

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA



**MEDICION DE NIVELES DE MERCURIO RESIDUAL
EN EL ESTUARIO DEL RIO COATZACOALCOS**

ERNESTO ARAICO SALAZAR

Q U I M I C O

1977



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 esta 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.

CLAS Tesis 1977
ADG M-22
FECHA _____
PROG _____
• _____



JURADO ASIGNADO:

PRESIDENTE: Luis Gálvez Cruz.

VOCAL: Alberto Obregón Pérez.

SECRETARIO: Francisco Fernández Noriega.

1er. SUPLENTE: Rubén Ortega Carmona.

2o. SUPLENTE: Luis Cabrera Mosqueda.

Sitio donde se desarrolló el tema:

DEPARTAMENTO DE RADIATIVIDAD AMBIENTAL

DEL

INSTITUTO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR

SUSTENTANTE: ERNESTO ARAICO SALAZAR

ASESOR DEL TEMA: LUIS GALVEZ CRUZ

SUPERVISOR TECNICO ARMANDO BAEZ PEDRAJO

A LA MEMORIA DE MI PADRE
Y
A MI MADRE
POR SU TITANICA LABOR PARA DARNOS UNA PROFESION

A MI ESPOSA Y A MIS HIJOS.

AGRADECIMIENTOS:

Al M. en C. Luis Gálvez Cruz por su valiosa cooperación en el desarrollo de este trabajo.

De manera muy especial al M. en C. Armando Báez P. y a la M. en C. Rebeca M. de Nulman por su confianza y ayuda desinteresada.

A la Sra. Bióloga Irma Rosas y al Sr. Raúl Belmont por el trabajo de muestreo.

CONTENIDO:

I.- RESUMEN.

II.- INTRODUCCION

III.- OBJETIVO

IV.- CONSIDERACIONES TEORICAS.

IV - 1.- Procesos de contaminación con mercurio

IV - 2.- Ciclos del mercurio en la biósfera.

IV - 3.- Métodos de determinación de mercurio.

IV - 3-a.- Generalidades.

IV - 3-b.- Método Micrométrico

IV - 3-c.- " Colorimétrico.

IV - 3-d.- Fluorescencia Atómica.

IV - 3-e.- Cromatografía.

IV - 3-f.- Análisis por Activación.

IV - 3-g.- Dilución Isotópica.

IV - 3-h.- Absorción Atómica.

IV - 4.- Descripción del aparato.

V.- ESTUDIO EXPERIMENTAL

V - 1.- Equipo e Instrumental.

V - 2.- Preparación de reactivos.

V - 3.- Procesamiento de muestras.

V - 3-a.- Procesamiento de muestras de agua.

- V - 3-b.- Procesamiento de muestras de vegetación pescados, mariscos, carnes, etc.
- V - 3-c.- Procesamiento de muestras de pelo
- V - 3-d.- Procesamiento de muestras de sangre.
- V - 4.- Preparación de estándares y testigos de reactivos.
 - V - 4-a.- Para muestras de agua.
 - V - 4-b.- Para muestras de vegetación, pescados, mariscos, etc.
- V - 5.- Cuantificación de mercurio
- V - 6.- Evaluación de la técnica empleada.
- V - 7.- Resultados.
- VI.- CONCLUSIONES.
- VII.- BIBLIOGRAFIA.

I .- RESUMEN:

Recientemente se ha reconocido la contaminación ambiental con mercurio como un problema de salud muy significativo, debido a los graves accidentes ocasionados por la ingestión de alimentos contaminados con este metal.

Trabajos preliminares indicaron la presencia de varios contaminantes en las aguas del río Coatzacoalcos y en 1973, al comprobarse la presencia de mercurio, el Instituto Nacional de Energía Nuclear con la colaboración de la Universidad Nacional Autónoma de México y bajo el patrocinio del Organismo Internacional de Energía Atómica, llevó a cabo un estudio para observar la distribución y destino de residuos industriales de mercurio en esa zona.

Utilizando la técnica de espectrofotometría de absorción atómica de vapor frío, se ha determinado mercurio total en muestras de agua de lluvia, agua de río, sedimentos, animales acuáticos, vegetación, suelos, muestras de alimentos -- de origen animal, pelo y sangre humana.

En este trabajo se presentan: el método detallado para lograr en todos los casos la disolución completa de las muestras, los niveles detectados en diversas muestras del estuario del río Coatzacoalcos y el análisis estadístico de los datos obtenidos utilizando el método en muestras de referencia de agua y productos solubles de pescado, con lo que se demuestra buena concordancia y reproducibilidad en los resultados.

II .- INTRODUCCION:

Desde antes del siglo XIX se sabe de la existencia - del problema del deterioro del medio ambiente, pero es precisamente con la revolución industrial, cuando surgen las condiciones que harán de la contaminación un problema cada vez más intenso.

Donde se plantea de modo más agudo este problema, es en las naciones en que el proceso de desarrollo económico es más avanzado, pero también es donde más se han estudiado y desarrollado la tecnología y la legislación para su control y abatimiento.

Recientemente se ha reconocido la contaminación con mercurio como un problema de salud muy significativo, debido a los graves incidentes ocasionados por la ingestión de alimentos contaminados con este metal. (1)

Fueron los japoneses los primeros en sufrir las consecuencias del descuido de una sociedad industrial que descar-

gaba desechos de mercurio en la Bahía de Minamata, de donde -
el mercurio era acumulado por peces y ostras. (2)

Al presentarse los primeros casos de envenenamiento
entre los habitantes de las zonas aladañas, se encontró que -
el cloruro de metil mercurio contenido en peces y ostras era
el responsable de severos desórdenes neurológicos. De 1953 a
1972 se han confirmado 121 casos de la enfermedad de Minamata
con 46 muertes.

Otro ejemplo de los efectos de la contaminación con
mercurio fue observado por los suecos que utilizaron metil -
mercurio como fungicida en el tratamiento de semillas. Casi
diez años después de haberse iniciado el empleo de este fungi -
cida, se presentaron las primeras muertes de pájaros que se -
habían alimentado con las semillas tratadas y para la década
de los cincuentas, estas muertes llegaron a ser más comunes.

En 1958 Borg sospechó que esas muertes eran causa -
das por el metil mercurio, pero ésto no fue aceptado hasta -
1965. (3) A principios de 1966 Suecia prohibió el uso de -
metil mercurio en la agricultura.

Después de estos casos de resonancia mundial y toman -
do como base las experiencias de los japoneses y suecos, es -
cuando se inician en Norteamérica las investigaciones para de -
terminar los niveles de mercurio en el medio ambiente.

México, país en desarrollo, no podía ser la excepción y presenta ya serios problemas de contaminación o por carencia de recursos económicos para aplicar tecnología adecuada a las condiciones del país y/o a la no aplicación de los reglamentos o leyes que establecen medidas preventivas para proteger al medio ambiente contra el peligro de una contaminación constante.

Un ejemplo de ésto se presenta en el estuario del río Coatzacoalcos, donde se ha establecido un gran complejo industrial que vierte sus desechos en dos arroyos que los llevan al río cerca de su desembocadura. (Fig. 1)

En 1973 se comprobó la presencia de mercurio en el río (4) y considerando su carácter tóxico, se llevó a cabo un estudio para observar la distribución y destino de residuos industriales de mercurio en esa zona. Este estudio fue realizado en el Instituto Nacional de Energía Nuclear con la colaboración de la Universidad Nacional Autónoma de México y bajo el patrocinio del Organismo Internacional de Energía Atómica.

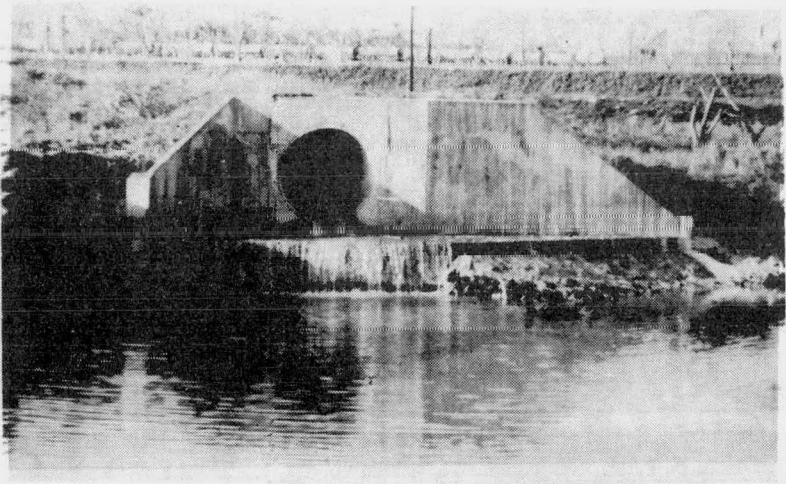


Fig. - 1 . - Descarga de efluentes en el arroyo
de Teapa.

III .- OBJETIVO:

El objetivo de este trabajo es dar a conocer detalladamente la técnica empleada para lograr en todos los casos la disolución completa de las muestras y su preparación para la determinación final del mercurio por el método de absorción atómica de vapor frío, técnica con la que se obtuvo buena concordancia y reproducibilidad en los resultados.

Además se presentan los niveles de mercurio detectados en los diferentes componentes del ecosistema incluyendo al hombre, para ayudar a evitar en lo posible, accidentes como los ocurridos en países de desarrollo industrial más avanzado

IV .- CONSIDERACIONES TEORICAS:

IV - 1 .- Procesos de Contaminación con Mercurio:

Según su origen la presencia de mercurio en el medio ambiente puede deberse a contaminación natural o contaminación debida a la acción del hombre.

La presencia de mercurio natural implica un ciclo general, en el cual, el mercurio es transportado a los océanos - como resultado de la erosión de la tierra.

El mercurio metálico, debido a su alta presión de vapor se evapora fácilmente de los suelos a la atmósfera. (5)

La presencia de mercurio debida a la acción del hombre, es el resultado de su explotación, utilización y tecnología relacionada con él, las cuales lo liberan en el medio ambiente en muchas formas químicas, directa o indirectamente.

Las fuentes de liberación directa se definen como -- aquellas en que el desprendimiento se puede evitar por la aplicación de sistemas apropiados para abatir la contaminación.

Virtualmente casi todas las operaciones de manufactura que utilizan mercurio caen dentro de esta categoría, porque no aplican ningún sistema.

La liberación directa ocurre más frecuentemente cuando trazas de mercurio se descargan a ríos y arroyos a través de aguas de desecho y/o son emitidas a la atmósfera como subproducto que no es económicamente recuperable en la operación de fabricación.

Las fuentes de liberación indirecta asociadas con tecnología relacionada con mercurio, se definen como las descargas inadvertidas o accidentales que resultan de su aplicación, uso incorrecto y eliminación de productos industriales o de consumo que lo contienen.

Puesto que el mercurio se incorpora en muchos productos industriales y de consumo, su uso indiscriminado, por una población mal informada, representa una ruta de contaminación muy importante. Además la combustión de productos que lo contienen puede volatilizarlo e introducir sus vapores en la atmósfera.

Indudablemente la ruta de contaminación más peligrosa, resulta cuando el uso impropio del mercurio afecta directamente al hombre.

Los pocos datos con que se cuenta, indican que la

erosión natural transporta mercurio a través del ambiente, de los continentes a los océanos, a través de los ríos, a una velocidad de casi 5000 toneladas por año. (6)

Del mercurio total extraído anualmente, se estima - que el 90 % se usa en la industria y el resto como componente de pesticidas.

Aproximadamente ochenta procesos industriales re - quieren de mercurio como materia prima o catalizador. Se considera que estas industrias son las principales fuentes de - contaminación con mercurio a través de efluentes que son arrojados a varias corrientes de agua. Debe añadirse también, tanto el mercurio natural que se evapora de suelos y rocas como el liberado en el quemado de combustibles fósiles que se mueve a través de la atmósfera para más tarde precipitarse con - la lluvia.

Este medio de transporte, controlado por el hombre, también implica casi 5000 toneladas al año.

No es posible calcular, ni de una manera burda, la cantidad de mercurio transportado a través de la biósfera, - aunque es razonable suponer que el hombre y la naturaleza contribuyen por igual.

IV - 2 .- Ciclos del Mercurio en la Biósfera:

El mercurio y sus compuestos se presentan en la na-

turalidad en niveles muy bajos. Estos niveles se incrementan por desechos industriales y por el uso de varios compuestos organomercuriales.

Las descargas de mercurio más importantes se pueden agrupar en descargas de mercurio inorgánico y descargas de mercurio ligado a compuestos orgánicos.

El mercurio tiene así, dos ciclos, el bien conocido ciclo global, en el cual hay una circulación atmosférica de mercurio elemental y el ciclo del mercurio ligado a compuestos orgánicos, en el cual la circulación atmosférica es de dimetil mercurio. Este último ciclo parece ser el más importante, porque a veces produce niveles altos de mercurio en los organismos vivos.

Cuando mercurio elemental, mercurio inorgánico divalente y compuestos organomercuriales se liberan en un medio acuático, los sedimentos juegan un papel muy importante en el transporte de mercurio.

El mercurio elemental no es muy soluble en agua y por su densidad, se sedimenta muy cerca de las descargas. El mercurio divalente forma complejos muy fuertes con sustancias orgánicas e inorgánicas y se adsorbe en las partículas suspendidas en el agua con las que se sedimenta, aunque puede permanecer en suspensión durante cierto tiempo. El fenil mercurio

que se descarga en las corrientes de agua, por las industrias del papel, se adsorbe principalmente a las fibras y se sedimenta con ellas.

En el paso siguiente, los diferentes compuestos se convierten en mercurio inorgánico divalente, lo que significa que el fenil mercurio se descompone y el mercurio elemental se oxida. De aquí en adelante el ciclo biológico tiene gran importancia. El ión mercurio se metila a monometil mercurio o dimetil mercurio. El monometil mercurio se lixivia en el agua y posteriormente se acumula en peces, algas y organismos que viven en ella, mientras que el dimetil mercurio tiene la tendencia a moverse con las burbujas de gas hacia la atmósfera. Sin embargo este compuesto no es muy estable bajo condiciones ácidas o de luz ultravioleta y se descompone para formar monometil mercurio que puede precipitarse con la lluvia en algún cuerpo de agua o sobre la tierra.

Si se convierte en mercurio elemental, puede caer también con la lluvia o tomar parte en la circulación global del vapor de mercurio elemental. Con el sulfuro de mercurio, el proceso de metilación es más lento, primero tiene que llevarse a cabo una oxidación y luego la metilación. (7)

IV - 3 .- Métodos de Determinación de Mercurio:

IV - 3 - a .- Generalidades:

Revisando los numerosos métodos que describe la literatura para la determinación de trazas de mercurio, se observa que la mayor dificultad asociada con el uso de estos métodos, no está relacionada con los límites de detección, que a menudo son suficientes, si no con la elección del procedimiento de disolución de la muestra y la separación del mercurio de sus interferentes. (8)

Estos pasos tienen que llevarse a cabo cuantitativamente de tal manera que no se agregue mercurio adicional con el material de laboratorio o con los reactivos que se usan. Esta fuente de error se puede mantener baja con un lavado cuidadoso y por el uso de reactivos extremadamente puros.

Deben tomarse precauciones como el no elevar la temperatura de soluciones que contienen trazas de mercurio porque se pueden tener grandes pérdidas por volatilización. Sin embargo las pérdidas pueden deberse también a adsorción de trazas en las paredes de los recipientes usados, en partículas coloidales y en emulsiones de grasas presentes o debido a una destrucción incompleta de la materia orgánica.

Uno de los mayores problemas es la separación de mercurio del gran contenido de materia orgánica de las muestras biológicas. Para hacer esta separación se requiere una calcina

ción o una digestión que podrían ser fuentes de error.

La solubilización se logra más comúnmente por digestión con alguna de numerosas sustancias oxidantes, mezclas de ellas o por combustión.

La mezcla oxidante más usada es el permanganato de potasio en solución de ácido sulfúrico. Otras mezclas de digestión emplean ácido nítrico, ácido perclórico, peróxido de hidrógeno, bromo y otras mezclas de ácidos y álcalis. (9)

Los métodos de oxidación que se describen son destructivos, lo que significa que las muestras se descomponen completamente con el fin de tener todo el mercurio disponible para el análisis. Así las soluciones acuosas, orina, metales, suelos o minerales, tienen que oxidarse por vía húmeda, mientras que las muestras biológicas, semillas, alimentos, papel, etc., pueden oxidarse por vía húmeda o vía seca. Sin embargo, cuando sea posible hacer una elección, siempre debe preferirse la combustión.

En la oxidación húmeda de muestras sólidas, la muestra se oxida con una mezcla de ácido nítrico y ácido sulfúrico en un aparato de Bethge modificado. (10) Aunque por esta técnica se pueden descomponer muestras grandes, el método tiene varios inconvenientes tales como lentitud, requerimiento de atención frecuente y grandes cantidades de ácidos --

concentrados lo que resulta en valores altos de los testigos. Además se observa gran dificultad en la oxidación de grasas. Esto aunado a los otros inconvenientes, condujo a la adopción del método de combustión de Schöniger.

La oxidación húmeda de muestras líquidas es la única alternativa cuando se tienen que analizar grandes volúmenes de muestras acuosas, aunque también es apropiada para pequeños volúmenes de muestras de agua, sangre, orina, etc. Las muestras se tratan con ácido sulfúrico y permanganato de potasio, dejándolas a temperatura ambiente toda la noche. El procedimiento no es muy rápido, pero es sencillo, no requiere atención y es reproducible.

La oxidación seca de materias combustibles en una atmósfera de oxígeno tiene muchas ventajas, es rápida, sencilla y puede llevarse a cabo con un valor muy bajo del testigo.

La volatilidad del mercurio es una ventaja porque puede recuperarse cuantitativamente aún de muestras en que la combustión fue incompleta. El quemado de materia orgánica puede lograrse en un sistema cerrado o en una corriente de oxígeno.

El matraz de combustión de Schöniger (11) se usó originalmente para análisis de residuos de mercurio por Guttenman y Lisk que hicieron una modificación para combustión

de muestras más grandes.

La combustión de muestras en una corriente de oxígeno fue sugerida por Lidums y Ulfvarson y se usó en fotometría de vapores de mercurio. (12)

Una vez que se han aplicado los métodos de oxidación el volumen de la muestra varía de 50 a 100 ml de una solución ácida que contiene diferentes oxidantes. Dependiendo de su naturaleza, muchas veces es necesario hacer una separación y también una preconcentración del mercurio antes de su determinación final.

Esta separación puede hacerse por destilación, coprecipitación, intercambio iónico, volatilización, amalgamación o extracción por solventes.

Finalmente el análisis puede llevarse a cabo por cualquiera de una gran variedad de métodos que se mencionan en la bibliografía. En este trabajo se hará mención de los métodos de determinación de mercurio más populares.

IV - 3 - b .- Método Micrométrico:

De interés histórico es el mencionar las determinaciones de mercurio hechas por J. A. Elliot en 1917 y por Stock y colaboradores en 1928. En ambos casos el mercurio se volatilizaba y depositaba en un alambre de oro o cobre. Las

microgotas que se formaban sobre el alambre se usaban para de terminar el mercurio, midiendo sus diámetros por medio de len tes manuales (13) o un microscopio al que se le había adap- tado una escala micrométrica. (8) Aunque es probable que ac tualmente ningún análisis se hace por este medio, debe haber sido satisfactorio hacer un análisis en el cual el elemento - era visto más bien que detectado por medio de algunos fenóme- nos físicos o químicos.

IV - 3 - c .- Método Colorimétrico:

Hasta hace poco tiempo, los métodos más populares para la determinación de mercurio en casi cualquier tipo de - muestra se han basado en el uso del reactivo difenil tiocarba zona o ditizona. Desde 1925 se ha usado para determinar gran variedad de trazas de metales.

El ditizonato de mercurio es un compuesto cristalii no, insoluble en agua, de color naranja. Extraído con tetra - cloruro de carbono absorbe luz a 485 nm, propiedad que se utii liza para su determinación.

El contenido de la muestra se establece por compa- ración con una curva de calibración obtenida con estándares - que se han extraído de idéntica manera que las muestras. (9)

Es factible que hoy en día, pocos laboratorios llee

ven a cabo análisis por procedimientos de ditizona, por la aparición de métodos que han probado ser mucho más sensibles y convenientes.

IV - 3 - d .- Fluorescencia Atómica:

Uno de estos métodos es el de fluorescencia atómica que mide la intensidad de la fluorescencia de los vapores de mercurio excitados por la luz de una lámpara de mercurio.-

(15)

IV - 3 - e .- Cromatografía:

Recientemente se han desarrollado varios métodos cromatográficos para la identificación y determinación de organomercuriales. Dos técnicas han tenido más aplicación: cromatografía de capa fina y cromatografía de gases. En ambos casos se pueden usar los ditizonatos.

Para cromatografía de capa fina se usa una placa de sílica gel y como solvente móvil una mezcla de ciclohexano y acetona.

Las marcas resultantes se revelan con una solución de sulfito de sodio, después de haber puesto sobre las marcas una solución de sulfato de cobre. Los ditizonatos se indican plenamente en la placa cromatográfica como manchas amarillas

o rojas. (15)

La cromatografía de gases se hace en una columna - de Carbowax al 10 % con un detector de captura electrónica, - aunque se han obtenido mejores condiciones con una columna de succinato de polietilen glicol al 2 % usando cromosorb G como soporte.

La sensibilidad es buena, se pueden detectar fácilmente 0.05 ng de estos compuestos. (16) (17)

IV - 3 - f .- Análisis por Activación:

Otro método de análisis muy usado es el basado en análisis por activación. Hay ventajas obvias para esta clase de análisis, de las cuales las principales son la gran sensibilidad y precisión del procedimiento. Sin embargo, el método no se puede aplicar en la mayoría de los laboratorios porque no se tienen las fuentes de flujo de neutrones.

El método consiste en someter la muestra al flujo de neutrones. El mercurio por reacción (n, γ) forma cinco radionúclidos. En virtud de que estos cinco radionúclidos son emisores gamma, cada uno ofrece la posibilidad de usarse en - la determinación instrumental de análisis por activación neutrónica. (18)

La mayoría de las muestras contienen elementos que

interfieren, ya que al activarse, se obtienen productos de -
activación con radiaciones que se traslapan sobre las de los
núclidos de mercurio, por lo tanto es necesario hacer un aná-
lisis por activación destructivo. (19)

Después de la irradiación, en la mayoría de los mé-
todos, se agregan acarreador de mercurio y ácidos para la o-
xidación húmeda. Estas adiciones deben hacerse simultáneamen-
te y de tal manera que no puedan ocurrir pérdidas de mercurio
aún bajo las peores condiciones. Después de la oxidación
húmeda el mercurio se recupera en forma pura, separado de o-
tros elementos que puedan dar actividades que interfieran.
Esta separación consiste a menudo de más de un paso para a-
segurar suficiente pureza del espectro gamma final.

Este principio de corrección radiométrica, dado -
por de Hevesy como una variedad del método de dilución isotó-
pica, es muy importante, ya que corrige todas las pérdidas -
desde el momento en que la muestra y el acarreador se ponen
juntos en un sistema homogéneo o al menos en un estado donde
los átomos de mercurio han tenido oportunidad de intercambiar
se, lo que sucede en soluciones acuosas. Así varios errores
imputables a los aparatos o a factores humanos se regulan au-
tomáticamente.

IV - 3 - g .- Dilución Isotópica:

En las técnicas con radionisótopos, el mercurio 203 presenta propiedades favorables que lo hacen apropiado para experimentos con trazadores: vida media de 47 días y una radiación fácilmente medible. Esta situación se utiliza para - comprobar los procedimientos existentes, para determinar mercurio por dilución isotópica o por medio de intercambio isotópico.

El control de cualquier procedimiento analítico - por medio de mercurio radiactivo, consiste en una medida del mercurio no activo por la radiactividad del mercurio 203 que se ha agregado a la muestra en forma de trazas. (20)

El equilibrio isotópico se logra durante la descomposición de la muestra y cualquier pérdida durante las operaciones subsecuentes, puede valorarse fácilmente por medio de las actividades: la introducida originalmente y la encontrada en una fracción final.

Si llamamos W_1 a la cantidad de mercurio agregada y A_1 a la actividad específica de W_1 y W_x a la cantidad de - mercurio no activo que se va a determinar, la relación radiactividad - balance de masa en el equilibrio isotópico se puede expresar:

$$W_1 A_1 = (W_1 + W_x) A_2$$

donde A_2 es la actividad específica de la mezcla resultante.

Esto conduce a la ecuación de la dilución isotópica:

$$w_x = w_1 (A_1/A_2 - 1)$$

Una vez conocida la actividad específica de la solución estándar, cada análisis implica la medida de la actividad específica A_2 de la mezcla resultante aislada de la muestra.

IV - 3 - h .- Absorción Atómica:

Finalmente se menciona el método de absorción atómica que se utilizó en este trabajo para la cuantificación de mercurio.

Los orígenes de absorción atómica se remontan a las primeras observaciones hechas a la flama. Del estudio de tallado de este fenómeno surgieron dos ramas del análisis del espectro: espectrografía y fotometría de flama, que sólo se diferencian por el medio que se emplea para medir la intensidad de la luz emitida. La primera usa las propiedades fotoquímicas de placas fotográficas y la segunda mide la radiación por medio de aparatos fotoeléctricos. (21)

Los conceptos relacionados con emisión y absorción atómica pueden explicarse de manera sencilla y mostrar que en ciertos aspectos son complementarios.

Si se aplica energía en forma de calor a una nube

de átomos que estén libres de cualquier ligadura molecular, algunos átomos se excitarán a niveles de energía más altos.

Cuando estos átomos regresan a sus niveles de energía más bajos, la energía adquirida de la fuente térmica, debe desprenderse. La cantidad de energía liberada que aparece como luz es el espectro de emisión del átomo.

La energía térmica no es el único mecanismo de excitación atómica, existen otros mecanismos tales como la energía de la luz cuya longitud de onda es equivalente a la energía requerida para elevar al átomo de sus niveles de energía bajos a niveles más altos.

Estas longitudes de onda apropiadas y características para cada elemento, son absorbidas por los átomos del mismo elemento causando la correspondiente excitación. (22)

Esta absorción se puede observar con un detector al otro lado de la nube atómica. A este procedimiento es al que se conoce como absorción atómica.

Los átomos excitados por la absorción de la luz, regresarán a sus niveles de energía más bajos, volviendo a emitir radiación en ciertos casos. El proceso que implica la emisión de radiación cuando el átomo regresa a su nivel de energía más bajo se llama resonancia atómica o fluorescencia atómica.

Para poder utilizar espectroscopía de absorción atómica, la muestra debe convertirse en un vapor atómico. Cada uno de los elementos que constituyen la fase de vapor absorberá radiación en un número limitado de longitudes de onda sobre una región espectral sumamente angosta.

Las líneas que normalmente se usan para análisis de absorción atómica son aquellas que terminan en el estado de energía más bajo del átomo neutro. Se les llama líneas de resonancia.

La relación entre absorción atómica y concentración atómica se define en las leyes fundamentales de la absorción de la luz.

Ley de Lambert: La cantidad de luz absorbida por un medio transparente, es independiente de la intensidad de la luz incidente y cada unidad de espesor del medio, absorbe una fracción igual de la luz que pasa por él.

Ley de Beer: La absorción de la luz es proporcional al número de especies absorbentes en la muestra.

La ley de Lambert y Beer combinada se puede expresar matemáticamente como:

$$P_t = P_o e^{-(abc)}$$

$$abc = \text{absorbancia} = \text{Log}_{10} \frac{P_o}{P_t} \text{ ----- } 1$$

donde:

P_0 = Intensidad de la radiación incidente.

P_t = Intensidad de la radiación transmitida.

a = Coeficiente de absorción.

b = Longitud del recorrido de absorción.

c = Concentración de átomos absorbedores.

Esto es: La absorbancia es proporcional a la concentración para una longitud de recorrido de absorción a cualquier longitud de onda dada. La absorbancia es una medida de la cantidad de luz absorbida por los átomos bajo condiciones dadas.

La ley de Lambert y Beer nos permite relacionar la absorbancia medida con la concentración del elemento analizado.

IV - 4 .- Descripción del aparato:

El aparato de absorción atómica tiene un diseño sencillo. Consta de una luz apropiada que emite una línea espectral que se dirige al atomizador a través del sistema óptico.

La luz que deja el atomizador pasa a un detector a través de un monocromador sencillo. Se usan varias técnicas electrónicas para transformar la intensidad medida en un resultado útil analíticamente. (Fig. 2)

En espectrofotómetros de absorción atómica, el objeto del sistema óptico es colimar la luz de la fuente y dirigirla

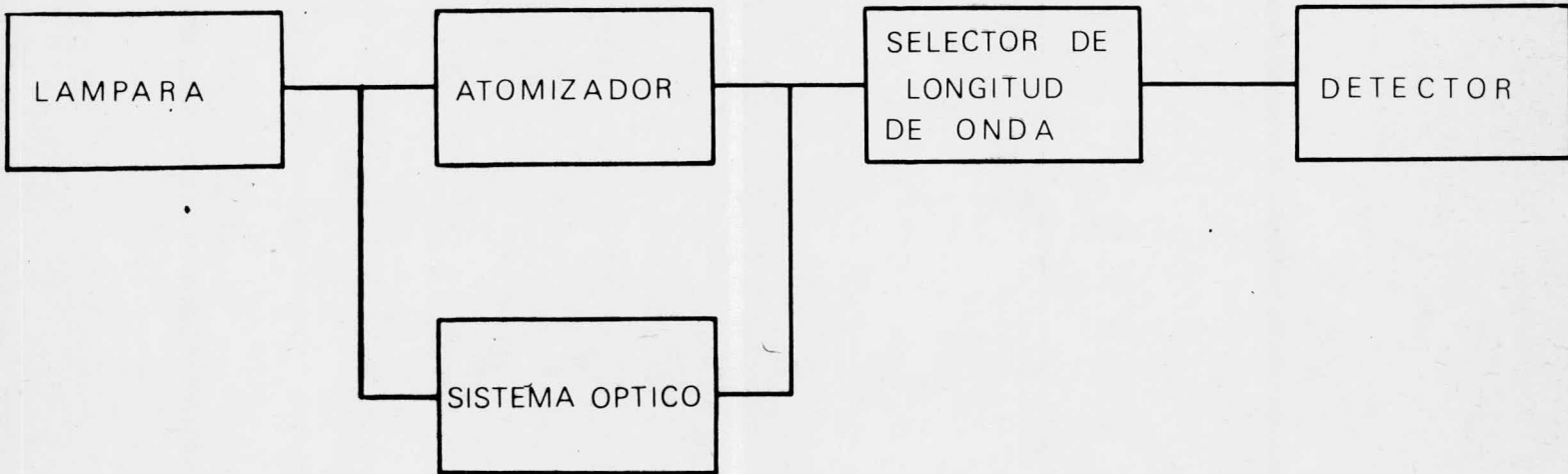


Fig- 2 Diagrama de un Aparato de Absorción Atómica

al monocromador a través de la muestra donde se aísla una línea de resonancia atómica del espectro de líneas emitidas por la lámpara.

El monocromador es un prisma ajustable que selecciona una región muy angosta, específica del espectro, para transmitirla al detector.

El detector universalmente usado en instrumentos de absorción atómica es el tubo fotomultiplicador. El fotomultiplicador produce una señal eléctrica que es proporcional a la intensidad de luz en la longitud de onda aislada por el monocromador. Esta señal eléctrica se amplifica y se usa para proporcionar una medida de absorción cuantitativa.

El sistema de lectura de un espectrofotómetro de absorción atómica es el medio donde las señales del fotomultiplicador se transmiten a un medidor o aparato de lectura digital, que corresponde al resultado analítico.

Aunque en principio se podría calcular la concentración de la ecuación 1, en la práctica las cantidades a y b son constantes y no se determinan normalmente.

La manera más sencilla de usar el método, es medir la absorción para soluciones estándares y luego comparar estos resultados con los obtenidos para muestras desconocidas.

Convencionalmente la calibración y comparación

con estándares se hace gráficamente. Bajo la ley de Lambert y Beer esta gráfica será lineal y las concentraciones de las muestras desconocidas se pueden determinar por interpolación sobre la gráfica.

Los aparatos modernos incluyen variedad de circuitos electrónicos que hacen la lectura más flexible y fácil de usar. Las señales pueden ser promediadas o integradas en un período de tiempo. (23)

El aparato que se utilizó en la cuantificación de mercurio en este trabajo es un aparato Perkin Elmer, modelo 290 B de operación manual, (Fig. 3) al que se le adaptó el aditamento Perkin Elmer, modelo 303 - 0832 (Fig. 4) para obtener los vapores de mercurio. Además se le adaptó un microvoltímetro amplificador Hewlett Packard, modelo 425 A y un registrador Moseley, modelo 7101 8M, el primero con el fin de aumentar los límites de sensibilidad y el segundo para obtener un registro gráfico de los resultados.

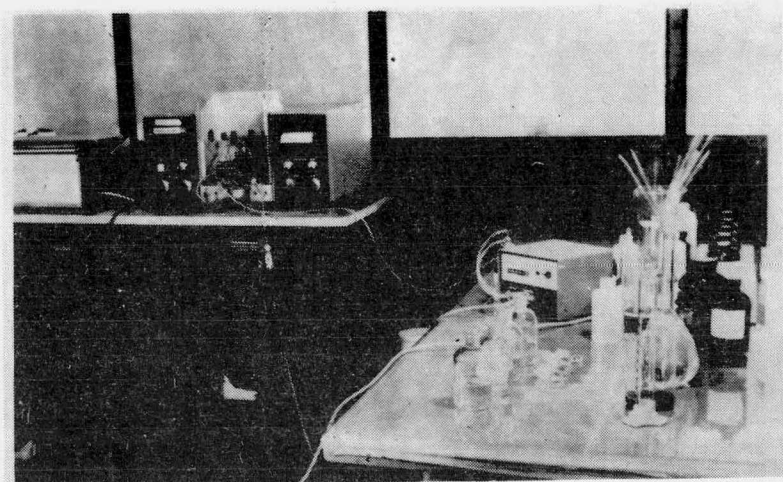


Fig. - 3 . - Espectrofotómetro de absorción atómica
Perkin Elmer, modelo 290 B.

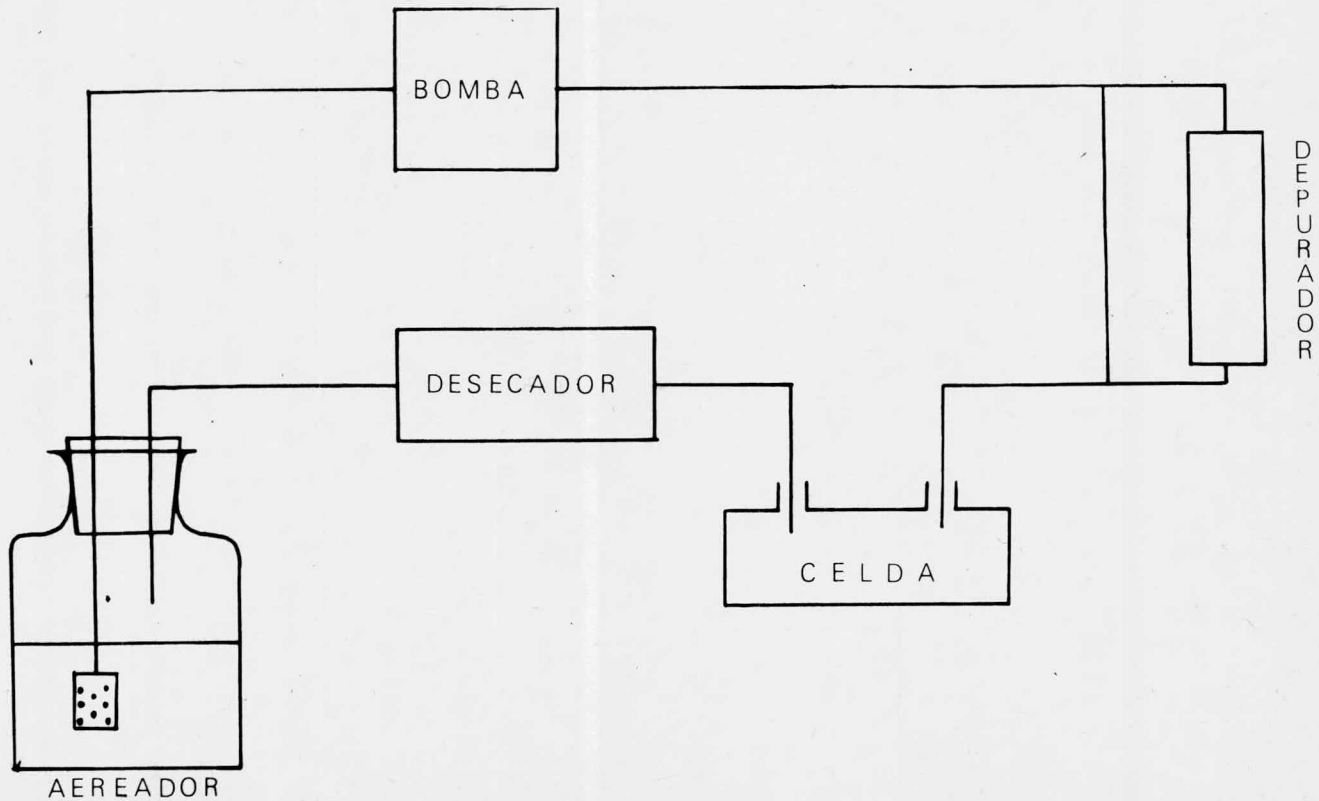


Fig. 4 Diagrama del Sistema para Análisis de Mercurio de Vapor Frio

V .- ESTUDIO EXPERIMENTAL:

V - 1 .- Equipo e Instrumental:

El material que se utilizó en este trabajo es el siguiente:

Equipo de Muestreo:

Botellas de polietileno.

Botella de Nansen.

Draga de acero inoxidable tipo Petersen.

Frascos de vidrio de boca ancha.

Bolsas de polietileno.

Cedazos.

Nasa.

Red de arrastre.

Red de cuchara.

Cordel y anzuelos.

Atarraya de nylon.

Red de arrastre tipo camaronera.

Jeringas hipodérmicas.

Tubos de ensaye.

Refrigeradores portátiles.

Equipo de Laboratorio:

Matraces erlenmeyer.

Matraces volumétricos.

Pipetas volumétricas

Baño maría con control de temperatura.

Termómetros.

Pesafiltros.

Estufa.

Botellas BOD.

Espectrofotómetro Perkin Elmer, modelo 290 B.

Lámpara de Mercurio.

Microvoltímetro amplificador Hewlett Packard, modelo
425 A.

Registrador Moseley, modelo 7101 BM.

Aditamento Perkin Elmer, modelo 303 - 0832 para
análisis de mercurio por vapor frío.

Reactivos libres de mercurio de Perkin Elmer.

Reactivos preparados en el laboratorio.

V - 2 .- Técnicas utilizadas:

V - 2 - a .- Muestreo:

Una vez delimitada el área de estudio, se establecieron catorce puntos de muestreo con el objeto de tener puntos -

de referencia para detectar cualquier variación. (Fig. 5)

El agua superficial se muestreó empleando botellas - de polietileno, a una profundidad entre 20 y 50 cm. Para la obtención del agua profunda se empleó la botella de Nansen y de acuerdo con el sitio de muestreo, las muestras se recogieron a profundidades entre 2 y 6 metros. (Fig. 6)

Los sedimentos se colectaron por medio de una draga de acero inoxidable tipo Petersen. (Fig. 7) Una vez conseguidas las muestras se colocaron en frascos de boca ancha, protegiendo la tapa con material plástico.

Las muestras de plantas acuáticas y otras de las márgenes del río, se obtuvieron en los puntos I, II, 3, 4, 5, 6, 7 y 9.

De cada planta se muestreó raíz, tallo, hojas, flores y fruto.

Las muestras se guardaron en bolsas de polietileno y se marcaron con una clave.

Se recogieron muestras de suelos en los puntos I, 6 y 9.

Los moluscos se capturaron por medio de draga y buceo.

Los microcrustáceos se obtuvieron pasando muestras de sedimentos por diferentes cedazos. Los macrocrustáceos se

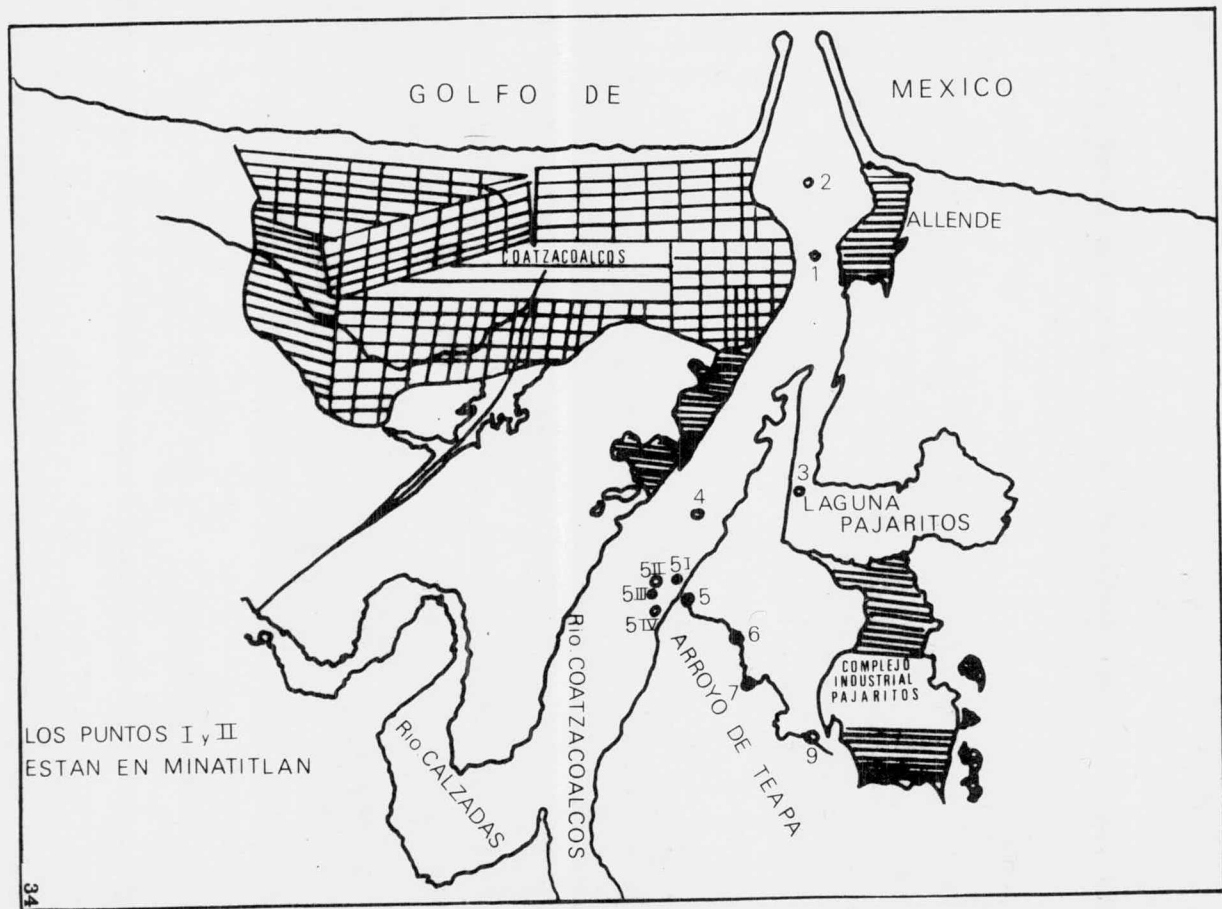


Fig.- 5 Sitios de Muestreo

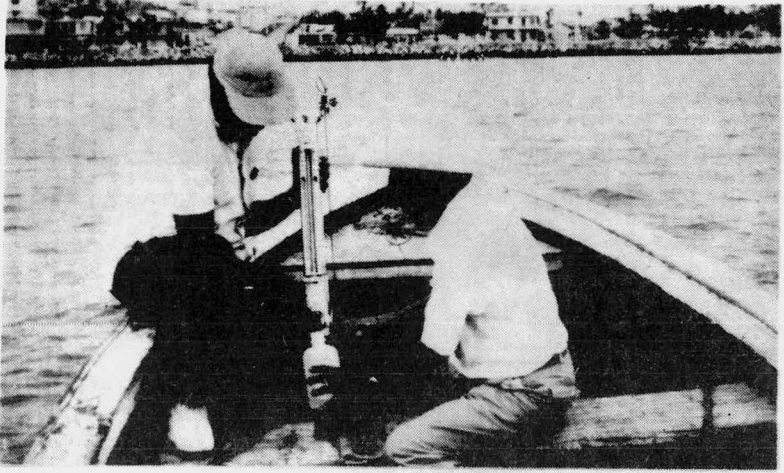


Fig. - 6 . - Botella de Nansen



Fig. - 7 . - Draga tipo Petersen

capturaron con nasa, red de arrastre y red de cuchara. Otros ejemplares se compraron a pescadores en los sitios de captura.

Debido a la gran diversidad de peces característica de los estuarios tropicales y a la ayuda de los pescadores de la región, se pudieron obtener varias especies, utilizando las siguientes artes de pesca: cordel y anzuelo, atarraya de nylon, red de arrastre tipo camaronera y nasas. (Fig. 8)

Se compraron carnes de ganado vacuno, ganado porcino y de pollo, leche y huevo.

Para obtener datos sobre el nivel de contaminación con mercurio en los habitantes de la región, se tomaron muestras de pelo y sangre de personas de diferentes edades.

Todo el material colectado se conservó en refrigeradores portátiles con hielo seco hasta su llegada al laboratorio.

V - 2 - b .- Preparación de reactivos:

Los análisis de mercurio se llevaron a cabo utilizando reactivos libres de mercurio de Perkin Elmer. Al agotarse la existencia de éstos y ante la imposibilidad de conseguirlos en el mercado, ya que son de importación, hubo necesidad de prepararlos en el laboratorio.

Se prepararon soluciones de cloruro estanoso al 10 %



Fig. - 8 . - Artes de pesca

y clorhidrato de hidroxilamina al 1.5 %, utilizando sales grado reactivo y agua bidestilada y deionizada. En ambos casos, una vez preparada la solución, se le hace pasar una corriente de aire para arrastrar cualquier traza de mercurio elemental que se hubiera formado en presencia del reactivo.

Cuando se empezaron a usar estas soluciones, se hicieron varias pruebas con soluciones patrón de mercurio y se obtuvieron resultados similares a los obtenidos con los reactivos libres de mercurio. En cada ocasión se analizaron testigos de reactivos.

V - 3 .- Procesamiento de muestras:

Las técnicas empleadas para el procesamiento de las muestras dependen de la naturaleza de éstas.

Para las muestras de agua se siguió la técnica de S. H. Omang (24) y para el procesamiento de muestras vegetales, pescados, mariscos, carnes, etc., se hizo una combinación de las técnicas de Hatch y Ott y del Comité de Métodos Analíticos (25) (9) Con la mezcla de oxidantes que se usa, se puede observar fácilmente la disolución completa de las muestras biológicas, evitando así pérdidas de tiempo y reactivos como pasa con el método descrito en el manual de instrucciones del sistema para análisis de mercurio de Perkin Elmer, donde no es posi

ble observar si la digestión fue completa hasta que se agregan los reactivos reductores que aclaran la solución. (26)

Es conveniente también, antes de detallar las técnicas, hacer algunas recomendaciones que ayudan a obtener mejores resultados.

Las muestras de vegetación, pescados, mariscos, carnes, etc., se cortan en pequeños trocitos y se homogenizan.

Evitar un calentamiento excesivo al hacer las adiciones de ácido sulfúrico, peróxido de hidrógeno, permanganato de potasio o al hacer diluciones, para no tener pérdidas de mercurio por volatilización.

A las muestras de sedimentos se les determina humedad para valorar su concentración en base seca. Normalmente en estas muestras queda un residuo blanco de sílice.

V - 3 - a .- Procesamiento de muestras de agua.

1 .- En una botella BOD de 300 ml, ponga 100 ml de la muestra.

2 .- Agregue 2 ml de solución de ácido sulfúrico al 50 %.

3 .- Añada solución de permanganato de potasio al 5 % gota a gota hasta color púrpura permanente.

4 .- Deje reposar 24 horas a temperatura ambiente.

5 .- Continúe los pasos enunciados bajo cuantificación de mercurio.

V - 3 - b .- Procesamiento de muestras de vegetación pescados, mariscos, carnes, etc., :

1 .- En un matraz erlenmeyer de 125 ml, pese por diferencia de 0.5 a 1.0 g de la muestra.

2 .- Agregue 30 ml de ácido sulfúrico concentrado y frío, colocando el matraz en baño de hielo para evitar pérdidas de mercurio por calentamiento.

3 .- Coloque el erlenmeyer en baño maría a una temperatura de 55° C para la digestión de la muestra.

4 .- Digerir durante 30 minutos, agitando ocasionalmente el contenido del matraz para favorecer la solución de la muestra.

Observe si se ha disuelto, si no, continúe la digestión. Generalmente se obtiene un líquido viscoso oscuro.

5 .- Añada peróxido de hidrógeno al 30 % en pequeñas porciones, dejando digerir la muestra entre cada adición, hasta tener un líquido incoloro o ligeramente amarillento.

6 .- Agregue poco a poco cristales de permanganato de potasio, agitando la muestra y dejando digerir. Cuando la muestra tenga color púrpura permanente, se retira del baño ma-

ría y se deja enfriar.

7 .- Coloque las muestras en baño de hielo para diluirlas a un volumen aproximado de 100 ml con agua fría y desmineralizada. Tenga cuidado al agregar el agua de evitar un calentamiento excesivo de la muestra porque se pueden tener pérdidas de mercurio por volatilización.

8 .- Afore en un matraz volumétrico de 100 ml y vacíe la muestra en una botella BOD de 300 ml.

9 .- Siga con los pasos que se detallan en cuantificación de mercurio.

V - 3 - c .- Procesamiento de muestras de pelo.

1 .- Las muestras de pelo se lavan para eliminar cualquier materia extraña. Se enjuagan con agua desmineralizada y se secan al aire.

2 .- Siga todos los pasos de la técnica anterior.

V - 3 - d .- Procesamiento de muestras de sangre:

Plasma:

1 .- Del tubo de ensaye en que se recibe la muestra, separe por medio de una jeringa hipodérmica el plasma de los corpúsculos sanguíneos.

2 .- Registre el volumen.

3 .- Póngalo en un matraz erlenmeyer de 125 ml y siga con el paso 2 del procesamiento de muestras de vegetación, pescados, mariscos, etc.

Corpúsculos sanguíneos:

1 .- En un matraz erlenmeyer de 125 ml, pese por diferencia los corpúsculos sanguíneos que quedaron en el tubo de ensaye.

2 .- Continúe con el paso 2 del procesamiento de --
muestras de vegetación, pescados, mariscos, etc.

V - 4 .- Preparación de estándares y testigos de reactivos:

En cada serie de análisis se preparan un testigo de reactivos y una serie de estándares, usando concentraciones conocidas de mercurio.

El objeto del testigo de reactivos es hacer una corrección por fondo.

El testigo de reactivos y los estándares se preparan según la naturaleza de las muestras.

V - 4 - a .- Para muestras de agua:

1 .- En matraces volumétricos de 100 ml, ponga alícuotas de la solución estándar de mercurio, para tener un ran-

go de concentraciones de 0.25 a 1.0 μg de mercurio.

2 .- Afore con agua deionizada. Inicie en este paso el testigo de reactivos con 100 ml de agua deionizada.

3 .- Vacíe los estándares y el testigo en botellas BOD.

4 .- Haga las mismas adiciones que se hacen a las muestras de agua durante su procesamiento y resérvelos hasta que se vaya a hacer la calibración del aparato.

V - 4 - b .- Para muestras de vegetación, pescados, mariscos, etc., :

1 .- Inicie la preparación del testigo y los estándares con el paso 2 del procesamiento de estas muestras. Siga todo el proceso.

2 .- Vacíe las soluciones obtenidas en botellas BOD que contienen alícuotas de la solución estándar de mercurio para tener un rango de concentraciones de 0.25 a 1.0 μg y en una botella vacía para el testigo de reactivos. Los estándares y el testigo de reactivos nos van a servir para hacer la calibración del aparato.

V - 5 .- Cuantificación de mercurio:

Una vez preparados el testigo de reactivos, los están

dares y las muestras, según las técnicas descritas, proceda a la calibración del aparato.

Siga los pasos que se detallan a continuación, iniciando con el testigo de reactivos para el que se establece un valor de 0 % de absorbancia.

1 .- Agregue a la botella BOD 5 ml de clorhidrato de hidroxilamina al 1.5 %. Agite. Después de esta adición, la solución púrpura debe decolorarse, si no, agregue cristales de hidroxilamina hasta que se aclare.

2 .- Añada 5 ml de cloruro estano al 10 % e inserte inmediatamente el aereador a la botella BOD.

3 .- Por medio de la bomba, haga circular aire para arrastrar los vapores de mercurio hasta la celda de absorción.

4 .- Lea o registre el valor obtenido en el aparato.

Siga los mismos pasos para el estándar de $1.0 \mu\text{g}$ de mercurio para el que se establece un valor de 100 % de absorbancia.

Proceda de igual manera con los estándares intermedios y las muestras registrando los valores que se obtienen.

Con los valores obtenidos para el testigo y los estándares, se traza una curva patrón, donde se grafica la concentración de mercurio contra la absorbancia.

De esta gráfica se pueden localizar los valores obtenidos

nidos de las muestras e ir leyendo directamente las concentraciones de mercurio. Las concentraciones se expresan en $\mu\text{g}/\text{l}$, $\mu\text{g}/\text{g}$ o ppm.

V - 6 .- Evaluación de la técnica empleada:

La evaluación de la técnica se llevó a cabo usando una muestra líquida de referencia de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de Norteamérica y una muestra de referencia de productos solubles de pescado del Organismo Internacional de Energía Atómica.

En cada caso se siguió la técnica adecuada. Se hicieron diez determinaciones de cada muestra.

A continuación se presentan los resultados obtenidos:

Muestra Líquida:

Contenido de Mercurio	2.40	$\mu\text{g}/\text{l}$
Promedio de 10 determinaciones	2.2584	"
Desviación estándar	± 0.1439	

Muestra de Solubles de Pescado:

Contenido de mercurio	0.0759	$\mu\text{g}/\text{g}$
Promedio de 10 determinaciones	0.0741	"
Desviación estándar	± 0.0033	

V - 7 .- Resultados:

Las muestras del estuario del río Coatzacoalcos se procesaron según las técnicas descritas y la cuantificación de mercurio se hizo por absorción atómica de vapor frío.

Los resultados obtenidos son los siguientes:

La mezcla de oxidantes utilizada en la digestión de las muestras orgánicas permite observar fácilmente la disolución completa de éstas, lo que no era posible aplicando la técnica descrita en el Manual de Instrucciones del Sistema para Análisis de Mercurio hasta el momento de hacer la cuantificación.

Se pueden usar reactivos preparados en el laboratorio y obtener resultados similares a los obtenidos con los reactivos libres de mercurio de Perkin Elmer.

El control de la temperatura por abajo de 60° C y la presencia de oxidantes, evitan pérdidas de mercurio por volatilización.

De los datos obtenidos en la evaluación de la técnica con muestras estándares de agua y productos solubles de pescado, se concluye que el método de absorción atómica de vapor frío es preciso y digno de confianza.

Los valores obtenidos para cada elemento del ecosistema se presentan en tablas para su análisis.

VI .- CONCLUSIONES:

Analizando los datos que se presentan en las tablas se pueden hacer las conclusiones siguientes:

Los valores más altos en aguas, sedimentos, suelos y plantas se encuentran a lo largo del Arroyo de Teapa que es el receptor de los efluentes de una planta de cloro álcali establecida en sus inmediaciones y en la desembocadura del arroyo en el río.

Las concentraciones más bajas se encontraron en el punto de muestreo número I en Minatitlán. (Tablas 1 a 5)

Las variaciones de concentración en agua y sedimentos parecen estar relacionadas con la descarga de efluentes en el arroyo, corrientes del río, vientos, mareas, materias suspendidas, etc. (27)

Por los resultados obtenidos en muestras de suelos de los puntos 6 y 9, se deduce que la contaminación se ha extendido. Esto parece que se debe a la precipitación de vapores o compuestos de mercurio con la lluvia y/o a las inundaciones.

Los rangos de concentración en vegetación del punto de muestreo número I son más bajos que los obtenidos en vegetación de las márgenes del arroyo de Teapa o en las del río cerca del punto de muestreo número 5 donde se obtuvieron los valo

CONCENTRACIONES DE MERCURIO EN AGUAS SUPERFICIALES

DEL RIO COATZACOALCOS

Lugar de Muestreo	Variación $\mu\text{g./l}$	Número de Muestras	Promedio $\mu\text{g/l}$
1	0.100 - 1.325	9	0.468
1	0.100 - 2.500	7	0.593
I	0.100 - 0.759	12	0.226
II	0.100 - 0.714	13	0.162
2	0.100 - 2.600	11	0.424
3	0.100 - 0.625	11	0.155
4	0.100 - 5.776	13	0.797
5	0.100 - 144.000	14	19.163
5 I	0.100 - 15.400	13	2.466
5 II	0.100 - 2.758	13	0.434
5 III	0.100 - 6.032	13	1.072
5 IV	0.100 - 2.857	11	0.555
6	0.758 - 163.000	13	26.517
7	0.333 - 106.000	14	25.773
9	2.500 - 647.435	11	70.648

Los lugares marcados I y II se encuentran a 2.5 Km antes de la refinera y 1 Km después de la refinera respectivamente.

CONCENTRACIONES DE MERCURIO EN AGUAS PROFUNDAS

DEL RIO COATZACOALCOS

Lugar de Muestreo	Variación $\mu\text{g.}/\text{l}$	Número de Muestras	Promedio $\mu\text{g}/\text{l}$
1	0.100 - 0.606	11	0.230
1'	0.100 - 1.166	7	0.530
1	0.100 - 0.806	11	0.275
II	0.100 - 0.714	13	0.395
2	0.105 - 1.833	11	0.494
3	0.060 - 0.625	11	0.165
4	0.090 - 2.619	12	1.104
5	0.860 - 846.153	12	93.192
5 I	0.105 - 11.960	13	2.056
5 II	0.050 - 2.778	13	0.419
5 III	0.109 - 20.210	12	4.473
5 IV	0.065 - 20.640	11	2.212
6	3.846 - 884.204	13	99.296
7	5.000 - 84.790	12	27.035

Los lugares marcados I y II se encuentran a 2.5 Km antes de la refinera y 1 Km después de la refinera respectivamente.

Tabla 2

MERCURIO EN SEDIMENTOS DEL CAUCE DEL RIO

COATZACOALCOS

Lugar de Muestreo	Variación en ppm.	Número de Muestras	Promedio en ppm
1 F	0.100 - 8.083	11	1.308
1' F	1.207 - 15.152	7	3.995
I F	0.100 - 9.880	11	1.085
II F	0.100 - 16.470	11	2.691
2 F	0.082 - 2.833	9	1.032
3 F	0.107 - 8.059	12	2.384
4 F	0.433 - 9.876	12	2.997
5 F	1.108 - 239.306	13	26.933
5 I F	1.965 - 20.565	11	10.170
5 II F	0.374 - 5.552	10	2.373
5 III F	3.578 - 37.947	11	13.945
5 IV F	0.602 - 7.261	7	4.355
6 F	0.440 - 54.240	14	9.917
7 F	2.513 - 1094.770	12	98.406

Las determinaciones se hicieron en base seca.

Tabla 3

CONCENTRACIONES DE MERCURIO EN SUELOS
DE LA ZONA DE COATZACOALCOS

LUGAR DE MUESTREO	LOCALIZACION	CONCENTRACION
I	Orilla	0.110 ppm
6	Orilla del arroyo	22.630 "
6'	a 20 m de la orilla	1.008 "
9	a 2 m. de la orilla	0.320 "
9'	Lodo de la orilla	5.270 "

CONCENTRACIONES DE MERCURIO EN AGUA DE LLUVIA

LUGAR DE MUESTREO	VARIACION	PROMEDIO
Zona del Estuario	0.020 - 1.300	0.415 ppm.

Tabla 4

CONCENTRACIONES DE MERCURIO EN LA VEGETACION RELACIONADA
CON EL RIO COATZACOALCOS

Sitio de Muestreo	Especie	Parte de la Planta	Variación en ppm.	Promedio
I	Inga spuria	Hoja	0.090 - 0.583	0.271
		corteza	0.080 - 1.115	0.424
		Tallo	0.050 - 1.633	0.757
		fruto	0.020 - 0.173	0.080
		flor	0.020 - 0.200	0.098
I	Cordia sp.	hoja	0.150 - 0.180	0.165
		corteza	0.110 - 1.120	0.535
		tallo	0.300 - 1.540	0.658
		fruto	0.170 - 0.300	0.220
		flor	0.020 ----	-----
5 II	Rhizophora mangle	hoja	0.080 - 2.431	0.500
		corteza	0.050 - 1.210	0.350
		tallo	0.050 - 0.528	0.332

Sitio de Muestreo	Especie	Parte de la Planta	Variación en ppm.	Promedio
		fruto	0.020 - 0.550	0.170
		raíz	0.112 - 7.473	2.710
6	Andira galeottiana	hoja	0.247 - 1.705	0.765
		corteza	0.821 - 3.250	0.030
		tallo	0.170 - 1.344	0.757
		raíz	0.236 - 3.531	1.903
6	Citrus aurantifolia	hoja	0.326 - 1.233	0.643
		corteza	0.201 - 0.650	0.472
		tallo	0.293 - 1.599	0.785
		fruto	0.040 - 0.370	0.170
6	Familia graminea	hoja	0.133 - 4.400	1.056
		raíz	0.354 - 1.807	0.874
7	Hibiscus tiliaceus	hoja	0.144 - 1.772	0.717
		corteza	0.020 - 1.079	0.446
		tallo	0.115 - 1.731	0.964

Sitio de Muestreo	Especie	Parte de la Planta	Variación en ppm.	Promedio
9	Familia graminea	flor	0.100 - 0.389	0.216
		hoja	0.140 - 4.276	2.473
		raíz	2.250 - 5.073	3.305

Tabla 5 (Continuación)

res más altos. (Tabla 5)

En pescados, crustáceos y mariscos, los niveles más altos se encontraron en especies bentónicas. (Tabla 6) La variación en concentración se puede atribuir a hábitos migratorios y de alimentación de las diferentes especies.

En la tabla 7 se pueden observar los resultados obtenidos en muestras de sangre y pelo en dos grupos de individuos. El primero de habitantes de Coatzacoalcos, no expuestos ocupacionalmente, el segundo de trabajadores expuestos ocupacionalmente.

Es interesante comparar estos datos con los obtenidos en muestras de pelo de un grupo de campesinos de pequeños poblados alejados de las márgenes del río.

Se observa que los niveles de mercurio son más bajos en los campesinos, lo que se puede explicar al conocer su dieta que es a base de maíz, frijol, vegetales y ocasionalmente carne de res o cerdo, alimentos que presentan bajas concentraciones de mercurio, mientras que los habitantes de Coatzacoalcos incluyen como principales constituyentes de su dieta pescados y otras especies. (Tabla 8)

Los valores encontrados en estos tres grupos de individuos, se pueden comparar con los obtenidos por Tejning y Sumari y colaboradores, (28) (29) que encontraron valores de

CONCENTRACIONES DE MERCURIO EN PECES, CRUSTACEOS Y
MOLUSCOS DE LA ZONA DEL ESTUARIO DEL RIO COAT -
ZACOALCOS

ORGANISMOS	MUSCULO	PROMEDIO	CONTENIDO ESTOMACAL	PROMEDIO
	Rango en ppm		Rango en ppm	
BAGRE	0.52 - 0.700	0.650	1.35 - 1.44	1.020
RONCO	0.07 - 3.540	1.005	0.11 - 4.12	1.240
ROBALO	0.08 - 1.700	0.630	0.10 - 1.30	0.655
LISA	0.22 - 1.700	0.515	0.22 - 2.06	0.730
ALMEJA	0.552- 1.852	1.240		
JAIBA	0.08 - 2.200	0.735		
CAMARON	0.08 - 0.850	0.450		
GUAVINA	0.11 - 2.170	0.606		
MOJARRA	0.09 - 0.180	0.137		
JUREL	0.09 - 1.510	0.540		

CONCENTRACIONES DE MERCURIO EN PELO Y SANGRE EN HABITANTES DE LA REGION DEL ESTUARIO DEL RIO COATZACOALCOS

MUESTRAS	PERSONAS MUESTREADAS	LUGAR DE MUESTREO	VARIACION	PROMEDIO
PELO	10 Campesinos	Area de Coatzacoalcos	0.90 - 2.76 ppm	1.35 ppm
"	18 Adultos	Coatzacoalcos	1.00 -12.40 "	3.35 "
"	24 Trabajadores	Complejo Pajaritos	1.81 -33.50 "	7.27 "
CORPUSCULOS	24 Adultos	Coatzacoalcos	0.01 - 0.37 ppm	0.12 ppm
SANGUINEOS				
" "	24 Trabajadores	Complejo Pajaritos	0.01 - 0.60 "	0.11 "
PLASMA	24 Adultos	Coatzacoalcos	0.01 -17.80 µg/l	8.00 µg/l
"	24 Trabajadores	Complejo Pajaritos	1.00 -30.15 "	6.37 "

Tabla 7

CONCENTRACIONES DE MERCURIO EN MUESTRAS
DE ALIMENTOS DE LA REGION DE COATZACOALCOS

MUESTRA	NUMERO DE MUESTRAS	VARIACION		PROMEDIO	
		EN	ppm	EN	ppm
HUEVO:					
Clara	16	0.010	0.652	0.189	
Yema	16	0.020	1.022	0.160	
POLLO:					
Músculo	8	0.020	0.270	0.070	
RES:					
Músculo	6	0.020	0.250	0.090	
CERDO:					
Músculo	4	0.015	0.192	0.070	
LECHE:	6	0.010	2.500 $\mu\text{g}/\text{l}$	0.946 $\mu\text{g}/\text{l}$	

Tabla 8

0.006 a 0.522 ppm para corpúsculos sanguíneos y de 3.0 a 50 - ppm para pelo.

En todos estos casos, ningún individuo presentó síntomas de envenenamiento, por lo que se puede decir que ningún síntoma debe esperarse dentro de la población muestreada.

Por el análisis de los datos obtenidos se muestra la presencia de mercurio en cada uno de los elementos del sistema acuático muestreado.

Al comparar los datos obtenidos inicialmente con los que se obtuvieron al finalizar este trabajo, se notó un descenso en los niveles de mercurio. Esto probablemente se deba a una disminución de mercurio residual en el efluente de la --- planta de cloro álcali, sin embargo, es de esperarse que en años venideros el mercurio siga contaminando la zona del estuario debido a que el tiempo de residencia del mercurio es muy grande.

VII .- BIBLIOGRAFIA:

- 1 .- ENGLESON, G., HERNER, T., Alkyl mercury poisoning, Acta -
paediat 41 (1952) 289.
- 2 .- IRUKAYAMA, K., The pollution of Minamata Bay and Minamata
disease, in Advances in Water Pollution Research 3 -
(1966) 153.
- 3 .- BORG, K., WANNTORP, H., ERNE, K., HANKO, E., Mercury poi-
soning in Swedish Wildlife, J, Appl. Ecol. 3 (1966)
171.
- 4 .- OCHOA, S., HAFTER, G., IBARRA, R., Estudio de la Contami-
nación en el bajo río Coatzacoalcos. En Primer Semi-
nario sobre Evaluación de la Contaminación Ambiental
Instituto de Recursos Naturales Renovables. (1972)
- 5 .- D'ITRI, M. F., Sources of Mercury in the Environment. In
Environmental Mercury Contamination. Ed. Ann Arbor -
Science Publishers Inc. Michigan (1972)

- 6 .- KLEIN, D. H., Some estimates of natural levels of mercury in the environment. In Environmental Mercury Contamination. Ed. Ann Arbor Science Publishers Inc. Michigan (1972) 25
- 7 .- JERNELOV, A., Factors in the transformation of mercury to methylmercury. In Environmental Mercury Contamination. Ed. Ann Arbor Science Publishers Inc. (1972) 167.
- 8 .- LAAM, C. G., RUZICKA, J., The determination of traces of mercury by spectrophotometry, atomic absorption, radioisotope dilution and other methods. In Technical Reports Series No. 137. Ed. International Atomic Energy Agency. Vienna. (1972) 111 - 119.
- 9 .- ANALYTICAL METHODS COMMITTEE, The use of 50 % hydrogen peroxide for the destruction of organic matter. Analyst, Lond. 92 (1967) 403.
- 10.- ANALYTICAL METHODS COMMITTEE, The determination of small amounts of mercury in organic matter. Analyst, 90 (1965) 515.
- 11.- GUTENMANN, W. H., LISK, D. J., Rapid determination of mercury in apples by modified Schöniger combustion. J. Agrc. Fd. Chem. 8 (1960) 306.
- 12 .-LIDUMS, V., ULFVARSON, U., Mercury analysis in biological

material by direct combustion in oxygen and photometric determination of the mercury vapour. Acta Chem. scand. 22 (1968) 2150.

- 13.- SMITH, R. G., Methods of analysis for mercury and its compounds. In Environmental Mercury Contamination. Ed. - Ann Arbor Science Publishers Inc. Michigan (1972) 97.
- 14.- VICKERS, T. J., MERRICK, S. P., Determination of parts per milliard concentrations of mercury by atomic fluorescence flame spectrometry. Talanta, 15 (1968) 873.
- 15.- JOHNSON, G., VICKERY, C., Analyst, Lond. 95 (1970) 357.
- 16.- WESTOD, G., Acta Chem. scand 20 (1966) 2131.
- 17.- WESTOD, G., Acta Chem. scand 21 (1967) 1790.
- 18.- GUINN, V. P., Determination of mercury by instrumental neutron activation analysis. In Technical Reports Series No. 137. Ed. International Atomic Energy Agency, Vienna. (1972) 87.
- 19.- WESTERMARK, Y., LJUNGGREN, K., The determination of mercury and its compounds by destructive neutron activation analysis. In Technical Reports Series No. 137. International Atomic Energy Agency, Vienna. (1972) 99.

- 20 .- GORSUCH, T. T., Radiochemical investigations on the recovery for analysis of trace elements in inorganic and biological materials. *Analyst Lond.* 84 (1959) 135.
- 21 .- BURRIEL - MARTI, F., RAMIREZ - MUÑOZ, J., Flame Photometry. A manual of methods and applications. Amsterdam Elsevier. (1957) 531 p.
- 22 .- SLAVIN, W., Atomic Absorption Spectroscopy, Interscience Publishers, John Wiley and Sons, New York/London/Sidney. (1968)
- 23 .- VARIAN TECHTRON., Basic Atomic Absorption Spectroscopy.- A modern introduction. Varian Techtron Pty. Ltd. 1st. Ed. (1975) 76
- 24 .- OMANG, S. H., Determination of mercury in natural waters and effluents by flameless atomic absorption spectrophotometry. *Anal. Chim. Acta* 53 (1971) 415.
- 25 .- HATCH, W. R., OTT, L. W., Determination of mercury by atomic absorption spectrophotometry. *Anal Chem.* 40 (1968) 2085.
- 26 .- PERKIN ELMER., Instructions. Mercury Analysis System. - Perkin Elmer Corporation. Rev. October (1972) 4-2.
- 27 .- HAMMOND, A. L. , *Science.* February (1971) 788.
- 28 .- TEJNING, S., Mercury content of blood plasma and hair in heavy fish eaters from different areas of lake Vän -

ern, Translation Series No. 1362, Fish Res. Bd. Canada (1970)

29 .- SUMARI, P., BACKMAN, A. L., KARLI, P., LATHI, A., Health investigators of fish consumers in Finland. Report - at Scandinavian Symposium on the mercury problem. - October, (1968)