec, presenta un incremento de aproximadamente 24 veces más que las condiciones naturales y recibe las descargas municipales e industriales de la ciudad de Jojutla contribuyendo al aumento del metal en los sedimentos del río.

Al relacionar estos datos con los obtenidos por el IMTA en 1989, en donde se determinó la concentración de plomo en los sedimentos de cuatro estaciones del río Cuautla, se corrobora que el enriquecimiento antropogénico se incrementa desde el nacimiento del río Cuautla (Manantiales) hacia la estación Barranca Ayala, disminuyendo hasta la confluencia con el río Amacuzac, por lo que el segmento más impactado se encuentra entre el kilómetro 6 al 11 (Tabla 10, Fig. 18).

Por lo que respecta al río Apatlaco, las estaciones establecidas en 1989 se localizan antes de Xochitepec (Alta Palmira) y las dos restantes después de la confluencia Apatlaco-Yautepec (Tlatenchi y Tenayucan), encontrándose valores del índice de geoacumulación de 0, 3 y 2 respectivamente, lo que indica que el primer valor se encuentra en condiciones naturales y que aunque es la parte que recibe las descargas de la Ciudad de Cuernavaca y Jiutepec, el arrastre del material suspendido que transporta los metales en su composición, la velocidad de la corriente y la pendiente del cauce, provocan que el metal se distribuya hasta la estación Xochitepec, mientras que las últimas Tlatenchi y Tenayucan han aumentado su enriquecimiento por las descargas de las ciudades del mismo nombre y de la zona agrícola. El segmento más impactado por plomo se

Tabla 10. Indices de geoacumulación del enriquecimiento de plomo determinados en el sedimento de los ríos Apatlaco y Cuautla, Mor.

| ESTACION | DISTANCIA (KM) | 1989 | 1990 |
|----------------------|-------------------|------|------|
| RIO APATLACO | | | |
| Alta Palmira | 2 | 0 | --- |
| Xichitepec | 13 | --- | 4 |
| Descarga Ingenio | 34 | --- | 2 |
| Confluencia-Apatlaco | 36 | --- | 4 |
| Tlatenchi | 38 | 3 | --- |
| Tenayuca | 40 | 2 | --- |
| RIO CUAUTLA | | | |
| Manatiales | 0 | 0 | --- |
| San Pedro | 6 | --- | 1 |
| Barranca Ayala | 11 | 4 | 3 |
| Abelardo Rodríguez | 12 | 1 | --- |
| Mezquitera | 48 | 0 | 1 |
| Nexpa | 59 | --- | 1 |

---- no se muestreo

Clasificación

0 = Condiciones naturales

1 = 3 veces más el enriquecimiento del valor antecedente

2 = 6 veces más el enriquecimiento del valor antecedente

3 = 12 veces más el enriquecimiento del valor antecedente

4 = 24 veces más el enriquecimiento del valor antecedente

5 = 50 veces más el enriquecimiento del valor antecedente

6 = 100 veces más el enriquecimiento del valor antecedente

localiza entre las estaciones de Xochitepec y Confluencia Apatlaco-Yautepec (Km 13 al 36) (Tabla 10, Fig. 18). Los valores más altos de enriquecimiento de plomo en los dos ríos se relacionan con la cantidad de materia orgánica y por ciento de arcillas y limos presentes en los sedimentos, ya que tanto la materia orgánica como el por ciento de arcillas y limos al aumentar absorben más los metales, atrapándolos en los sedimentos.

Siendo importante este aspecto, ya que como se anota en CEPIS, 1990 A, cuando existen condiciones desfavorables en el fondo (bajo contenido de oxígeno disuelto), los metales que son controlados directamente por el potencial oxido-reducción podrán ser solubilizados y liberados con impactos adversos en la calidad del agua.

6.5 Diversidad, abundancia y distribución de peces.

En un sistema fluvial o lótico, la población de cada tramo del río está influida por agua que ha pasado por segmentos aguas arriba y está en contacto con otras comunidades. En consecuencia, cada comunidad debe afirmar por competencia su propia composición ante la presión de colonización constante, procedente de aguas arriba (Margalef, 1983). Aunado a esto, las poblaciones tienen que soportar los cambios que se producen en los ríos por las continuas descargas de aguas residuales que son vertidas a ellos y que causan una disminución en la diversidad de especies que en condiciones naturales existirían, provocando con esto una adaptación de los organismos a dichas condiciones extremas y la pérdida de especies menos resistentes en otros casos.

Muchas de las adaptaciones que presentan los peces son conductuales, involucrando migraciones o movimientos locales, con lo cual evitan las condiciones adversas. En otros casos, parte de la fauna íctica (peces) presenta adaptaciones anatómicas y fisiológicas específicas, lo cual permite que las especies sobrevivan aun en

condiciones bajas de oxígeno disuelto o de completa desoxigenación, a temperaturas altas, desecación, condiciones pobres de luz o corrientes fuertes (Welcomme, 1985).

En el caso particular de los ríos Apatlaco y Cuautla, estado de Morelos, las concentraciones de oxígeno disuelto en algunas estaciones fue muy baja e incluso de completa desoxigenación. Sin embargo, se encontraron organismos bajo estas condiciones, principalmente los peces pertenecientes a la familia Poeciliidae que son los dominantes en los tres ríos, lo cual obedece a la adaptación que presentan para utilizar la película superficial oxigenada del agua.

Estas adaptaciones, como lo mencionan Lewis en Welcomme, *op. cit.*, incluyen la boca pequeña orientada dorsalmente y cabeza aplanada orientada dorsoventralmente. Estas características les permiten tomar el oxígeno de la película superficial del agua, de tal modo que puedan sobrevivir indefinidamente bajo estas condiciones (Fig. 19).

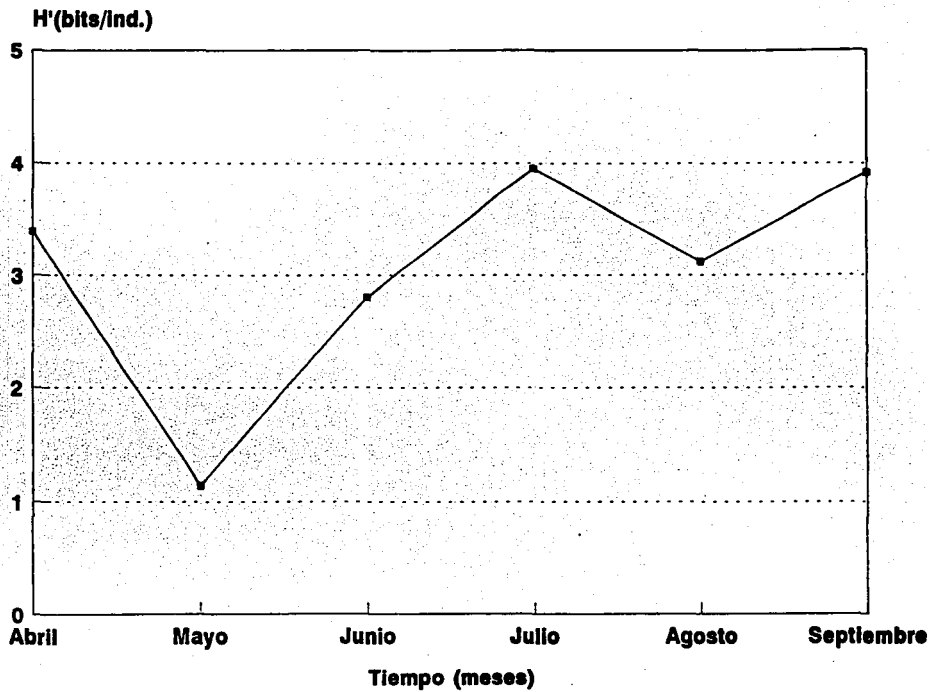
Como se anotó anteriormente, en un sistema lótico sin perturbaciones, se esperarían encontrar una diversidad alta (cerca de 5 bits/individuo). El análisis de la diversidad parte de la premisa de que los cuerpos de agua que no reciben desechos tienen una gran variedad de vida acuática; la adición de contaminantes reduce el número de organismos y los que permanecen están representados por grupos de individuos resistentes a estas condiciones (organismos euri, espectro ecológico amplio) (Villegas y De Giner, 1972; Odum, 1972). En el caso de los ríos estudiados las descargas municipales, agrícolas e industriales que son vertidas a ellos disminuyen la riqueza de especies de la comunidad nectónica. En cada río se determinó la diversidad y se graficó para conocer el grado de perturbación del sistema, presentando los siguientes valores:

En el río Cuautla en general se presentaron en la época de avenidas, valores de diversidad por arriba de 3.0 bit/individuo (Fig. 20);

Figura 19. Adaptación anatómica de los peces de la familia Poeciliidae para obtener oxígeno de la película superficial del agua.



Fig. 20 Índice de diversidad en el río Cuautla



mientras que en el mes de mayo la diversidad disminuyó hasta un valor de 1.1 bit/ind., lo cual se debe principalmente a la dominancia marcada de la especie *Heterandria bimaculata* en la estación

Barranca Ayala (Km 11) y San Rafael (Km 28), las cuales presentaron una concentración de oxígeno disuelto de 2.2 mg/L y una concentración de plomo en el agua de 0.0059 mg/L, determinando con esto que las demás especies posiblemente emigraron río abajo y sólo *Heterandria bimaculata*, que presenta adaptaciones anatómicas para capturar el oxígeno de la película superficial del agua permanece bajo éstas condiciones, provocando con esto que disminuyera el valor de la diversidad en este mes, ya que cuando en una comunidad dominan unas pocas especies la diversidad tiende a disminuir.

En este río se capturaron un total de 1200 organismos representando 4 familias, 7 géneros y 8 especies, siendo la familia Poeciliidae la más abundante, seguida de la Goodeidae, Cichlidae y Characinidae, correspondiendo la mayor abundancia a las especies *Heterandria bimaculata* con el 44.7 % , *Poeciliopsis gracilis* con el 23.0 % y *Poecilia sphenops* con el 20.5 %, mientras que el 11.65 % corresponde a las demás especies capturadas (Tabla 11).

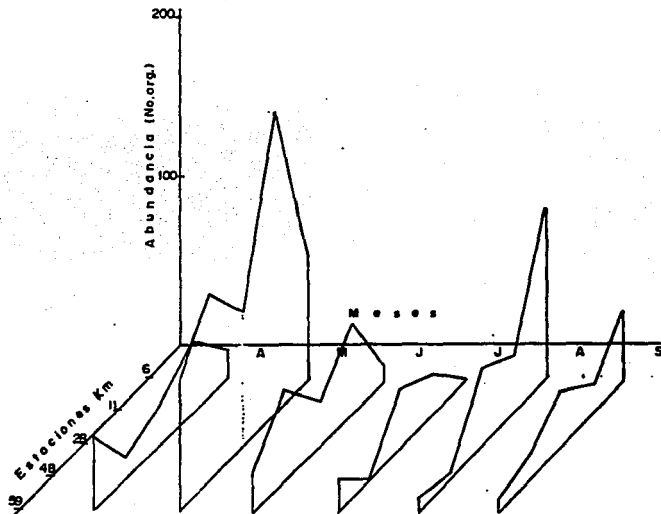
A lo largo de los seis muestreos (abril a septiembre de 1990), la mayor abundancia se presentó en el mes de mayo (519 organismos) obteniendo en la estación Barranca Ayala (Km 11) una captura de 185 organismos, mientras que la mínima abundancia se determinó en el mes de julio (75 organismos), detectando la ausencia de éstos en las estaciones San Pedro (Km 6) y Mezquitera (Km 48) (Fig. 21).

Los organismos se distribuyeron a lo largo de cinco estaciones del río, siendo el mes de agosto el que presentó una mayor distribución espacial de las especies, encontrando las ocho especies identificadas en este mes. En julio, sólo cuatro de ellas fueron detectadas, correspondiendo con los datos de menor abundancia y dominando

Tabla 11. Abundancia y diversidad determinados en el río Cuautla, edo. de Morelos.

| ESPECIE | ABRIL | MAYO | JUNIO | JULIO | AGOSTO | SEPTIEMBRE | ABUNDANCIA TOTAL | ABUNDANCIA RELATIVA (%) |
|--------------------------------|-------|------|-------|-------|--------|------------|------------------|-------------------------|
| <i>Heterandria bimaculata</i> | 65 | 311 | 74 | 29 | 40 | 18 | 537 | 44.7 |
| <i>Poecilia sphenops</i> | 9 | 63 | 29 | 23 | 87 | 35 | 246 | 20.5 |
| <i>Poeciliopsis gracilis</i> | 38 | 100 | 52 | 21 | 30 | 36 | 277 | 23.0 |
| <i>Xiphophorus helleri</i> | --- | 11 | --- | --- | 4 | 2 | 17 | 1.41 |
| <i>Oreochromis mossambicus</i> | 12 | --- | --- | --- | 3 | --- | 15 | 1.25 |
| <i>Cichlasoma sp.</i> | 6 | 5 | 2 | --- | 4 | 7 | 24 | 2.0 |
| <i>Balsadichthys whitei</i> | 8 | 29 | 2 | 2 | 17 | 15 | 73 | 6.08 |
| <i>Astyanax fasciatus</i> | --- | --- | --- | --- | 10 | 1 | 11 | 0.91 |
| TOTAL | 138 | 519 | 159 | 75 | 195 | 114 | 1200 | 100 |
| H' bit/ind. | 3.39 | 1.14 | 2.81 | 3.95 | 3.12 | 3.91 | | |

Figura 21. Abundancia y distribución de los peces capturados en el río Cuautla a lo largo de los muestreos y en las diferentes estaciones establecidas.



principalmente la especie *Heterandria bimaculata* en los meses de abril a julio.

Al relacionar los datos de los parámetros fisicoquímicos con la abundancia, la velocidad de la corriente es el parámetro que en este caso en particular afecta la abundancia y distribución de los peces, ya que en julio se registró un aumento considerable del gasto en las estaciones en las que no se capturaron organismos, correspondiendo a la época de avenidas.

En el río Apatlaco de los 5 meses en donde se capturaron organismos, solamente en mayo y julio se presentaron valores de diversidad de 3.1 y 3.7 bit/ind. respectivamente (Fig. 22), encontrándose 4 especies abundantes que favorecieron dicho valor, mientras que en los meses de junio, agosto y septiembre los valores oscilaron entre 1.5 y 2.5 bit/ind., lo cual representa una disminución en la riqueza de especies. Esto se debe a que una de las especies dominó durante este mes. Para junio resultó ser *Heterandria bimaculata* y para agosto y septiembre *Poecilia sphenops*.

En este río se capturaron un total de 840 organismos representados por 4 familias, 6 géneros y 6 especies, siendo la familia Poeciliidae la más abundante, seguida de la Goodeidae, Characínidae y Cichlidae, correspondiendo la mayor abundancia a las especies *Poecilia sphenops* con el 58.3 % , *Heterandria bimaculata* con el 21.8 % y *Xiphophorus helleri* con el 18.6 % , mientras que el 1.34 % corresponde a las demás especies capturadas (Tabla 12).

A lo largo de los muestreos, la mayor abundancia se presentó en el mes de agosto (266 organismos), siendo la estación Confluencia Apatlaco-Yautepec (Km 36) la de mayor captura de organismos (116 organismos), mientras que la mínima abundancia se determinó en el mes de julio (187 organismos), sin capturar peces en la estación Temixco (Km 4) (Fig. 23).

Fig. 22 Índice de diversidad en el río Apatlaco

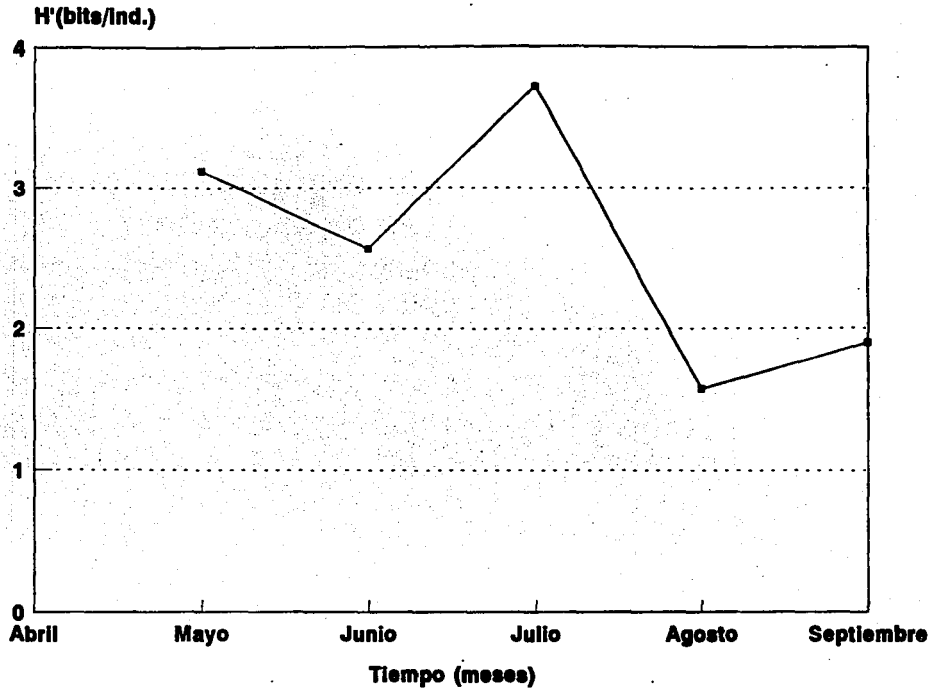
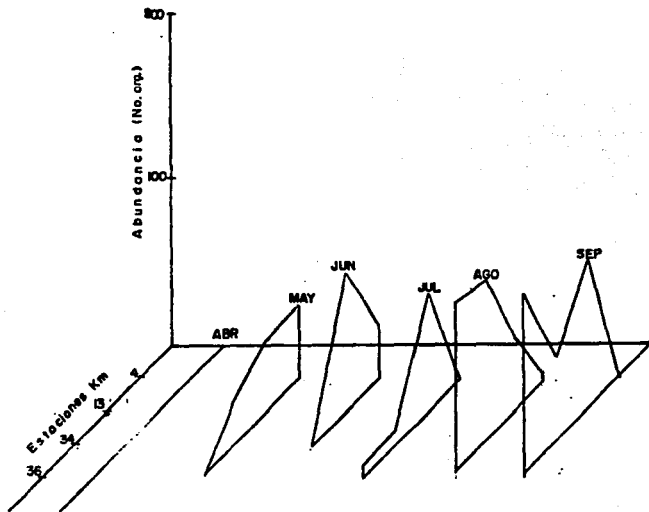


Tabla 12. Abundancia y diversidad determinados en el río Apatlaco, edo. de Morelos

| ESPECIE | ABRIL | MAYO | JUNIO | JULIO | AGOSTO | SEPTIEMBRE | ABUNDANCIA TOTAL | ABUNDANCIA RELATIVA (%) |
|------------------------------------|-------|------|-------|-------|--------|------------|---------------------|-------------------------------|
| <i>Heterandria bimaculata</i> | --- | 21 | 71 | 32 | 21 | 38 | 183 | 21.8 |
| <i>Poecilia sphenops</i> | --- | 69 | 46 | 27 | 194 | 154 | 490 | 58.3 |
| <i>Xiphophorus helleri</i> | --- | 20 | --- | 26 | 48 | 62 | 156 | 18.6 |
| <i>Oreochromis mossambicus</i> | --- | --- | --- | --- | 1 | --- | 1 | 0.12 |
| <i>Balsadichthys whitei</i> | --- | 3 | --- | 2 | 2 | 2 | 9 | 1.10 |
| <i>Astyanax fasciatus</i> | --- | --- | --- | --- | --- | 1 | 1 | 0.12 |
| TOTAL | | 113 | 117 | 87 | 266 | 257 | 840 | 100 |
| H' bits/ind. | | 3.12 | 2.57 | 3.73 | 1.57 | 1.90 | | |

Figura 23. Abundancia y distribución de los peces capturados en el río Apatlaco a lo largo de los muestreos y en las diferentes estaciones establecidas.



Los organismos se distribuyeron principalmente en las estaciones Xochitepec, Descarga Ingenio y Confluencia Apatlaco-Yautepec, observando en el mes de agosto una mayor distribución espacial en todas las estaciones y registrándose en éste cinco de las seis especies que se presentan en el río, mientras que en el mes de junio sólo se capturaron dos especies, las cuales se distribuyeron solamente en dos de las cuatro estaciones establecidas, dominando la especie *Poecilia sphenops* en los meses de mayo, agosto y septiembre.

Al relacionar los datos de los parámetros fisicoquímicos con la abundancia, en las estaciones Descarga Ingenio y Confluencia Apatlaco-Yautepec en los meses de abril a junio la concentración de oxígeno disuelto registró un intervalo de 0.0 a 2.4 mg/L, la conductividad de 1200 a 2800 μ mhos/cm, siendo los que determinaron la ausencia de peces en las estaciones, provocando quizá la migración de los organismos río arriba en donde éstos parámetros son favorables para la vida acuática.

En los dos ríos estudiados, los peces de la familia Poeciliidae son los que dominan debido a que como se registra en los trabajos de Cheong et al. 1984 y Poff et al. 1990, la respuesta inmediata de los organismos a la contaminación se da como una reducción en la diversidad y cambio en la estructura de la comunidad y uno de los mecanismos de protección hacia el ambiente adverso por parte de los poecílidos es la superfetación, que incrementa la fecundidad independientemente del tamaño y edad de las hembras, lo que ocasiona que esta familia sea la más abundante en los ríos, aún cuando la calidad del agua sea restrictiva para el desarrollo y protección de la vida acuática. Esta característica hace que los poecílidos sean el grupo representativo y dominante durante el estudio. Las otras familias aún cuando son resistentes a las condiciones prevaletientes, no presentan mecanismos reproductivos como los poecílidos tendiendo a migrar hacia zonas menos restrictivas en cuanto a calidad, por lo que no son especies

dominantes como es el caso de los cíclidos.

6.6 Bioacumulación en peces de los ríos Apatlaco y Cuautla.

La composición biótica de los ecosistemas que son alterados por compuestos tóxicos como los metales pesados es la que bioacumula dichos elementos y que en el caso de los peces, por movimientos físicos o migratorios, los transfieren vertical y horizontalmente a diferentes localidades, tomándolos de la columna de agua, del material suspendido, del sedimento y de organismos que forman la base de la cadena alimenticia, resultando así en una bioacumulación dentro de la misma.

La biota acumula los efectos de la degradación del cuerpo de agua, incluyendo aquellos a largo plazo que no pueden ser detectados con mediciones instantáneas, existiendo varios factores que afectan la fauna ictiológica del río, degradando sus áreas de refugio, reproducción y alimentación.

Esta degradación es la consecuencia del intenso desarrollo poblacional e industrial, de la construcción de embalses y represas, de la destrucción de las márgenes y dragado del lecho natural, haciendo imposible así la migración y el desove de las especies (CEPIS, 1990 A).

En el caso particular de la bioacumulación de plomo en los peces, específicamente de la familia Poeciliidae de los ríos Cuautla y Apatlaco, de acuerdo con los resultados proporcionados por el Laboratorio de la Subcoordinación de Calidad del Agua, se observa que en el río Cuautla los peces acumulan dicho metal encontrando valores que oscilaron entre 3.57 -25.0 mg/kg, con un promedio de 9.67 ± 5.32 mg/kg, registrándose el valor mínimo de 3.57 mg/kg en el mes de abril en la estación Nexpa (Km 59) y el máximo de 25 mg/kg en el mismo mes pero en la estación Mezquitera (Km 48). Al

relacionar estos valores con los obtenidos en los sedimentos, se observa que la mayor concentración de plomo, se presenta en la estación Barranca Ayala (Km 11) y que probablemente la entrada de éste contaminante a través de dicha estación sea arrastrado río abajo de tal manera que los peces de la estación Mezquitera sean los que asimilan y concentran el metal, aunado a esto la migración característica de los peces ocasiona una mayor asimilación de contaminantes a lo largo del río.

Las concentraciones encontradas en los peces son relativamente altas si se comparan con las registradas por Walsh *et al.* (1977), en el estudio de los residuos en los peces de los Estados Unidos, en donde determinaron residuos de plomo del orden de 1.4 hasta 5.2 mg/kg en *Tilapia* y otras especies; mientras que Burger *et al.* (1992) detectó niveles promedio de 0.683 a 0.780 mg/kg en robalo (*Centropomus* spp.) determinando niveles similares en hígado y músculo; Ramírez, (1990) registra un intervalo de 4.19 hasta 11.88 mg/kg de plomo en los peces (charales) de la región lacustre de Xochimilco y Villanueva *et al.*, (1992) cita valores de 53.6 mg/kg en peces del río Coatzacoalcos, por lo que en términos generales los valores determinados en los ríos Apatlaco y Cuautla se pueden considerar altos.

Las concentraciones detectadas en el agua en la mayoría de los casos se registraron < 0.005 mg/L y las restantes oscilaron entre 0.005 y 0.127 mg/L.

En cuanto al factor de bioconcentración (FBC) determinado en los peces a lo largo de las cuatro estaciones del río se obtuvo un valor promedio de 1229. Dicho valor rebasa considerablemente la unidad, indicando con esto que los peces bioacumulan el metal en su cuerpo y si se compara éste resultado con el de 2.5 registrado por la Federal Emergency Management Agency (1988) y de 424 para truchas juveniles de río (Arcos *et al.*, 1992), se observa que existe una gran diferencia entre éstos valores por lo que como menciona Jenkis

(1981), el plomo en mamíferos, aves y peces está catalogado como un bioacumulador y bioconcentrador a niveles altos y muy altos.

Con base en la bibliografía (Rand *et al.*, 1985; Mance, 1987 y Spry *et al.* 1991), se ha encontrado que en pruebas de toxicidad crónicas realizadas con peces juveniles de trucha expuestos a una concentración de 0.125 mg/L, presenta deformaciones en la columna vertebral (curvatura espinal) hasta la segunda generación; mientras que Holcombe, 1976 citado por Moore *et al.*, 1984 encontró la misma deformación en concentraciones que oscilaron entre 0.0009 a 0.474 mg/L en la segunda generación de truchas y en el 21% de la tercera generación a concentraciones de 0.119 mg/L de plomo. Estas mismas deformaciones se observaron en algunos peces capturados en el río Cuautla, por lo que se considera que dichos efectos pueden ser causados por la exposición continua a bajas concentraciones de plomo en su ambiente.

De los resultados anteriores y dado que el factor de bioconcentración en los peces es muy alto, existe la probabilidad de que al consumir estos organismos por parte de los pobladores, podría haber un riesgo asociado a este consumo, ya que las concentraciones detectadas en los peces están por arriba del límite permisible de 0.2 mg/kg (FDA, 1978 en Villanueva *et al. op. cit.*), por lo que es necesario realizar los cálculos de ingesta diaria admisible por consumo de pescado en las comunidades cercanas al río asociados a otros productos que forman parte de su dieta diaria, así como estudios epidemiológicos, ya que como lo menciona Corey y Galvão (1989) y Albert y Badillo (1990), es necesaria una atención prioritaria de las autoridades, de los profesionales de la salud y de la comunidad, principalmente en los países en vías de desarrollo, en donde se han verificado los más altos niveles de contaminación y de concentración de plomo en la sangre de la población.

Los peces del río Apatlaco (Poeciliidae) presentaron concentraciones de plomo que oscilaron entre 3.95 y 25.74 mg/kg, con un promedio

de 11.63 ± 6.33 mg/kg, registrándose un valor mínimo de 3.95 mg/kg en el mes de abril en la estación Descarga Ingenio (Km 34) y un valor máximo de 25.74 mg/kg en junio en la estación Confluencia Apatlaco-Yautepec (Km 36), al relacionar éstos valores con los obtenidos en los sedimentos, se observa que en mayo se registró la mayor concentración de plomo en éstos y que por el arrastre causado por el inicio de la época de avenidas en el mes de junio, provocó que el metal se resuspendiera en la columna de agua y que por lo tanto los peces presentarían una concentración alta.

En el agua en la mayoría de los casos las concentraciones fueron < 0.005 mg/L y las restantes se presentaron en un intervalo de $0.005 - 0.037$ mg/L. Al igual que en el río Cuautla, se capturaron peces con deformaciones de la columna vertebral (curvatura espinal), atribuyéndose ésta probablemente a la presencia de plomo en los diferentes compartimientos del ecosistema acuático.

Por lo que respecta al factor de bioconcentración, en promedio a lo largo de las tres estaciones del río se registró un valor de 1071, lo cual indica que el metal se está bioacumulando en el organismo, ya que como se anotó anteriormente, el plomo está catalogado como un bioacumulador y bioconcentrador de nivel alto y muy alto.

En las figuras 24, 25 y 26 se presentan las concentraciones de plomo en peces, agua y sedimento a lo largo de las estaciones de muestreo del río Apatlaco, observándose que no existen diferencias significativas entre estaciones y que son homogéneas entre sí con un 95% de nivel de significancia.

Por lo que respecta al río Cuautla, la concentración de plomo en peces y agua (Figs. 27, 28) no presentan diferencias significativas entre estaciones de muestreo, por lo que se considera que son homogéneas entre sí con un nivel de significancia del 95%, mientras que en sedimento, (Fig. 29), se observa que existen diferencias significativas entre la estación Barranca Ayala (km 11) con respecto

Fig. 24 Concentración de plomo en peces del río Apatlaco, Mor.

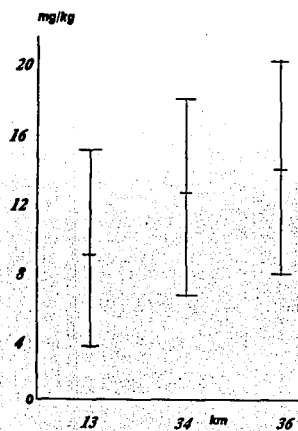


Fig. 25 Concentración de plomo en agua del río Apatlaco, Mor.

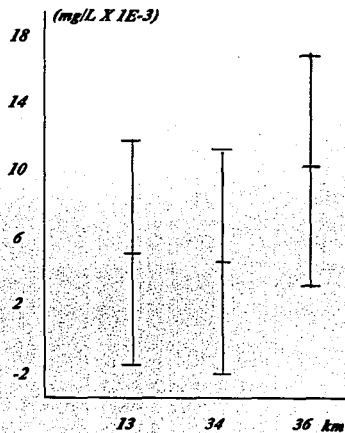


Fig. 26 Concentración de plomo en sedimentos del río Apatlaco, Mor

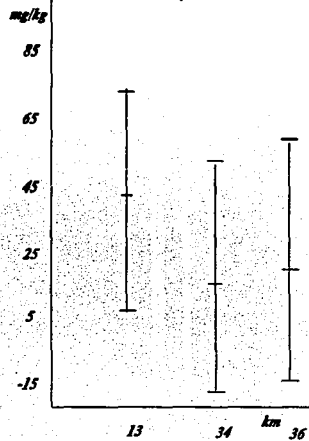


Fig. 27 Concentración de plomo en peces del río Cuscutla, Mor.

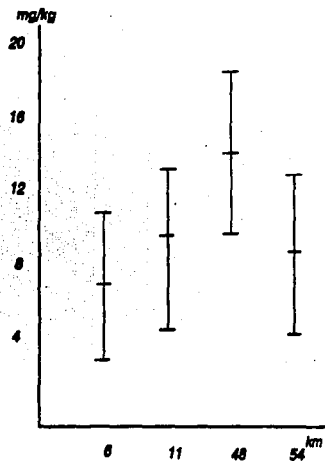


Fig. 28 Concentración de plomo en agua del río Cuscutla, Mor.

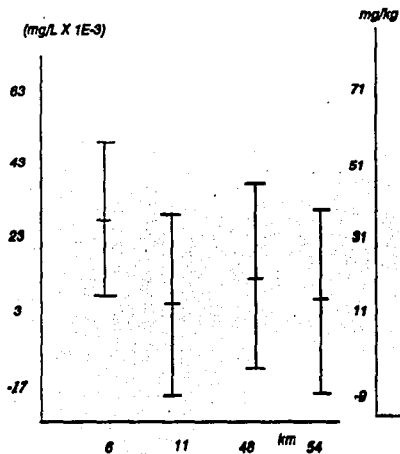
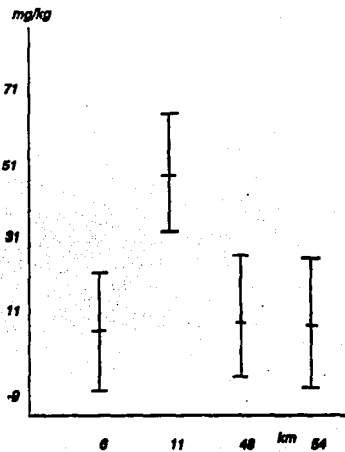


Fig. 29 Concentración de plomo en sedimentos del río Cuscutla, Mor.



a las otras estaciones, siendo ésta la que presenta altas concentraciones de plomo y un índice de geoacumulación de 4, por lo que se considera que la zona en que se ubica está siendo impactada por las descargas antropogénicas.

En la tabla 13 se muestran los valores del análisis de Spearman para las correlaciones entre la relación pez/agua y pez/sedimento de los ríos Apatlaco y Cuautla, observándose una correlación negativa entre la concentración de plomo en peces y agua, debido a que en agua se tiene bajas concentraciones de este elemento y que es un dato instantáneo, mientras que para la relación entre peces y sedimento se determinó una correlación positiva debido a que el sedimento funciona como un integrador y concentrador de plomo en el ambiente a diferencia del agua, pero en ambos casos puede estar disponible para el organismo dependiendo de sus hábitos alimenticios y de la especie química del plomo en el ambiente.

Tabla 13. Coeficiente de correlación por rangos de Spearman entre el contenido de plomo total en peces y el presente en su ambiente.

| | N | Pez - agua $p(> 0.05)$ | Pez - sedimento $p(> 0.05)$ |
|--------------|----|---------------------------|--------------------------------|
| Río Apatlaco | 17 | - 0.2341 | 0.0662 |
| Río Cuautla | 24 | - 0.1905 | 0.1923 |

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- **El análisis del ICA de 1985 a 1991, permite identificar las zonas de contaminación que limitan los usos del agua, identificándose en el río Apatlaco a la parte media y baja de la cuenca, desde Zacatepec hasta su confluencia con el río Yautepec como la más contaminada, siendo las principales causas los aportes de las descargas municipales y la entrada de las aguas residuales tratadas de ECCACIV, así como, las aguas de retorno agrícola de la zona de Alta Palmira, a la altura del poblado de Xochitepec, limitando todos los usos del agua en el periodo 1990 -1991.**
- **La calidad del agua del río Apatlaco en el periodo 1985 - 1991 se ha deteriorado hasta limitarse sus usos únicamente para recreación en la parte alta de la cuenca, debido a que en la cuenca media y baja la calidad del agua es restrictiva para todos los usos.**
- **El río Cuautla se considera menos contaminado con respecto al río Apatlaco en cuanto a sus usos, siendo de calidad aceptable para pesca (desarrollo de organismos acuáticos), y recreación, contaminación leve para agricultura e industria y contaminado para agua potable.**
- **La calidad del agua del río Cuautla en el periodo 1985 -1991, se ha deteriorado considerándose contaminada en el periodo 1990 - 1991.**
- **En cuanto al río Cuautla es importante el establecimiento de dos estaciones más que se ubiquen en la parte media y baja del río para poder evaluar los cambios en la calidad del agua, ya que la estación que se tiene actualmente esta ubicada en la parte alta y solo detecta los cambios de los escurrimientos de la zona agrícola de temporal, mientras que la entrada de las**

fuentes puntuales como lo es la descarga de la Barranca Ayala y las descargas de las plantas de tratamiento municipales e industriales no son evaluadas.

- **Los resultados de calidad del agua (ICA) y de sustancias tóxicas como el plomo, deben ser complementarios para los análisis de monitoreo de los diferentes cuerpos de agua, ya que como en este caso, aunque el ICA indica aguas de calidad aceptable a contaminadas para ciertos usos, la concentración de plomo indica limitaciones al detectarse concentraciones por arriba del límite permisible para agua potable.**
- **En cuanto al análisis de plomo en agua, el río Cuautla presentó una carga de plomo de 15.1 kg/día y el río Apatlaco de 1.5 kg/día, indicando que la planta de tratamiento de ECCACIV ayuda en la retención de este contaminante al precipitarse y quedar atrapado en los lodos de la planta, disminuyendo la concentración de plomo en el río Apatlaco; mientras que en el río Cuautla, el metal llega al agua directamente y dado que en la parte alta se tienen actividades artesanales como la fabricación de loza de barro en donde se utiliza al plomo para su proceso.**
- **Con el cálculo del modelo MRI, la concentración de plomo en agua en el río Apatlaco y Cuautla se presenta principalmente en forma disuelta (0.004 y 0.010 mg/L respectivamente) más que en la forma particulada (0.001 y 0.002 mg/L respectivamente), y dado que la forma disuelta se incorpora fácilmente a los organismos acuáticos se puede inferir que estos bioconcentran el metal con posibles efectos adversos a la fauna acuática.**
- **El factor de acumulación de la relación peces/sedimento en el río Cuautla presentó un valor de 1.41 en la época de secas, mientras que en la época de lluvias el valor disminuye a 0.95, lo cual se explica por la liberación o resuspensión del metal en**

esta época hacia la columna de agua.

- En el río Apatlaco, el factor de acumulación de la relación peces/sedimento presentó un valor promedio de 0.24 en la época de secas, mientras que en lluvias el valor promedio determinado fue de 0.97. La disminución del factor en la época de secas para el Apatlaco, se debe a que el volumen tratado por la planta de tratamiento de ECCACIV, afluente principal de este cuerpo de agua, es menor en esta época, por lo que el tratamiento y la remoción de tóxicos (metales) es más eficiente, presentando poca depositación y resuspensión. En el río Cuautla, el aumento de volumen implica entrada de una mayor cantidad de tóxicos en el cauce sin ningún tratamiento, los cuales se depositan en los sedimentos aumentando este factor de acumulación en la temporada de secas.
- Con el índice de geoacumulación en sedimentos, se determinó que la estación Barranca Ayala (km 11) del río Cuautla, es el segmento más impactado por las actividades antropogénicas con un valor de 3, lo que indica un enriquecimiento de plomo de aproximadamente 12 veces más de lo que se encuentra en condiciones naturales, mientras que en el río Apatlaco el segmento desde el kilómetro 13 hasta el 36 presentó un índice de 4, denotando que existe un incremento de aproximadamente 24 veces más del valor antecedente.
- El índice de diversidad calculado en la comunidad de peces del río Cuautla, en general indica valores por arriba de 3.0 bits/ind. en la época de avenidas disminuyendo en la época de secas hasta un valor de 1.1 bits/ind. la cual estuvo dominada por la especie *Heterandria bimaculata*.
- En el río Apatlaco únicamente en dos meses se presentaron valores por arriba de 3.0 bits/ind., mientras que en los restantes disminuyó la diversidad, dominando en estos meses la especie

Poecilia sphenops.

- En las estaciones que presentaron una mejor calidad del agua se capturaron organismos de la familia Cyprinodontidae y Poeciliidae o Cychlidae y Poeciliidae y cuando la calidad disminuye, la única familia que se presentó siempre fue la Poeciliidae, la cual es probablemente más resistente debido al mecanismo reproductivo de incrementar la fecundidad cuando el ambiente es adverso.
- Los peces de la familia Poeciliidae presentan una amplia distribución en el estado y de acuerdo a las relaciones de parámetros físicoquímicos (ambientales) y su distribución, pueden ser utilizados como monitores de cambios en el entorno.
- Las especies *Heterandria bimaculata* y *Balsadichthys whitei*, son organismos que ya son impactados por la presencia de plomo al presentarse deformaciones corporales, representando un riesgo a la salud de los habitantes de los municipios de Cuautla, Jojutla de Juárez, Tlalquitenango, Xochitepec y Tlaltzapán, localidades donde estos organismos son consumidos.
- La concentración promedio de plomo total detectada en los peces del río Cuautla fue de 9.67 ± 5.32 mg/kg, con un valor mínimo de 3.57 mg/kg y un máximo de 25 mg/kg. El factor de bioconcentración (FBC) determinado fue de 1229, lo que indica que el metal se concentra en el organismo pudiendo existir un probable riesgo al consumir los peces de la zona.
- La concentración promedio de plomo detectada en los peces del río Apatlaco fue de 11.63 ± 6.33 mg/kg, con un valor mínimo de 3.95 mg/kg y un máximo de 25.74 mg/kg. El factor de bioconcentración (FBC) determinado fue de 1071, por lo que al

igual que en el río Cuautla existe un probable riesgo para los pobladores de la zona.

- **Las concentraciones detectadas en los peces están por arriba del límite permisible establecido por la Food and Drug Administration de 0.2 mg/kg.**
- **En algunos peces se presentaron deformaciones en la columna vertebral atribuyéndose esta anomalía probablemente a las exposiciones crónicas de plomo en el ambiente y su alimentación.**
- **En los ríos se determinó que existe una correlación positiva entre la concentración de plomo en peces y el sedimento, por lo que se infiere que los hábitos alimenticios de los peces contribuyen a la acumulación del metal en el organismo, mientras que en la relación peces/agua existe una correlación negativa.**
- **Las concentraciones de plomo en peces, sedimento y agua determinadas en las estaciones de monitoreo del río Apatlaco indicaron que son homogéneas entre sí, no existiendo diferencias significativas entre ellas, mientras que en el río Cuautla, el sedimento de la estación Barranca Ayala (km 11) mostró diferencias significativas, por lo que se considera que esta zona está siendo impactada por descargas antropogénicas que causan un incremento en la concentración de plomo en el sedimento.**

8. BIBLIOGRAFIA

- 1. Albert L. A. and Badillo F. (1992) "Environmental lead in Mexico", Reviews of Environmental Contamination and Toxicology, Vol. 117: 1-44**
- 2. Allan, R., J., (1986) The Role of Particulate Matter in the Fate of Contaminants in Aquatic Ecosystems, Scientific Serie núm 142, Environment Canada, Burlington, Ontario, 128 pp.**
- 3. Arcos S.M.E.; Becerril A.J.; Espíndola Z.M.; Fernández V.G. y Navarrete R.M.E. (1992) Transporte, destino y toxicidad de constituyentes que hacen peligroso a un residuo, Sistema de Protección Civil, Centro Nacional de Prevención de Desastres, Coordinación de Investigación, Area de Riesgos Químicos, México, D.F. 171 pp.**
- 4. Alvarez del Villar, J., (1970) Peces mexicanos, Secretaria de Industria y Comercio, Dirección General de Pesca e Industrias Conexas, Instituto Nacional de Investigaciones Biológicas Pesqueras, Comisión Nacional Consultiva de Pesca, México, 166 pp.**
- 5. American Public Health Association, (1992) Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water, Washington, D.C., American Water Works Association and Water Pollution Control Federation, 18th ed.**
- 6. Athié, L.C.M, Water Quality Management in CIVAC, Mor (México). Tesis de grado de Maestría en Ciencias. Universidad de Strathclyde. Department of Civil Engineering, Public Health Division.**
- 7. Batley E. G. (1989) Trace element speciation: analytical methods and problems, CRC. Press, Inc., Boca Ratón, Florida, 350 pp.**

8. Canter W.L. (1985) Environmental Health Impact Assessment, Panamerican Center for Human Ecology and Health, OPS, WHO, Metepec, México, 509 pp.
9. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (CEPIS), (1985) Evaluación epidemiológica de riesgos causados por agentes químicos ambientales, generalidades, México, Organización Mundial de la Salud, Organización Panamericana de la Salud, núm. 1, 38 pp.
10. -----(1988) Manual de evaluación y manejo de sustancias tóxicas en aguas superficiales, Lima, Perú, Organización Mundial de la Salud, Organización Panamericana de la Salud, Programa de Salud Ambiental, Sección 1-6.
11. -----A (1990) Manual de evaluación y manejo de sustancias tóxicas en aguas superficiales, Anexo 1, Estudio de Caso "Río Paraíba do Sul, Brasil, Organización Mundial de la Salud, Organización Panamericana de la Salud, Programa de Salud Ambiental, Brasil 92 p.
12. Corey, O. G., Galvão, A. C. L., (1989) "Plomo", Serie de Vigilancia, núm. 8, México, OPS/OMS, pp. 103.
13. Cubillas C.B., García C.J. y Gutiérrez L.E. (1988) Identificación de la problemática de la calidad del agua en el estado de Morelos. En: Sánchez, S.R. y Espinoza, R.J. (Eds) Usos del agua en Morelos (pp 171-183) Coordinación de Investigación. IMTA-CNA, Cuernavaca, Mor.
14. Chapman D., (1992) Water quality assessments, UNESCO, WHO, UNEP, Chapman & Hall, New York, Estados Unidos, 585 pp.
15. Cheong T.R.; Henrich S.; Farr A.J. and Travis J. (1984), Variation in fecundity and its relationship to body size in a population of the Least Killifish *Heterandria formosa* (Pisces: Poeciliidae), Copeia

No. 3, 720 - 726.

16. Demayo A. Davis R. and Forbes A.M. (1978), Forms of metals in water, Scientific Serie No. 87, Fisheries and Environmental Canada

17. Derache R. (1990), Toxicología y seguridad de los alimentos, Ed. Omega, Barcelona, España, 491 pp.

18. Díaz, Z. G., Olvera, V. V.,(1989) "Acuacultura", Usos del agua en Morelos, Cuernavaca, Morelos, Coordinación de Investigación, Subcoordinación de Prospectiva.

19. Environmental Protection Agency, (1988) Derivados alquíllicos de plomo. Efectos sobre la salud y el ambiente, México, Documento Provincial, 78 pp.

20. Federal Emergency Management Agency,(1988) Long-term Problems of Land Contaminated by Nonradiactive Hazardous Chemicals: Sources, Impacts and Countermeasures, Washington, D.C. USA, Federal Emergency Management Agency, 177 pp.

21. Ferguson E. J. (1990) The heavy elements: Chemistry, environmental impact and health effects, Pergamon Press, New York, 614 pp.

22. Förstner, U., Wittmann, G. T.,(1979) Metal Pollution in the Aquatic Environment. New York, Berlin Heidelberg, 485 pp.

23. Friant, S. L., (1979) "Trace Metal Concentrations in Selected Biological Sediment and Water Column Samples in a Northern New England River", Water Air and Soil Pollution, vol. 11, USA, pp. 455-465.

24. García, C. J.,(1985) Utilización del plancton como herramienta para el conocimiento de la calidad del agua en la cuenca del alto

Amacuzac, estado de Morelos, México, Facultad de Ciencias, UNAM, Tesis de Licenciatura, 81 pp.

25. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (1989), Evaluación del impacto de las sustancias tóxicas en el recurso hidráulico, Informe Final, Comisión Nacional del Agua, Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, 64 pp.

26. Jackson P. J. and Sheiham I. (1980) Calculation of lead solubility in water, Water Research Center, Technical Report TR 152, 43 pp.

27. James, A., "The Value of Biological Indicators in Relation to Others Parameters of Water Quality", James, A. y Evison, L. (Eds.), Biological Indicators of Water Quality, New York, USA, John Willey and Son Pub., pp. 1-66.

28. Jenkins, D. W., (1981) "Biological Monitoring of Toxic Trace Elements", Environmental Protection Agency, Project Summary, EPA-600/53-80-090, USA, pp. 10.

29. Keulder, P. C., (1982) "Particle Size Distribution and Chemical Parameters of the Sediments of a Shallow Turbid Impoundment", Hidrobiología, núm. 91, USA, pp. 341-353.

30. Khan T.A., Weiss S. J. and D'Andrea L., (1982) Bioaccumulation of four heavy metals in two populations of grass shrimp, Palaemonetes pugio, Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, Vol 42: 339 - 343

31. León Vizcaíno L, (1991) Índice de Calidad del Agua, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Informe técnico # SH-9101/01, México, 36p.

32. Linnik P. N. (1989) Forms of occurrence of heavy metals in natural waters as a component of the ecological and toxicological

characteristics of aquatic ecosystems, Vodnye Resursy, No. 1 pág. 123-134.

33. Mance, G.,(1987) Pollution Threat of Heavy Metals in Aquatic Environments, London, England, Elsevier Applied Science Ed., 372 pp.

34. Marcus M.J. & Geoffrey I.S. (1990) "The use of sediment heavy metal bioavailability as a method of environmental hazard assessment", Aquatic Toxicology and risk Assessment: Thirteenth Volume ASTM STP 1096 W.G. Landis and W.H. Van der Schalie, Eds., American Society for Testing and Materials, Philadelphia. p. 110 - 122.

35. Margalef, R., (1983) Limnología, Barcelona, España, Ed Omega, 1009 pp.

36. Mason. C. F.,(1984) Biología de la contaminación del agua dulce, Madrid, España, Editorial Alhambra, 289 pp.

37. MayBeck M. Chapman D. & Helmer R, (1990) Global freshwater quality a first assessment, World Health Organization, United Nations Environmental Programme, EUA, 306 pp.

38. Mmari, O. J. and Shem O. W. (1989) Distribution of Cr, Pb, Cd, Zn, Fe and Mn in Lake Victoria sediments, East Africa, Bull. Environ. Contam. Toxicol. Vol 42: 807 - 813.

39. Moore W.J. and Ramamoorthy S. (1984) Heavy metals in natural waters, Springer-Verlag, New York, 263 pp.

40. Murgel, S., Limnología sanitaria. Estudio de la polución de aguas continentales, Washington, D.C., Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos, Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico, 120 pp.

41. Namminga, H., Wilhm, J., (1977) "Heavy Metals in Water, Sediments and Chironomids", Journal of Water Pollution Control Federation, Vol. 46, USA, pp. 1725-1731.
42. Odum, P. E., (1972) Ecología, México, Ed. Interamericana, 3a. ed., 5-6 pp.
43. Ortiz, H. M., Manual de técnicas y procedimientos para análisis físicos y químicos de suelos, Cuernavaca, Morelos, Escuela de Ciencias Biológicas, Tesis de Licenciatura, UAEM, 203 pp.
44. Patrick, R., (1976) "Use of Algae, Specially Diatoms, in the Assessment of Water Quality", Biological Methods for the Assessment of Water Quality, USA, pág. 76-95.
45. PEMEX (1989) Evaluación de hidrocarburos y metales pesados. Pemex/UNAM/CONACyT.GPTA-E-003/86 México, 149 pp.
46. Persoone, G., De Pauw, N, (1978) "Systems of Biological Indicators of Water Quality Assessment" Biological Aspects of Freshwater Pollution, Great Britain, pág. 39-75.
47. Poff L.N. and Ward J.V. (1990) Physical habitat template of lotic system: Recovery in the context of historical pattern of spatiotemporal heterogeneity, Environmental Management Vol. 14 No.5, 629 - 645.
48. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) (1985), "Productos químicos peligrosos", PNUMA. Dossier Ambiental, núm. 4, Suiza, pp. 8.
49. Publicación Moderna de Ictiología y Acuarismo, (1977) Peces tropicales platys y espadas. Peces tropicales vivíparos II, España, Fondo de Literatura Técnica, Suplemento 4 de Acuarismo, pp 59.

50. Ramírez, G., M. I., (1990) Evaluación del contenido mineral (Pb, Cr, Cd, Fe, Cu) del agua, lodo y fauna (*Chirostoma jordani*) de la región lacustre de Xochimilco, México, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, UNAM, Tesis de Licenciatura, 56 pp.
51. Rand, G. M., Petrocelli, S. R., (1985) Fundamentals of Aquatic Toxicology, Washington, USA, Hemisphere Publishing Corporation, 666 pp.
52. Rosas I., Baez A. and Belmont R., (1983) "Oyster (*Crassostrea virginica*) as indicator of heavy metal pollution in some lagoons of the Gulf of Mexico", Water, air and soil Poll. No. 20, pág. 127-135.
53. Rosen, E., D., and Bailey, M., R., (1963) "The Poeciliid Fishes Cyprinodontiformes), their Structure, Zoogeographic, and Systematics", Bulletin of The American Museum of Natural History, Vol. 126, núm 1, New York, pp 176.
54. Salomons, W., Förstner, V., (1984) Metals in the Hydrocycle, New York, USA, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 485 pp.
55. Sánchez, S. R. y Espinoza J. M. (1989) Usos del agua en Morelos, IMTA, Coordinación de Investigación, Cuernavaca, Morelos 239 pp.
56. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, (1982) Manual de muestreo de aguas y determinaciones en el campo, México, Dirección General de Usos del Agua y Prevención de la Contaminación, Subdirección de Investigación y Entrenamiento, 4a. ed., 75 pp.
57. Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE) (1990), "Acuerdo por el que se establecen los criterios ecológicos de calidad del agua CECCA-001/89", Gaceta Ecológica, Vol. II, núm. 6, México, pp. 26-36.

58. Secretaría de Programación y Presupuesto (1981), Censo industrial nacional, México, Coordinación General de Servicios Nacionales de Estudios Geográficos e Informática, pp. 104-109; 431-441; 1249-1254; 1444-1445; 1545.

59. Secretaría de Recursos Hidráulicos (SRH) (1970), Boletín hidrológico No. 47. Región hidrológica No. 18 (parcial). Cuenca del río Amacuzac, México, Tomos I, II, México, 607 pp.

60. Spry J.D. & Wiener G.J. (1991), "Metal bioavailability and toxicity to fish in low-alkalinity lakes: A critical review", Environmental Pollution 71: 243- 304

61. U.S. Department of Health and Human Services (1992) Toxicological Profile for Lead, Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 271 pp.

62. United Nations Environment Programme, (1985) Regional seas reports and studies No. 56. GESAM: Cadmium, Lead and Tin in the marine environment, ONU, FAO, UNESCO, WHO, IMO, IAEA, 90 pp.

63. Vargas Ramírez D, (1992) Pruebas de toxicidad con Daphnia magna Strauss para evaluar afluentes industriales de la planta de tratamiento de ECCACIV, Mor. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, UNAM, México 102 p.

64. Vega, G. S., (1985) Toxicología I. Cinética y efectos de los contaminantes tóxicos del ambiente, México, CEPIS/OPS/OMS, 133 pp.

65. Vega, V. P., (1986) Toxicología de alimentos, Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud, Organización Panamericana de la Salud, Organización Mundial de la Salud, Metepec, México, 218 pp.

66. Villanueva F.S. y Vázquez Botello A, (1992), " Metales pesados en la zona costera del Golfo de México y Caribe Mexicano: Una revisión", Revista Internacional de Contaminación Ambiental, Vol. 8: 47-61.

67. Villegas N.A. and Villarreal M. T. (1989) Differential uptake of zinc, copper and lead in Texas Cichlid, (*Cichlasoma cyanoguttatum*), Bull. Environ. Contam. Toxicol. Vol. 42: 761 - 768.

68. Villegas, I and De Giner G. (1972) Phytoplankton as a biological indicator of water quality. Water Research, 7, 477-487.

69. Vizcaíno, M. F. (1987), La contaminación en México, México, Ed. Fondo de Cultura Económica, 514 pp.

70. Walsh F.D., Berger L.B., Bean R.J. (1977) Residues in fish, Wildlife and Estuaries, Pesticides Monitoring Journal, Vol. 11 No.1 Pág. 5-34.

71. Welcomme, R., L., (1985) River Fisheries, Fisheries Technical Paper 262, FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 330 pp.

72. World Health Organization and United Nations Environment Programme (1987), GEMES: Global Environment Monitoring Systems. Global pollution and health results of health-related environmental monitoring. 22 pp.