

03065
1 of 1



Universidad Nacional Autónoma de México

COLEGIO DE CIENCIAS Y HUMANIDADES
UNIDAD ACADÉMICA DE LOS CICLOS
PROFESIONAL Y DE POSGRADO

INSTITUTO DE CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGIA
ESPECIALIZACIÓN, MAESTRIA Y DOCTORADO
EN CIENCIAS DEL MAR

DISTRIBUCION DE METALES PESADOS EN SEDIMENTOS
DEL RIO BLANCO, VERACRUZ.

T E S I S

Que para obtener el Grado de
MAESTRO EN CIENCIAS DEL MAR
(Especialidad Oceanografía Química)

p r e s e n t a

MARIA UBALDINA DEL ROSARIO ALVAREZ RIVERA

México, D. F.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

1983



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.

Esta tesis se desarrolló en el Laboratorio de Química Marina del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la Universidad Nacional Autónoma de México, bajo la dirección de la M. en C. Leticia Roseles Hoz.

CONTENIDO

	RESUMEN	1
1	INTRODUCCION	2
2	OBJETIVOS	7
3	DESCRIPCION DEL AREA	8
4	MATERIALES Y METODOS	13
	4.1 Muestreo	13
	4.2 Laboratorio	16
5	RESULTADOS Y DISCUSION	21
	5.1 Determinaciones en agua	21
	5.2 Determinaciones en sedimentos	23
	5.3 Análisis de metales en sedimentos	29
	5.4 Análisis mineralógico	36
	5.5 Relaciones entre concentraciones de metales, tamaño gráfico promedio, concentración de materia orgánica y contenido de carbonatos	37
6	CONCLUSIONES	45
7	TABLAS	47
8	LITERATURA CITADA	64

INDICE DE FIGURAS

NUMERO	TITULO	PAGINA
1	Localización de la cuenca del Río Blanco.	9
2	Localización de los puntos de muestreo y perfil del Río Blanco.	14
3	Esquema del aparato utilizado para la determinación de carbonatos en sedimentos.	18
4	Impresión de radiografías de algunos de los núcleos estudiados.	25
5	Composición granulométrica de los sedimentos.	27
6	Relación entre el tamaño gráfico promedio y el contenido de carbón orgánico.	28
7	Distribución del tamaño gráfico promedio, porcentaje de carbón orgánico y porcentaje de carbonatos a lo largo del río en muestras superficiales.	30
8	Variación estacional de las concentraciones de Ni, Zn, Fe y Mn en muestras superficiales.	34
9	Variación estacional de las concentraciones de Co, Cu, Cr y Pb en muestras superficiales.	35
10	Relación entre el tamaño gráfico promedio y las concentraciones de Cu, Cd y Zn.	39

11	Relación entre el tamaño gráfico promedio y las concentraciones de Pb y Mn.	40
12	Relación entre el contenido de carbón orgánico y las concentraciones de Cr, Mn y Zn.	42
13	Relación entre el contenido de carbón orgánico y las concentraciones totales de Cu.	43
14	Relación entre las concentraciones de Fe y Zn.	44

INDICE DE TABLAS

NUMERO	TITULO	PAGINA
1	Determinaciones en agua.	48
2	Determinaciones generales en sedimentos.	50
3	Resultados del análisis sedimentológico.	52
4	Porcentajes de arenas, limos y arcillas.	54
5	Determinaciones en núcleos.	56
6	Determinación de metales en la fracción no-detritica de los núcleos.	57
7	Porciento de metales en la fracción no detritica de los núcleos.	58
8	Determinaciones en muestras superficiales.	59
9	Concentración de metales en la fracción no-detritica de las muestras superficiales.	60
10	Porciento de metales en la fracción no detritica de las muestras superficiales.	61
11	Comparación de la concentración media de metales pesados en sedimentos del Río Blanco con lo reportado para otros ríos del mundo.	62
12	Minerales presentes en los sedimentos del Río Blanco.	63

RESUMEN.

Se determinaron las concentraciones de cobre, cobalto, cadmio, cromo, níquel, zinc, plomo, fierro y manganeso en los sedimentos del Río Blanco, Ver. por espectrofotometría de absorción atómica.

Estas determinaciones se hicieron en núcleos de sedimento a fin de investigar si ha habido un incremento en la concentración de metales pesados como producto del desarrollo industrial de la zona y en muestras superficiales para determinar las variaciones estacionales.

Se establecieron las relaciones existentes entre las concentraciones de los metales mencionados y el tamaño de grano, la concentración de carbón orgánico y el contenido de carbonatos en los sedimentos.

Los resultados muestran que existen relaciones directas entre la concentración de metales pesados, el tamaño de grano y el contenido de carbón orgánico, principalmente en la zona de la desembocadura.

Se observa que el desarrollo industrial de la zona no ha incrementado los niveles de metales pesados en los sedimentos y actualmente el Río Blanco, comparado con otros ríos del mundo, no presenta contaminación por este tipo de metales.

1. INTRODUCCION

Los metales traza son elementos que se encuentran en la hidrosfera en concentraciones del orden de microgramos por litro; generalmente tienen un peso específico mayor de 5, debido a esto se les conoce también con el nombre de metales pesados.

La presencia de metales trazo tales como Mn, Fe, Co, Cu y Zn, en el medio ambiente acuático, es esencial para el desarrollo de la vida (Williams, 1967); sin embargo, cuando su concentración en los organismos excede los valores requeridos por factores que van de 40 a 200 veces, se vuelven tóxicos (Venugopal y Luckey, 1975).

La determinación de la concentración de metales trazo en sedimentos puede jugar un papel clave en la detección de fuentes de contaminación en sistemas acuáticos. Además, el estudio cuantitativo de la distribución y especiación de estos metales en sedimentos, es importante para evaluar el impacto producido por su resuspensión en el agua y también para determinar la facilidad con que pueden influir en las comunidades biológicas, considerando que pueden integrarse al medio ambiente acuático por variaciones en las condiciones fisicoquímicas del sistema (Long y Angino, 1977), (Goldberg, 1976).

Desde el punto de vista analítico, es importante el estudio de los metales pesados en sedimentos ya que su contenido en el material particulado es de 100 a 100,000 veces mayor que en la fase acuosa asociada (Fürstner y Wittmann, 1979).

Hasta hace poco tiempo, en los trabajos de investigación en caminados a evaluar la concentración de metales traza, únicamente se determinaba la concentración total; sin embargo, cada vez ha sido mas evidente que el impacto producido en el medio ambiente por un metal en particular, está en función de la especie química en que este metal se encuentra y no de su concentración total (Sibley y Morgan, 1977), (Duinker, 1974).

El término especiación se refiere a la forma tanto física como química en que se encuentra un elemento.

En el medio ambiente acuático existen varios factores que afectan la especiación de los metales traza y por tanto su toxicidad. Entre estos factores pueden mencionarse la temperatura, el pH, el potencial redox y la salinidad (Stumm y Brauner, 1975), (Sunda y Hanson, 1980).

Según Fürstner (1979), pueden distinguirse cinco mecanismos que producen una alta concentración de metales en el medio ambiente acuático:

- Intemperismo de las rocas que aportan material al sistema fluvial.
- Procesos Industriales
- Lixiviación de desechos

- Descargas municipales
- Descargas sólidas que ingresan en el ambiente acuático.

Una vez en este ambiente, los metales traza pueden encontrarse en diversas formas (Demayo et al., 1978):

- 1). Disueltos como iones libres y complejos
- 2). Particulados
 - Como precipitados inorgánicos (hidróxidos, sulfuros, carbonatos y sulfatos).
 - Adsorbidos o complejados con compuestos de alto peso molecular o con partículas de arcilla.
- 3). Adsorbidos o mezclados con los sedimentos.
- 4). Incorporados a la biomasa de los organismos o adsorbidos sobre ellos.

El intemperismo producido por agentes geológicos da lugar a valores base o de referencia. En las áreas donde afloran rocas con minerales metálicos se encontrarán altas concentraciones de metales en los sedimentos, por lo que resulta importante conocer la provincia geológica de la cuenca de drenaje para poder discriminar la concentración de metales en sedimentos y particulados y ubicar su origen y procedencia. Brannon et al. (1974), Gibba (1973) y Engler (1974), coinciden en afirmar que dentro de los sedimentos y particulados, los metales se pueden encontrar distribuidos de la siguiente manera:

- Adsorbidos

- En la materia orgánica
- En los óxidos de hierro y manganeso
- En las estructuras minerales.

Dependiendo de la capacidad de los metales para incorporarse al medio acuoso a partir de los sedimentos se distinguen dos fracciones: detritica y no detritica.

La contribución no detritica representa una fracción de la concentración total de metales traza que han sido transportados en solución o en forma coloidal e incorporados al sedimento por precipitación, adsorción y en la materia orgánica suspendida o extraída por procesos bioquímicos. Esta fracción es la más accesible a la biota y representa el mayor peligro cuando contiene una alta concentración de metales traza. En contraste, los metales pesados en la fracción detritica no son fácilmente utilizables por la biota ya que se encuentran atrapados en la estructura de los minerales. Los sedimentos, como indicadores de contaminación, representan algunas ventajas sobre el agua y la biota (Gemsí, 1983):

- Son depósitos normalmente estables de contaminantes reales y potenciales.
- Pueden proporcionar un registro histórico de los aportes de metales por actividades antropogénicas.
- Proveen una información más precisa de la distribución local y regional de los contaminantes.
- Permiten la obtención de muestras más adecuadas y reproducibles y más fáciles de analizar que las obtenidas del agua y la biota.

- Permiten obtener datos a través de un amplio intervalo de condiciones ambientales.

Como objeto de esta investigación se eligió la Cuenca del Río Blanco, tomando en cuenta los resultados del estudio realizado por la Secretaría de Recursos Hidráulicos (1976), que lo catalogó como el 4o. río más contaminado de la República Mexicana en cuanto a la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y carga orgánica y por considerarse que, debido al tipo de industrias instaladas en sus márgenes (tenerías, fábricas de papel, productos químicos, textiles, cervecerías, etc.), podían esperarse niveles considerables de contaminación por metales pesados (Nemerow, 1978).

2. OBJETIVOS

Determinar las concentraciones de Cu, Cr, Co, Cd, Ni, Pb, Zn, Fe, y Mn en sedimentos del Río Blanco, Ver. para:

- Determinar el grado de contaminación existente en el río debida a estos metales.
- Determinar si el contenido de metales traza en la fracción no detrítica representa un peligro para la biota.
- Investigar si las concentraciones de metales traza en sedimentos se han incrementado como resultado de actividades antropogénicas.
- Conocer las variaciones estacionales que presentan estos metales a lo largo del río.
- Establecer las relaciones existentes entre la concentración de estos metales y el contenido de carbonatos, carbón orgánico y el tamaño gráfico promedio de los sedimentos.

3. DESCRIPCION DEL AREA.

El Río Blanco es una corriente que nace en el límite de los Estados de Puebla y Veracruz y atraviesa este último en dirección Oeste-Este, dividiéndolo en dos partes (Fig. No. 1). Nace en Acultzingo y desemboca en la laguna de Tlalixcoyan, la cual forma parte del complejo lagunar de Alvarado.

El Río Blanco corre a través de la zona montañosa y la planicie costera pasando por las inmediaciones de las Ciudades de Orizaba y Córdoba; los centros industriales de Cdad. Mendoza, Nogales y Río Blanco y los ingenios La Providencia y San Nicolás.

Sus principales afluentes son el Río Carbonera o Cabecera, de escurrimiento estacional, que se le une a la altura de la población de Río Blanco; el Río Orizaba, los arroyos Caliente, Tilapan y Totolitos, todos ellos dentro del Municipio de Orizaba. A la altura de la Presa Tuxpango se le une el Río Escamela y mas adelante los rios Metlac y San Antonio.

En el sitio llamado Madereros, el Río Blanco se bifurca, la rama norte llega directamente a la Laguna de Alvarado y la rama sur a la Laguna de La Piedra con el nombre de Río de las Pozas y de ahí, con el nombre de Río Camarón, desemboca en la Laguna de Alvarado.

La longitud total de la corriente por la rama norte es de aproximadamente 150 kilómetros; por la rama sur, hasta la

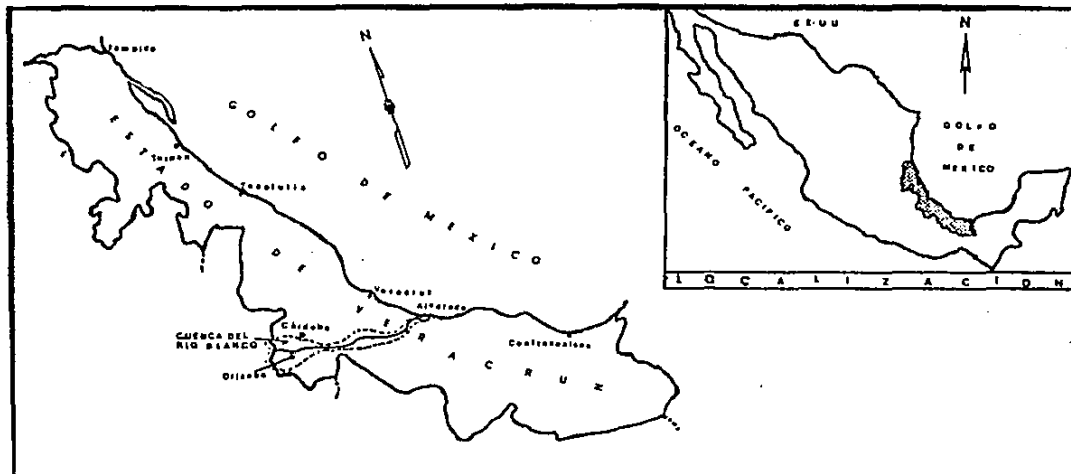


FIGURA No. 1.- LOCALIZACION DE LA CUENCA DEL RIO BLANCO.

Laguna de la Piedra es de 190 kilómetros. La longitud del río hasta el punto de bifurcación es de, aproximadamente, 140 kilómetros (S.R.H., 1972).

No es común encontrar este tipo de bifurcaciones en un río, ya que, normalmente, éstas solo se presentan en zonas de deltas.

La presencia de la bifurcación en el Río Blanco hace suponer que en épocas recientes la línea de costa pasaba por este punto y el río desembocaba formando un delta.

La Cuenca del Río Blanco tiene una extensión de aproximadamente 3,000 kilómetros cuadrados. Geográficamente se le ubica entre las coordenadas $95^{\circ} 50' W$ y $97^{\circ} 20' W$, y $18^{\circ} 37' N$ y $19^{\circ} 10' N$.

En el trayecto del Río Blanco, las aguas pasan por distintos aspectos orográficos; la corriente baja desde su nacimiento a una elevación aproximada de 1,800 metros sobre el nivel del mar, en las cercanías de Acultzingo, hasta 1,000 m.s.n.m. en solamente 35 Km. La fuerte pendiente origina altas velocidades en esta zona del río (Fig. No. 2).

Después de una gran depresión localizada inmediatamente después de la presa de almacenamiento Tuxpango, y de un tramo de 70 Km. de pendiente intermedia, llega a la planicie costera del Estado de Veracruz con una elevación de 60 m.s.n.m. que se abate a lo largo de 50 Km de esta planicie, lo que da al río una apariencia de calma hasta su desembocadura en la Laguna de Alvarado (Malagón, 1971).

Tomando en cuenta la pendiente del río, la velocidad de la

corriente, el tipo de fondo y la temperatura del agua, en el Río Blanco pueden distinguirse tres zonas:

Zona Alta.- Abarca desde el nacimiento del río hasta poco antes de la Presa La Tinaja. Se caracteriza por tener pendientes fuertes, alta velocidad de la corriente, fondo rocoso y temperaturas comparativamente bajas.

Zona Media.- Comprende desde poco antes de la Presa La Tinaja hasta la bifurcación del río. Se caracteriza por tener pendientes, velocidades y temperaturas intermedias y, en general, fondo arenoso.

Zona Baja.- Abarca desde el punto de bifurcación hasta la desembocadura del río. Tiene pendientes muy suaves, poca velocidad de la corriente, temperaturas del agua comparativamente altas y sedimentos finos.

Las temperaturas medias registradas en la cuenca van de 15.8 °C a 25.2 °C, aumentando conforme se desarrolla el río.

La precipitación anual varía de 800 a 2,500 mm., correspondiendo los valores máximos a la región de Orizaba. La precipitación media anual es de 1500 mm.

Los días al año con lluvia apreciable varían de 60 a 200, correspondiendo nuevamente el máximo a la región de Orizaba.

En la cuenca del río se aprecian dos periodos de evaporación bien diferenciados; de Marzo a Agosto y de Septiembre a febrero. En el primero la evaporación es mayor que en el segundo (S.R.H., 1972).

A fines del siglo pasado, la Cuenca del Río Blanco fue considerada como la zona mas industrializada del País; si bien úl-

tivamente ha perdido importancia relativa, esta región ha se
guido aumentando el número de sus establecimientos industria
les. A las fábricas de hilados y tejidos, existentes desde
principios de siglo, se han sumado cervecerías, tenerías,
fábricas de productos químicos, fábricas de papel, plantas
hidroeléctricas, beneficiadoras de café y varios ingenios
azucareros. Todas ellas tienen como común denominador que sus
desechos llegan al Río Blanco directamente o a través de los
ríos Orizaba y Caliente sin tratamiento alguno, en términos
generales.

Por otra parte, las aguas de retorno agrícola y las descar-
gas municipales de las poblaciones establecidas en sus már-
genes son también vertidas en el río. Todo esto ha origina-
do que actualmente se considere al Río Blanco como uno de
los mas contaminados de la República Mexicana.

4. MATERIALES Y METODOS.

4.1 Muestreo.

Se realizaron dos muestreos: el primero (A) en el mes de Julio (época de lluvias); y el segundo (B), en los últimos días del mes de Noviembre y los primeros del mes de Diciembre (época de estiaje).

Las muestras se colectaron en doce puntos distribuidos a lo largo del río; de éstos, 5 corresponden a la zona baja (1 a 5), 2 a la zona media (6 y 7) y 5 a la zona alta (8 a 12). La localización de estos puntos se muestra en la figura No. 2.

Mediciones en el campo.

En el campo se hicieron determinaciones de salinidad, temperatura, pH y oxígeno disuelto.

La salinidad y temperatura se midieron con un salinómetro Kahlsico modelo R 55-3.

El pH se determinó con un medidor marca Corning modelo 30.

El oxígeno disuelto se midió con un oxímetro "Vsi" modelo 57.

Muestreo de sedimentos.

Las muestras de sedimentos se tomaron por duplicado con un nucleador tipo Phleger en algunos casos y en otros, introdu

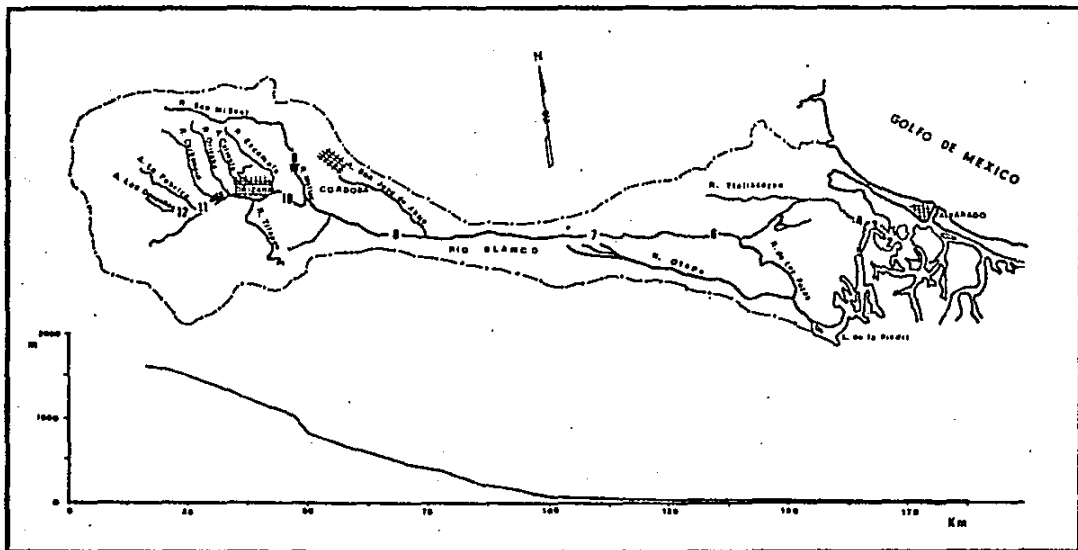


FIGURA No. 2.- LOCALIZACION DE LOS PUNTOS DE MUESTREO Y PERFIL DEL RIO BLANCO.

ciendo manualmente en el sedimento un tubo de plástico de 60 cm de longitud y 4.7 cm de diámetro interno, teniendo cuidado al realizar la operación de no perturbar los sedimentos. En algunos puntos de muestreo, sobre todo en la parte alta del río, donde la pendiente es fuerte y el fondo es rocoso y con poca cantidad de sedimentos, no fue posible tomar núcleos y se tomaron únicamente muestras superficiales, las cuales fueron colocadas en frascos de plástico y almacenadas, junto con los núcleos, a una temperatura de 4 °C.

Muestreo de particulados.

Para particulados se tomaron muestras de 3 a 6 litros de agua en garrafrones de plástico, previamente lavados con HNO_3 3 N y enjuagados con agua bidestilada y desmineralizada y, posteriormente, con agua del río al momento de tomar la muestra. Dependiendo de la profundidad del río en el sitio de muestreo, se obtuvieron muestras de agua a una, dos o tres diferentes profundidades.

El agua se filtró el mismo día de su recolección a través de membranas millipore (0.45 μm). En promedio, se filtraba agua hasta que se tapaban cinco filtros, dos de los cuales, previamente tarados, se usaron para cuantificar la cantidad de particulados; los tres filtros restantes se guardaron en frascos de plástico y se cubrieron con HNO_3 3 N para analizar posteriormente su contenido.

4.2 Laboratorio.

A los núcleos obtenidos se les tomaron radiografías bajo las siguientes condiciones: 58 Kv y 16 mAs (Carlos Vidales, comunicación personal). Los núcleos que presentaron una distribución homogénea se dividieron en fracciones de 15 cm de longitud; los que mostraron algún cambio importante en la estratificación, se separaron tomando esto en cuenta.

Granulometría.

La materia orgánica se destruyó con H_2O_2 al 25% y se determinó la granulometría de las muestras por el método convencional de tamices y pipetas (Folk, 1951).

Se usó una solución de fosfato de sodio como agente dispersante.

Carbón orgánico.

El contenido de carbón orgánico se determinó por titulación del exceso de dicromato de potasio usado en la oxidación de la materia orgánica, con una solución 0.5 N de sulfato ferroso (Gaudette, 1974).

Carbonatos.

La determinación de carbonatos se realizó midiendo el volumen de CO_2 desplazado al reaccionar la muestra de sedimento con una solución de HCl al 50%.

Se utilizó un aparato construido en el Instituto de Ciencias del Mar y Limnología (Figura No. 3), que es una modificación del calcímetro Bernard, utilizado para la determinación rápida de carbonato en tierras.

Mineralogía.

El estudio mineralógico de las muestras superficiales fue realizado por la Srta. Beatriz Gómez en la División de Estudios Superiores de la Facultad de Química de la U.N.A.M.. La técnica utilizada fue difracción de rayos X.

Metales totales.

Todo el material utilizado para el análisis de metales se lavó de la manera usual; se dejó en HNO_3 3 N durante tres días como mínimo y luego en HNO_3 6 N por un tiempo igual; finalmente se enjuagó con agua bidestilada y desmineralizada y una vez seco, se guardó en bolsas de polietileno para su posterior uso.

Según lo reportado en la literatura (Agemian y Chau, 1976), (Buckley y Cranston, 1971), (Bernas, 1968), el método más eficiente para la extracción de metales en sedimentos es el de las bombas de digestión. Para este estudio se utilizaron, inicialmente, bombas PTFE de 23 ml de capacidad.

Con este método solo fue posible determinar concentraciones de fierro y manganeso ya que su limitante es la pequeña cantidad de muestra que puede ser procesada (0.2 g), lo que originó que las concentraciones de los otros metales investiga-

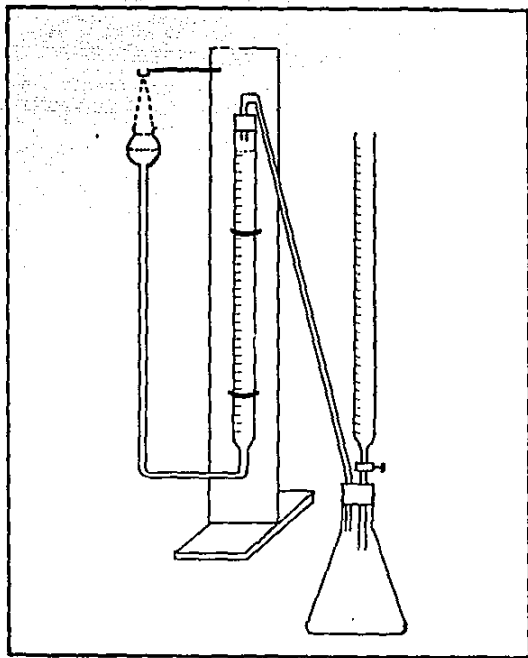


FIGURA No. 3 ESQUEMA DEL APARATO UTILIZADO PARA LA DETERMINACION DE CARBONATOS EN SEDIMENTOS.

dos en las soluciones obtenidas, quedaran por debajo de los límites de detección del aparato utilizado.

Debido a esto fue necesario realizar la digestión de los sedimentos en vasos de teflón abiertos, ya que este método permite utilizar mayores cantidades de muestra.

Estas digestiones se realizaron de la siguiente manera: aproximadamente 2 g de muestra, previamente secada y pulverizada se sometieron al ataque de tratamientos sucesivos con HNO_3 , HClO_4 , HF y HCl (grado reactivo); se evaporó a sequedad cada vez y, finalmente, se disolvió con HNO_3 3 N y se aforó a 50 ml (Bruland et al., 1974), (Jones y Jordan, 1979). Las soluciones obtenidas se guardaron en recipientes de plástico para su posterior análisis. Por cada seis muestras se analizó un blanco de referencia el cual se sometió al mismo tratamiento pero sin sedimentos (Hamilton, 1980).

Metales en la fracción no detrítica.

A 5 g de muestra seca, sin pulverizar, se les agregaron 50 ml de ácido acético al 25% y se dejaron reposar con agitación ocasional; después de 24 horas la muestra se centrifugó y el residuo se lavó dos veces con agua bidestilada y desmineralizada, centrifugando cada vez. Los sobrenadantes se colectaron y se aforaron a 100 ml guardándose en recipientes de plástico para su posterior análisis (Loring y Rantala, 1977). El residuo ya lavado, se secó a 110°C y por diferencia se obtuvo el peso de la fracción no detrítica.

Para la determinación de las concentraciones de metales se utilizó un espectrofotómetro de absorción atómica Varian Techtron modelo 1200. Para determinar plomo y aluminio, se utilizó un espectrofotómetro de absorción atómica Varian 475 con lámpara de deuterio como corrector de fondo.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

5.1 Determinaciones en agua.

En la tabla No. 1 se presentan los datos obtenidos en la columna de agua durante los dos muestreos efectuados.

Salinidad.

La salinidad medida en el río varía de 0.0 a 0.48 partes por mil; es mayor en la época de estiaje (muestreo B) y disminuye en la época de lluvias (muestreo A), debido a efectos de dilución.

Temperatura.

Las temperaturas medidas varían de 16.22 °C a 33.36 °C correspondiendo las mayores a la zona de la desembocadura y las menores a la zona alta del río.

Oxígeno disuelto.

En el primer muestreo (A), en las estaciones 2, 3, 4, 5 y la estación 10 (Presa Tuxpango), las concentraciones medidas de oxígeno disuelto fueron menores a 4 ml/l; en la estación No 7 (Presa La Tinaja), la concentración medida está en este límite. En el segundo muestreo (B), el oxígeno disuelto aumentó y todos los valores obtenidos fueron superiores a 4 ml/l.

La disminución de oxígeno disuelto observada durante el pri-

mer muestreo, puede deberse a un aumento en la cantidad de materia orgánica en los desechos que arrojan al río los ingenios azucareros, ya que este muestreo se realizó en la temporada de zafra (recolección y procesamiento de la caña de azúcar), que en esta región se lleva a cabo en los meses de Enero a Julio.

El aumento de la temperatura y el crecimiento del caudal del río son otros de los factores que influyen en la disminución del oxígeno disuelto, ya que el aumento de temperatura disminuye la solubilidad del oxígeno y el aumento de caudal hace más difícil la oxigenación de la corriente.

Si se observan las concentraciones de oxígeno disuelto a lo largo del río, se ve que, en ambos muestreos, los menores valores se presentan en la zona de la desembocadura y en las presas; esto puede deberse a la disminución de la velocidad de la corriente en estos puntos, lo cual propicia la sedimentación de materia orgánica y con ello, el aumento de la DBO. En varios puntos del Río Blanco, la concentración de oxígeno disuelto fué inferior a 4 ml/l que es la cantidad mínima requerida para la propagación de peces (Moss, 1980). Probablemente esta sea una de las principales causas por las que actualmente no exista ningún tipo de peces en el Río Blanco, según lo reportado por la Oficina de Piscicultura de la Comisión del Río Papaloapan. Cabe hacer notar que, según informan los habitantes de las márgenes del río, hasta hace menos de diez años se pescaban en él algunas especies comestibles.

pH.

Solo se realizaron mediciones de pH en el segundo muestreo. Los valores obtenidos varían de 7.2 a 9.6; los mayores corresponden a la zona alta del río, donde se hallan ubicadas la mayor parte de las industrias que presentan condiciones alcalinas en sus efluentes (cerveceras, fábricas de papel, etc.) Todos los valores medidos del pH se encuentran dentro de los reportados como permitidos para aguas dulces (Nemerow, 1971).

Particulados.

Se determinaron concentraciones que varían desde, aproximadamente 0.1 hasta 299 mg/l, correspondiendo el menor valor a la estación No. 12 (Manantial Las Doncellas, muestro B) y el mayor a la estación No. 7 (Presa La Tinaja, muestreo A). No fué posible determinar las concentraciones de metales pesados en los particulados, en vista de que las cantidades obtenidas de muestra fueron mucho menores que las requeridas para analizarse por el método empleado.

5.2 Determinaciones en sedimentos.

A todas las muestras obtenidas se les efectuó un análisis sedimentológico y se les determinó el contenido de humedad, la concentración de carbón orgánico y la concentración de carbonatos. Los resultados se presentan en la tabla No. 2

Segmentación de núcleos.

Los núcleos obtenidos fueron radiografiados para determinar si su composición era homogénea o existía estratificación en ellos. Algunas de estas radiografías se muestran en la figura No. 4.

Los núcleos de las estaciones 2, 3, 6, 7 y 10 mostraron estratificaciones importantes y los de las estaciones 1, 4 y 5 fueron homogéneos, lo que hace suponer que en estas últimas no existe variación en las condiciones de sedimentación ni en el tipo de sedimentos aportados por el río. Se observó claramente la presencia de conchas en los núcleos 1, 2, 4 y 5, todos ellos correspondientes a la zona de la desembocadura, donde existieron bancos ostrícolas.

Granulometría.

Esencialmente, los sedimentos del río están constituidos por limos y arenas, encontrándose las arenas en las zonas media y alta del río (estaciones 5 a 12) y los limos en la zona de la desembocadura (estaciones 2, 3 y 4).

En la estación No. 1, situada en la zona de la desembocadura, en la cual predominan los limos, los sedimentos son arenosos. Esto se debe a que en el punto donde fué tomada la muestra la corriente es fuerte y no permite la sedimentación de partículas finas.

Igualmente, en la estación No. 7, ubicada en la zona media del río, donde predominan los sedimentos arenosos, se encontró limo. Esto se debe a que en este punto (Presá La Tinaja)



Figure 1. A grid of vertical and horizontal lines, showing the effect of a high-contrast, black and white image. The image is heavily distorted and appears to be a scan of a document page. The labels 'A1', 'A2', 'A3', 'A4', and 'A5' are visible at the bottom of the image, oriented vertically.

la velocidad de la corriente disminuye, situación que permite la sedimentación de la fracción fina.

En la tabla No. 3 se presentan los resultados del análisis sedimentológico. Se observa que el tamaño gráfico promedio (M_z), varía de 0.659 ϕ , en la zona del nacimiento del río, hasta 6.948 ϕ en la estación No. 4, que corresponde a la desembocadura. $\phi = -\log_2$ (diámetro expresado en mm.).

En general, los sedimentos están mal clasificados. Esto puede deducirse de los valores obtenidos para los coeficientes de asimetría (Sk_g).

La distribución de los sedimentos se muestra gráficamente en el Triángulo de Shepard (Shepard, 1973), en la figura No. 5. Los porcentajes de arenas, limos y arcillas se enlistan en la tabla No. 4.

Carbón orgánico.

La mayor concentración de carbón orgánico se determinó en la capa superior del núcleo A 7, que corresponde al primer muestreo en la Presa La Tinaja, en donde, como ya se dijo anteriormente, se encontró el sedimento más fino de las zonas media y alta del río.

En las gráficas de la figura No. 6 se relaciona el tamaño gráfico promedio de los sedimentos con el contenido de materia orgánica.

En general, la tendencia observada es que a medida que disminuye el tamaño de grano, aumenta el contenido de materia orgánica. Esta tendencia se presenta a todo lo largo del

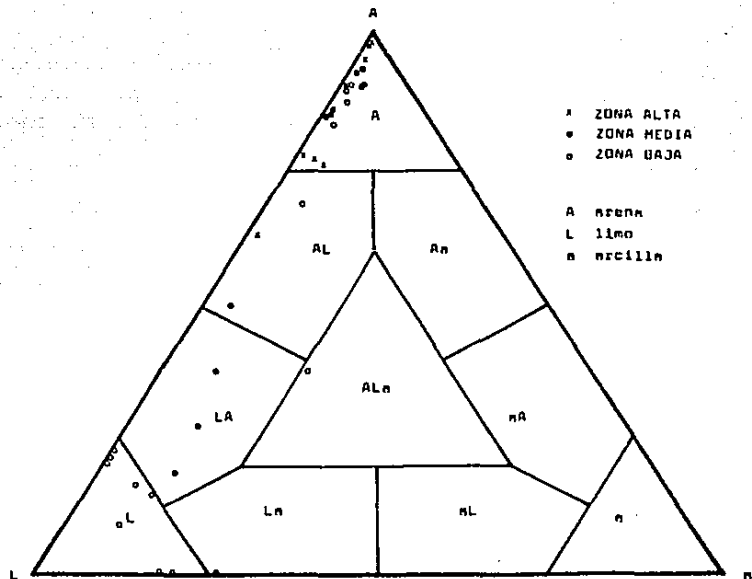


FIGURA No. 5.- COMPOSICION GRANULOMETRICA DE LOS SEDIMENTOS.

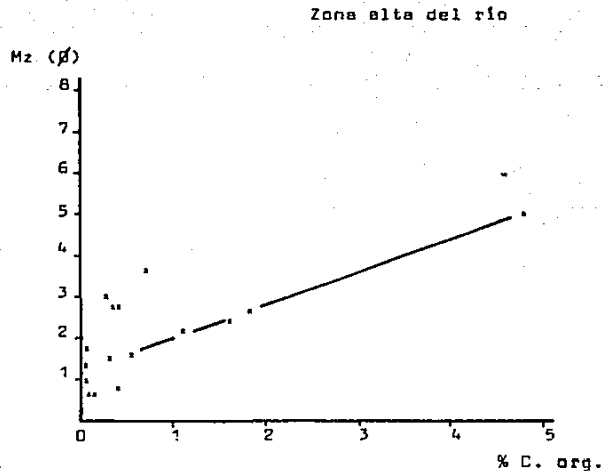
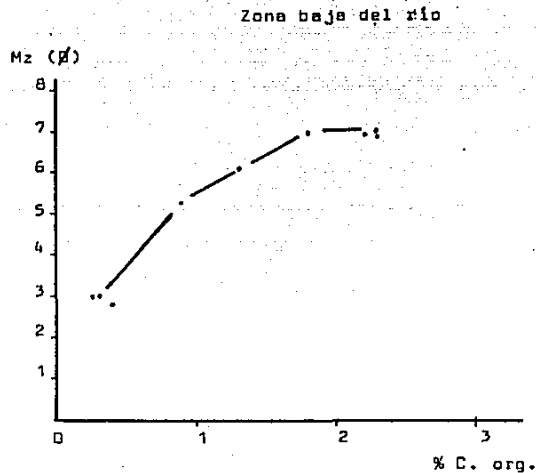


FIGURA No. 6.- RELACION ENTRE EL TAMAÑO GRAFICO PROMEDIO (Mz) Y EL CONTENIDO DE CARBON ORGANICO.

río, siendo mas notoria en la zona baja.

Carbonatos.

La mayor concentración de carbonatos se encontró en las capas superiores del núcleo A 4, en el que también se observan las mayores concentraciones de metales de los núcleos analizados. Cabe señalar que estas concentraciones se determinaron en las distintas fracciones del núcleo y no únicamente en la capa superior.

El porcentaje de carbonatos determinado en las muestras varía de 6.36% a 19.6%. Al graficarse los contenidos de carbonatos contra el tamaño gráfico promedio de los sedimentos, la concentración de carbón orgánico y las distintas concentraciones de los metales analizados, no se observó ningún patrón definido de comportamiento.

En la figure No. 7 se presentan las variaciones del tamaño gráfico promedio, de la concentración de carbón orgánico y del contenido de carbonatos en sedimentos superficiales a lo largo del río.

5.3 Análisis de Metales en sedimentos.

La selección de muestras para el análisis de metales se hizo buscando que fueran representativas de las distintas zonas del río.

Los núcleos seleccionados fueron el A 1, que corresponde al peso entre la laguna de Tlalixcoyan y la laguna de Alvarado (Boca Tragadero); el A 4, que corresponde a la desembocadu-

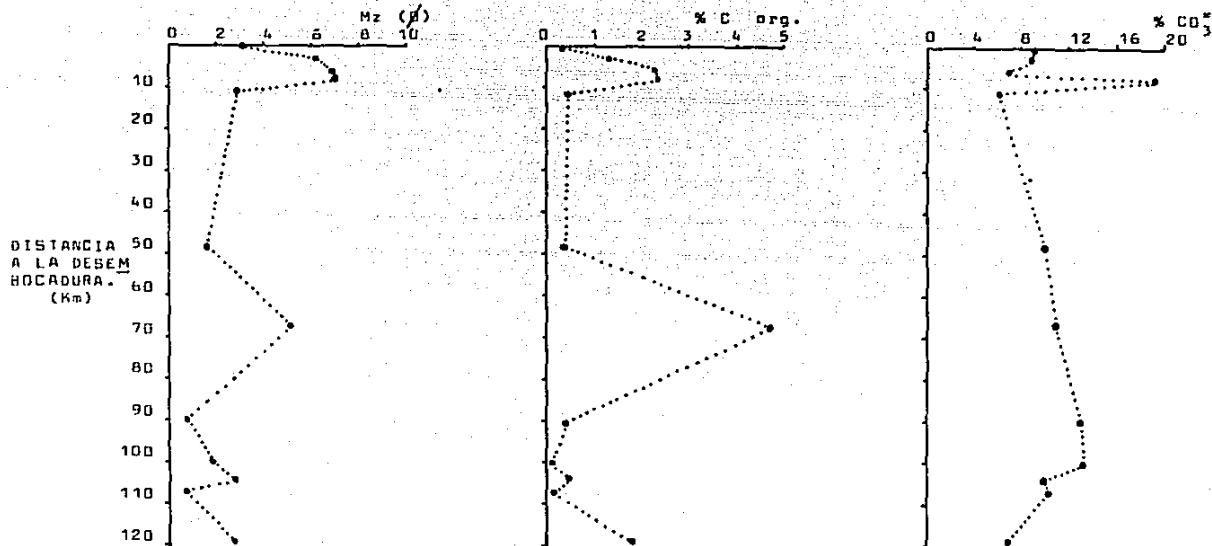


FIGURA No. 7.- DISTRIBUCION DEL TAMAÑO GRAFICO PROMEDIO, PORCIENTO DE CARBON ORGANICO Y PORCIENTO DE CARBONATOS A LO LARGO DEL PIO EN MUJES TRAS SUPERFICIALES.

ra del río; el A 6, que se tomó bajo el Puente Madereros, antes de la bifurcación del río; y como representativas de la zona alta, para comparación, se seleccionaron las muestras de las estaciones A 9 y A 12, que son muestras superficiales, debido a que el lecho rocoso del río en esta zona no permitió la extracción de núcleos.

Los núcleos seleccionados corresponden todos al primer muestreo, por considerarse que las diferencias que podrían existir entre éstos y los obtenidos en el segundo muestreo, son poco importantes.

Como los cambios en los sedimentos superficiales pueden ser significativos en las distintas épocas del año, se analizaron las muestras superficiales obtenidas en los dos muestreos, excepto las B 9 y B 10.

Determinación de metales en núcleos.

En las tablas Nos. 5 y 6, se presentan los resultados de las determinaciones de las concentraciones de metales totales y de las concentraciones de metales en la fracción no detrítica, respectivamente.

Puede observarse que los perfiles de metales totales para níquel, zinc, cromo y manganeso, presentan un pequeño incremento de concentración hacia el fondo del núcleo. La distribución vertical de plomo, cobre, cobalto y cadmio es homogénea y los perfiles de aluminio y fierro no presentan ningún patrón de comportamiento.

También puede apreciarse que, de los núcleos analizados, el

que presentan las mayores concentraciones de metales es el A 4, debido, probablemente, a que es el que presenta el menor tamaño de grano y la mayor concentración de carbón orgánico. La única excepción es el cadmio, cuyo mayor valor se encontró en el núcleo A 6.

En general, el porcentaje en peso de la fracción no detritica en los núcleos (Tabla No. 6), es mayor en la superficie y tiende a disminuir hacia el fondo y, nuevamente, los valores máximos se presentaron en el núcleo A 4.

La mayor concentración de metales en la fracción no detritica se encontró, también, en el núcleo A 4.

En la tabla No. 7 se muestran los porcentajes de cada uno de los metales estudiados, presentes en la fracción no detritica.

De los núcleos analizados, el A 4 es el que presenta, en términos generales, los mayores valores para todos los parámetros estudiados.

En esta estación, que se localiza en la desembocadura del río, hay cambios importantes de las condiciones fisicoquímicas del agua, en comparación con lo observado en la estación No. 6, localizada en la zona media del río:

- La temperatura aumenta aproximadamente en 4 °C
- El pH disminuye en 1.4 unidades.
- La concentración de oxígeno disuelto disminuye aproximadamente en 3.7 ml/l.

Estas variaciones pueden originar cambios en la especiación de los metales, de tal manera que aquellos que se encuentren

como iones libres en el agua del río formen compuestos insolubles que, dadas las condiciones de aguas tranquilas en esta zona, precipiten fácilmente.

Aunque recolectado en la misma zona baja del río, el núcleo A 1 no presentó altas concentraciones de metales, debido probablemente a que el punto de muestreo está localizado en una zona de fuertes corrientes (Boca Tragadero), lo que propicia un aumento en la concentración de oxígeno y por lo tanto, condiciones mas oxidantes; además, estas corrientes impiden la sedimentación de las partículas finas.

Debido al incremento del número de industrias que se han establecido en las márgenes del río, se esperaba encontrar las mayores concentraciones de metales en las capas superiores de los núcleos, sin embargo, esto no se observó.

Determinación de metales en muestras superficiales.

En las tablas Nos. 8, 9 y 10, se presentan los resultados de las diversas determinaciones hechas en muestras superficiales.

Puede observarse que, en general, los sedimentos son mas finos a medida que el río se aleja de su nacimiento y la concentración de materia orgánica es mayor en la zona de la desembocadura y menor en la zona alta del río.

Comparando las variaciones estacionales de las concentraciones de metales a lo largo del río (Tabla No. 8 y Figuras Nos. 8 y 9) se observa que las mayores diferencias se presentan en la zona donde se encuentran ubicadas la mayor parte

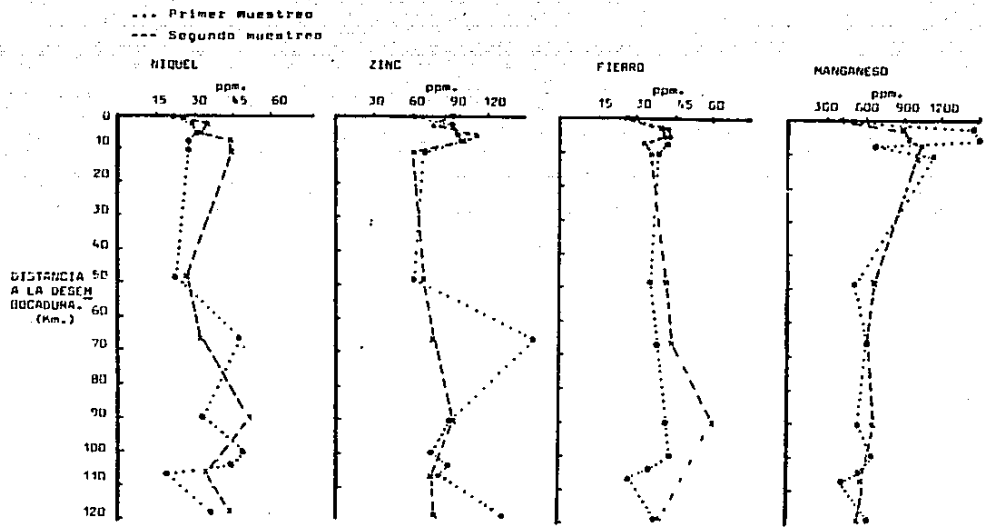


FIGURA No. 8.- VARIACION ESTACIONAL DE LAS CONCENTRACIONES DE Ni, Zn, Fe y Mn EN MUESTRAS SUPERFICIALES.

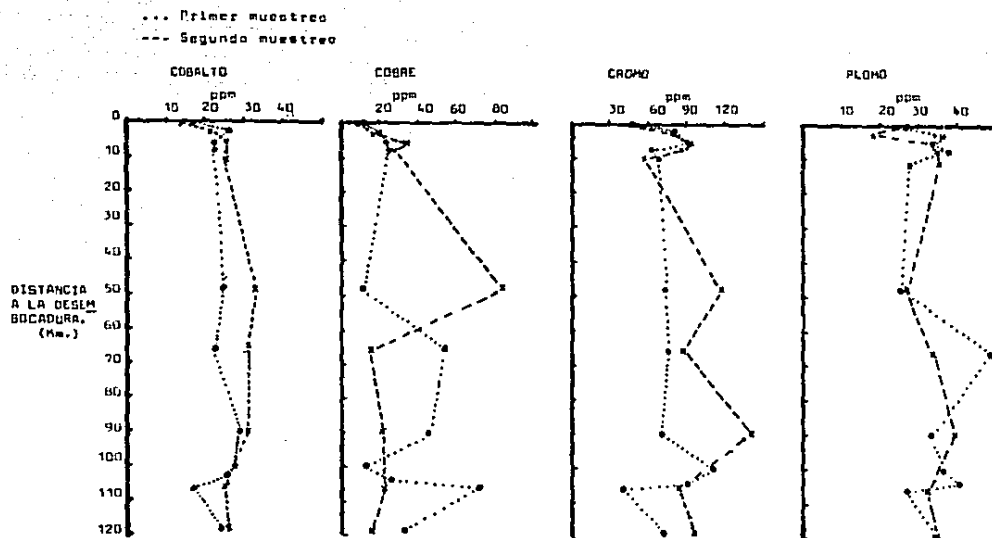


FIGURA No. 9.- VARIACION ESTACIONAL DE LAS CONCENTRACIONES DE Co, Cu, Cr y Pb EN MUESTRAS SUPERFICIALES.

de las industrias. Estas diferencias son pequeñas en el nacimiento del río y mínimas en la zona de la desembocadura. En general, las concentraciones medidas de metales fueron mayores en la época de estiaje (muestreo B) y menores en la época de lluvias (muestreo A), a excepción de las de cobre, zinc y plomo, debido a que estos metales se complejan fácilmente con la materia orgánica (Jackson et al., 1978), que en la temporada de zafra aumenta su concentración en el río, originando una mayor precipitación de estos metales en forma de complejos.

En la tabla No. 11 se compara la concentración media obtenida para cada uno de los metales analizados en sedimentos del Río Blanco, con lo reportado para sedimentos de otros ríos del mundo (Chen et al., 1974), (Gibbs, 1977) (Jones y Jordan, 1979). Puede observarse que, comparativamente, los sedimentos del Río Blanco no presentan niveles considerables de contaminación por metales pesados.

5.4 Análisis mineralógico.

El análisis mineralógico se efectuó únicamente en las muestras superficiales. En la tabla No. 12 se muestran los minerales existentes en cada punto de muestreo.

A continuación se enlistan los minerales encontrados en estas muestras (Beatriz Gómez, comunicación personal) y su composición (Dana, 1960).

Montmorrillonita $(Si_4O_{10})_3(Al, Mg)_8(OH)_{10} \cdot 12H_2O$

Clorita $Si_3O_{10}(Mg, Fe)_5(Al, Fe^{+3})_2(OH)_8$

Illita $K_2O \cdot (Al_2O_3)_4 \cdot (SiO_2)_{16} \cdot 4H_2O$

Vermiculita $(Mg, Fe, Al)_3(Al, Si)_4O_{10}(OH)_2 \cdot 4H_2O$

Cristobalita SiO_2

Feldespato Si_3O_8AlK

Cuarzo SiO_2

Caolinita $Si_2O_5Al_2(OH)_4$

Oxidos de fierro (Magnetita) $FeO \cdot Fe_2O_3$

Oligoclasa Si_3AlO_8Na a $Si_2Al_2O_8Ca$

Hornblenda $Si_8O_{22}(Al, Fe^{+3}, Ti)_3Ca_2Na(Mg, Fe^{+2})_4(O \cdot OH)_2$

Puede deducirse que, de los metales estudiados, existe un aporte natural de fierro, aluminio y, probablemente cromo ya que algunos tipos de vermiculita y clorita pueden contenerla en pequeñas proporciones en forma de óxido de cromo (Grim, 1973).

Teniendo en cuenta los minerales presentes, son de esperarse concentraciones considerables de silicio, calcio, sodio, potasio, magnesio y titanio, elementos que no se determinaron en este estudio.

5.5 Relaciones entre concentraciones de metales, tamaño gráfico promedio, concentración de carbón orgánico y contenido de carbonatos.

Se graficaron las concentraciones de cada uno de los metales

estudiado contra el tamaño gráfico promedio, la concentración de carbón orgánico y la concentración de carbonatos, con objeto de investigar las relaciones existentes entre ellos. Con igual objeto, se graficaron concentraciones de diferentes metales.

Para cada metal se construyeron dos gráficas, una con los valores obtenidos en las muestras de la zona baja del río y otra con los de la zona media y alta.

Las gráficas presentadas para cada caso son aquellas que tienen un coeficiente de correlación mayor a 0.8.

Tamaño gráfico promedio.

En las figuras Nos. 10 y 11 se muestran las gráficas correspondientes a cobre, cadmio, zinc, plomo y manganeso, todas ellas de la zona baja del río.

Las gráficas construidas con los datos de las zonas media y alta del río, presentaron coeficientes de correlación menores a 0.8, lo que hace suponer que el tamaño gráfico promedio no es uno de los factores que mas influye en la distribución de los metales traída en estas zonas, sino que, posiblemente, ésta esté afectada por otras causas tales como descargas industriales y velocidad de la corriente.

Carbón orgánico.

Al graficar las concentraciones de metales pesados contra la concentración de carbón orgánico, las mejores relaciones se obtuvieron para cobre, cromo, manganeso y zinc, con los

ZONA BAJA

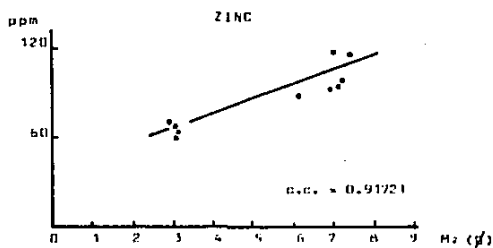
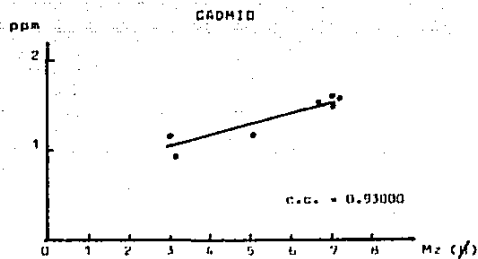
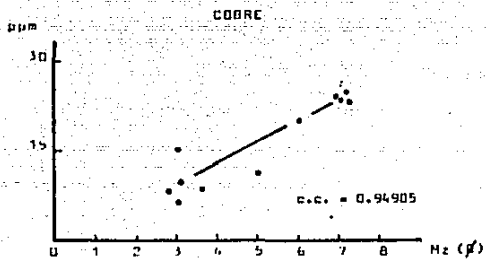


FIGURA No. 10.- RELACION ENTRE EL TAMAÑO GRAFICO PROMEDIO (M_2) Y LAS CONCENTRACIONES DE COBRE, CADMIUM Y ZINC.

ZONA BAJA

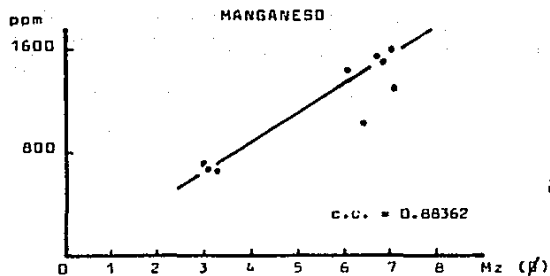
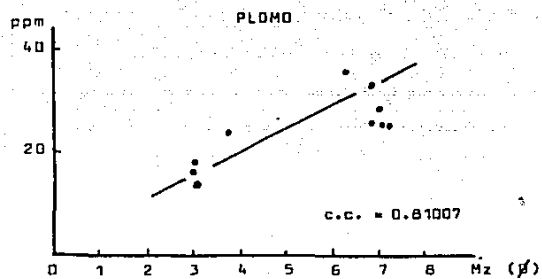


FIGURA No. 11.- RELACION ENTRE EL TAMAÑO GRAFICO PROMEDIO Y LAS CONCENTRACIONES DE PLOMO Y MANGANESO

valores obtenidos en las muestras de la zona baja del río. Solo para cobre se dió una buena correlación en las tres zonas, lo cual indica que el contenido de materia orgánica es el parámetro que mas influye sobre la distribución de este metal en sedimentos (Jackson et al, 1978).

Las gráficas correspondientes se muestran en las figuras Nos. 12 y 13.

Carbonatos.

Al graficar la concentración de metales traza contra el contenido de carbonatos, no se observó ninguna relación importante.

Relaciones entre metales.

Se observó una relación directa entre las concentraciones de fierro y zinc (Figura No. 14) y, en menor grado, esta misma relación se dió para fierro y cadmio y manganeso y cobalto, lo que hace suponer que estos metales (Zn, Cd y Co), están siendo aportados a los sedimentos por minerales ferromagnesianos o, mas probablemente, que pueden estar asociados con los óxidos e hidróxidos de fierro y manganeso, ya sea adsorbidos sobre ellos o coprecipitados.

ZONA BAJA

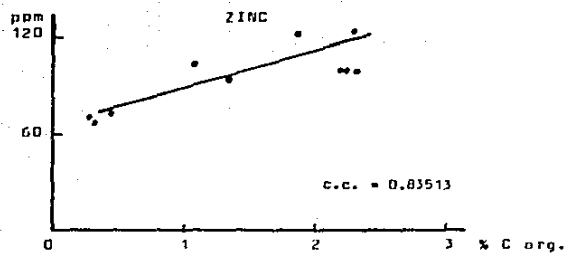
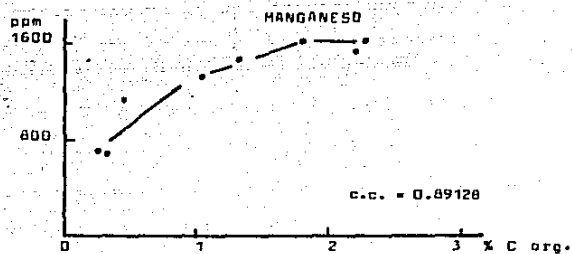
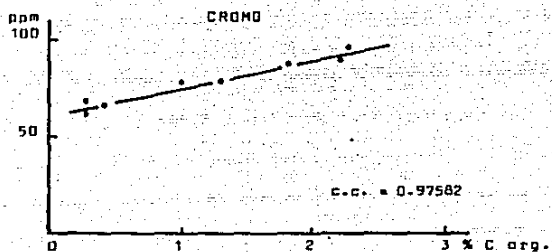


FIGURA No. 12.- RELACION ENTRE EL CONTENIDO DE CARBON ORGANICO Y LAS CONCENTRACIONES DE Cr, Mn y Zn.

C O B R E

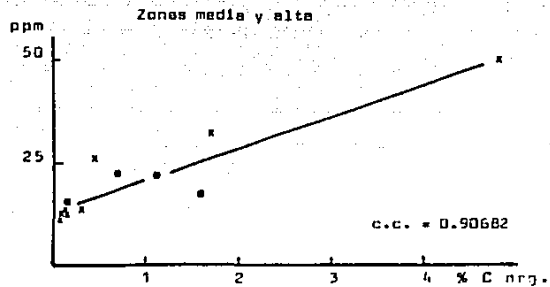
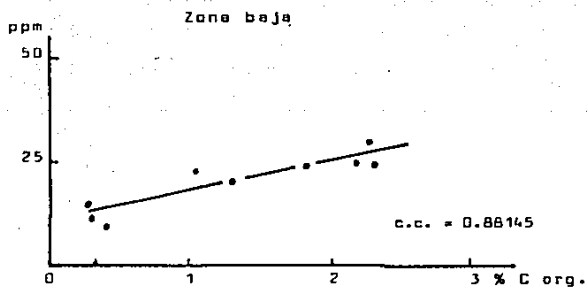


FIGURA No. 13.- RELACION ENTRE EL CONTENIDO DE CARBON ORGANICO Y LAS CONCENTRACIONES TOTALES DE Cu.

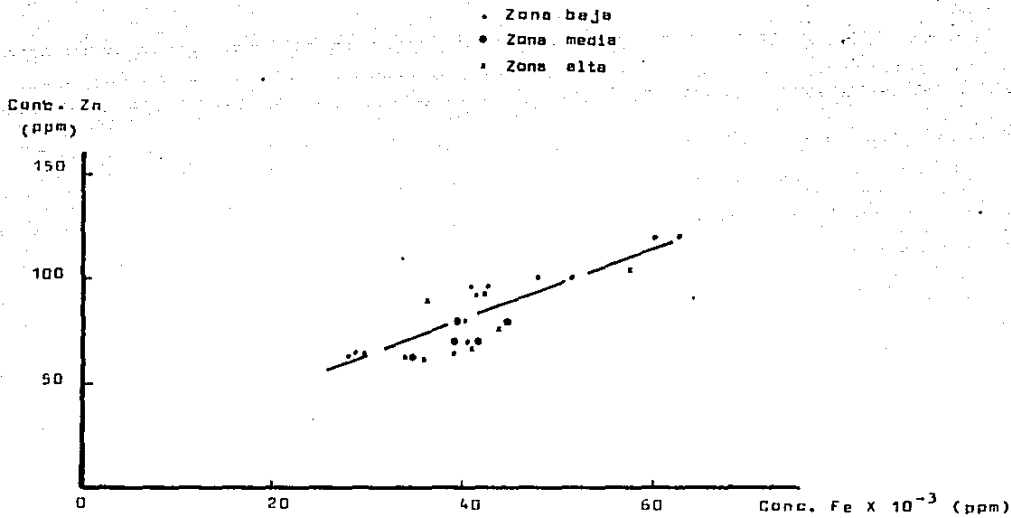


FIGURA No. 14.- RELACION ENTRE LAS CONCENTRACIONES DE FIERRO Y ZINC.

6. CONCLUSIONES.

- Los resultados de esta investigación mostraron que el Río Blanco no presenta contaminación por metales pesados en sus sedimentos.

Hasta el momento, no han sido establecidos los niveles máximos en que puede estar presente un metal en el sedimento sin que represente un peligro para la biota. Debido a esto, se llegó a la conclusión anterior por comparación de los resultados reportados para otros ríos del mundo y en vista de que las concentraciones de metales detectadas en el Río Blanco, son menores que las reportadas para ríos considerados como libres de contaminación por metales pesados.

- Por el momento, las concentraciones de metales traza en los sedimentos del Río Blanco no representan un peligro para la biota.

Considerando los resultados obtenidos en la fracción no detritica, que muestra concentraciones muy pequeñas de metales, es de esperarse que en la columna de agua, que junto con la fracción no detritica es lo mas accesible a la biota, las concentraciones de metales pesados resulten inofensivas para esta.

- Considerando la distribución uniforme de metales encontrada en los núcleos, puede concluirse que el desarrollo industrial de la zona no ha incrementado los niveles de metales pesados en los sedimentos.

- En términos generales, las variaciones estacionales en las concentraciones de los metales pesados en muestras superficiales son pequeñas. Las mayores concentraciones se determinaron en las muestras obtenidas en la época de estiaje, excepto para cobre, zinc y plomo, metales que forman complejos insolubles con la materia orgánica, que en la época de lluvias aumenta su concentración en el río por los desechos que arrojan los ingenios azucareros.

- Las concentraciones de metales pesados guardan una relación directa con el tamaño gránico promedio de los sedimentos y con su contenido de carbón orgánico. No se observó ninguna relación importante con respecto al contenido de carbonatos.

7. TABLAS.

ESTACION	PROFUNDIDAD (m)	SALINIDAD D/DO	TEMPERATURA C	OXIGENO DI- SUELTO (ml/l)	pH	PARTICULADOS mg/l
A 1	0.0	0.41	32.00	6.2	S/D	8.8
	1.0	0.46	32.73	5.4	S/D	S/D
B 1	0.0	0.40	20.50	7.2	8.52	67
	1.0	0.40	20.50	5.9	7.99	11
A 2	0	0.29	32.24	3.5	S/D	S/D
	0.75	0.28	32.28	2.7	S/D	S/D
	1.50	0.43	31.74	2.7	S/D	S/D
B 2	0	0.38	21.28	7.1	7.44	48
	0.75	0.30	21.42	6.6	7.44	04
	1.50	0.30	21.37	6.1	7.44	S/D
A 3	0	0.20	33.36	2.0	S/D	S/D
	1.0	0.16	31.50	1.5	S/D	S/D
	3.5	0.16	30.68	2.6	S/D	S/D
B 3	0	0.38	21.45	7.0	7.22	30
	1.0	0.31	21.17	5.5	7.44	30
	3.5	0.30	21.06	5.5	7.64	42
A 4	0	0.00	32.27	1.3	S/D	1.8
	1.0	0.00	32.49	1.3	S/D	S/D
	3.5	0.00	31.92	1.1	S/D	S/D
B 4	0	0.30	21.32	5.6	7.29	9
	1.0	0.33	20.50	4.7	7.48	13
	3.5	0.31	20.23	4.7	7.44	30

S/D = SIN DATOS

TABLA No. 1.- DETERMINACIONES EN AGUA.

ESTACION	PROFUNDIDAD (m)	SALINIDAD D/00	TEMPERATURA °C	OXIGENO DI-SUELTO (ml/l)	pH	PARTICULADOS mg/l
A 5	0	0.12	30.60	6.0	5/0	5/0
	2.5	0.18	27.90	3.75	5/0	7.6
	5.0	0.20	28.00	3.8	5/0	5/0
B 5	0	0.30	21.37	7.7	7.44	41
	2.5	0.30	21.12	7.2	7.42	61
	5.0	0.30	21.19	6.7	8.10	39
A 6	0	0.0	28.60	5.0	5/0	5/0
	0.5	0.0	28.62	5.0	5/0	5/0
B 6	0	0.22	23.65	6.5	8.62	128
A 7	0	0.00	27.10	4.2	5/0	299
B 7	0	0.36	22.38	6.7	8.92	6
A 8	0	0.0	24.30	8.0	5/0	5/0
B 8	0	0.31	20.40	7.0	9.43	10
A 9	0	0.0	23.13	5.7	5/0	5/0
B 9	0	0.24	18.90	7.26	9.25	53
A 10	0	0.0	21.63	2.60	5/0	5/0
A 11	0	0.0	18.60	9.20	5/0	5/0
B 11	0	0.12	16.22	9.45	9.63	17
A 12	0	0.0	24.04	5/0	5/0	5/0
B 12	0	0.23	17.20	5.70	9.13	0.1

TABLA No. 1 (CONTINUACION).~ DETERMINACIONES EN AGUA.

ESTACION	PROFUNDIDAD (cm)	TAMANO GRAFICO PROMEDIO Hz (μ)	% HUMEDAD	% CARBON ORGANICO	% CO_2
A 1	0-11	3.022	24.2	0.19	9.16
	11-22	3.104	24.2	-	6.46
	22-33	3.003	23.5	0.25	6.57
A 2	0-15	6.126	62.6	1.30	8.93
	15-30	5.619	48.8	2.01	7.76
	30-45	5.273	39.3	0.82	12.07
A 3	0-13	6.803	60.3	2.20	6.84
	13-30	2.992	54.0	1.48	8.72
	30-35	5.265	19.9	0.40	7.80
A 4	0-15	6.948	49.6	2.28	19.15
	15-30	7.127	45.9	1.03	12.31
	30-45	7.022	48.3	1.83	9.44
	45-50	6.884	47.1	2.26	7.86
A 5	0-15	2.794	29.0	0.42	6.33
	15-30	2.790	27.6	0.26	6.53
	30-45	2.673	26.8	0.33	7.15
A 6	0-5	1.551	10.1	0.32	10.1
	5-11	0.770	13.0	0.11	13.0
	11-23	1.298	19.6	0.01	10.6

TABLA No. 2.- DETERMINACIONES GENERALES EN SEDIMENTOS.

ESTACION	PROFUNDIDAD (cm)	TAPADO GRAFICO PROMEDIO Hz (δ)	% HUMEDAD	% CARBON ORGANICO	% CO ₂
A 7	0-11	5.094	62.5	4.80	10.89
	11-15	4.290	56.1	3.96	7.90
	15-23	5.819	45.1	2.46	8.89
B 7	0-11	3.217	25.4	0.14	9.58
	11-15	3.201	24.5	0.24	9.13
	15-24	3.004	24.0	0.40	9.92
A 8	SUP	0.769	20.2	0.36	12.96
B 8	SUP	2.183	36.2	1.10	8.86
A 9	SUP	1.801	20.0	0.07	13.17
B 9	SUP				
A 10	SUP	2.745	25.2	0.42	10.02
A 11	SUP	0.659	22.1	0.12	10.29
B 11	SUP	3.656	27.4	0.67	7.08
A 12	SUP	2.723	29.9	1.71	7.00
B 12	SUP	2.535	36.6	1.62	6.46

TABLA No. 2 (CONTINUACION).-- DETERMINACIONES GENERALES EN SEDIMENTOS.

NUCLEO	PROFUNDIDAD (cm)	TAMANO GRAFICO PROMEDIO Mz (μ)	DESVIACION ESTANDAR (μ)	GRADO DE ASIHETRIA Skg (μ)	CURTOSIS Kg (μ)	COMPOSICION GRANULOMETRICA
A 1	0-11	3.022	0.705	0.477	2.121	Arena
	11-22	3.104	0.667	0.327	1.943	Arena
	22-30	3.003	0.775	0.543	2.432	Arena
A 2	0-15	6.126	1.374	0.155	1.216	Limo
	15-30	5.619	1.630	0.220	0.996	Limo
	30-45	5.273	1.755	0.004	1.319	Limo
A 3	0-15	6.803	1.209	0.022	0.863	Limo
	15-30	2.992	2.581	0.600	0.755	Arena
	30-53	5.265	2.805	-0.228	0.634	Limo
A 4	0-15	6.948	1.277	-0.164	0.958	Limo
	15-30	7.127	1.159	-0.059	0.943	Limo
	30-41	7.022	1.171	-0.001	0.880	Limo
	41-50	6.884	1.376	-0.100	1.087	Limo
A 5	0-15	2.794	1.164	0.316	4.013	Arena
	15-30	2.790	1.071	0.254	3.234	Arena
	30-45	2.673	1.046	0.128	2.839	Arena
A 6	0-5	1.551	1.502	0.491	2.142	Arena
	5-11	0.770	0.725	-0.021	1.027	Arena
	11-22	1.298	0.709	0.102	1.172	Arena

TABLA NO. 3.- RESULTADOS DEL ANALISIS SEDIMENTOLOGICO

NUCLEO	PROFUNDIDAD (cm)	TAMANO GRAFICO - COEFICIENTE DE PROHEDIO Hz (β)	DESVIACION ESTANDAR (β)	GRADO DE ASIMETRIA Skg (β)	CURTOSIS Kg (β)	COMPOSICION GRANULOMETRICA
A 7	0-11	5.094	1.750	0.312	0.814	Limo
	11-15	4.290	2.741	0.002	0.684	Limo
	15-23	5.819	1.790	-0.032	0.814	Limo
B 7	0-11	3.217	0.792	0.416	1.313	Arena
	11-15	3.201	0.739	0.316	1.218	Arena
	15-24	3.004	1.156	0.387	2.049	Arena
	24-32	3.224	0.638	-0.297	1.133	Arena
A 8	SUP	0.769	2.070	-0.387	0.771	Arena
B 8	SUP	2.183	1.342	-0.249	1.506	Arena
A 9	SUP	1.801	0.834	0.096	0.839	Arena
A 10	SUP	2.745	0.906	0.188	1.317	Arena
A 11	SUP	0.659	1.247	-0.087	1.251	Arena
B 11	SUP	3.656	1.429	0.295	1.268	Arena
A 12	SUP	2.723	2.444	0.089	1.393	Arena
B 12	SUP	2.535	2.933	-0.021	1.621	Arena

TABLA No. 3 (CONTINUACION). - RESULTADOS DEL ANALISIS SEDIMENTOLOGICO

NUCLEO	PROFUNDIDAD (cm)	% DE ARENA (-1.0 a 4 ϕ)	% DE LIMO (4 a 8 ϕ)	% DE ARCILLA (MENOR DE 8 ϕ)	LOCALIZACION EN EL TRIANGULO DE SHEPPARD.
A 1	0-11	90.99	8.13	0.88	Arena
	11-22	92.90	6.05	1.05	Arena
	22-33	90.14	8.51	0.95	Arena
A 2	0-15	9.53	82.79	7.68	Limo
	15-30	14.75	74.72	12.53	Limo
	30-45	16.96	77.01	6.03	Limo
A 3	0-15	0.00	82.29	17.71	Limo
	15-30	69.23	26.51	4.26	Arena Limosa
	30-53	38.18	41.07	20.75	Arcilla limo - arenosa
A 4	0-15	0.0	80.00	20.00	Limo
	15-30	0.0	77.12	22.88	Limo
	30-41	0.0	77.97	22.03	Limo
	41-50	0.0	79.31	20.69	Limo
A 5	0-15	90.73	6.18	3.09	Arena
	15-30	88.45	10.47	1.08	Arena
	30-45	91.34	6.13	2.53	Arena
A 6	0-5	78.8	21.92	0.00	Arena
	5-11	49.95	46.05	4.00	Arena limosa
	11-22	64.57	14.40	1.03	Arena

TABLA No. 4.- PORCENTAJES DE ARENAS, LIMOS Y ARCILLAS

NUCLEO	PROFUNDIDAD (cm)	% DE ARENA (-1 a 4 ϕ)	% DE LIMO (4 a 8 ϕ)	% DE ARCILLA (MENOR DE 8 ϕ)	LOCALIZACION EN EL TRIANGULO DE SHEPPARD.
A 7	0-11	38.56	53.76	7.68	Limo arenoso
	11-15	27.84	62.43	9.73	Limo arenoso
	15-23	19.18	69.71	11.11	Limo arenoso
B 7	0-11	84.65	15.23	0.12	Arena
	11-15	86.08	13.20	0.72	Arena
	15-24	84.32	14.12	1.55	Arena
	24-32	0.0	73.32	26.68	Limo Arcilloso
A 8	SUP	96.60	2.87	0.53	Arena
B 8	SUP	94.38	4.54	1.08	Arena
A 9	SUP	97.22	0.71	0.07	Arena
A 10	SUP	90.86	9.14	0.0	Arena
A 11	SUP	99.14	0.76	0.10	Arena
B 11	SUP	63.54	35.40	1.06	Arena limosa
A 12	SUP	77.37	19.89	2.94	Arena
12	SUP	76.58	19.25	4.17	Arena

TABLA No.4 (CONTINUACION).- PORCENTAJES DE ARENAS, LIMOS Y ARCILLAS

NUCLEO	DIST. DESEM. (Km)	PROFUND. (cm)	M ₂ (μ)	% CARBON ORG.	CO ₂ %	CONCENTRACION DE METALES TOTALES (μg/g.)									
						Ni	Zn	Pb	Cu	Cr	Ca	Cd	Mn	Fe	Al
A 1	0	0-11	3.02	0.29	9.16	18.6	64.2	10.2	11.0	63.5	19.9	1.19	696	28,019	47,932
		11-22	3.10	-	6.46	16.9	65.2	13.7	9.7	66.1	18.6	0.90	694	28,741	38,825
		22-33	3.00	0.25	6.57	17.6	67.7	17.0	15.0	69.4	19.9	1.15	700	29,373	41,436
A 4	7.5	0-15	6.95	2.28	19.15	28.4	96.5	28.6	24.1	64.0	23.8	1.63	1,011	40,865	52,051
		15-30	7.13	1.03	12.31	28.6	101.3	26.0	23.1	78.5	24.1	1.56	1,326	65,667	98,994
		30-45	7.02	1.83	9.44	32.0	119.4	26.2	24.7	88.9	27.4	1.53	1,595	62,863	49,938
A 6	48.0	0-5	1.55	0.32	9.78	19.6	62.6	23.5	13.6	60.3	27.2	1.74	749	34,095	47,932
		5-11	0.96	0.11	9.37	24.2	69.8	23.6	13.5	67.6	28.2	1.89	837	40,090	38,815
		11-22	1.20	0.01	10.29	25.3	71.3	24.8	13.8	79.8	27.3	1.89	895	41,511	42,436
A 9	100.0	SUP	1.80	0.07	13.17	51.0	76.7	36.5	13.1	112.4	28.0	ND	660	44,815	52,880
A 12	119.0	SUP	2.72	1.71	7.00	38.4	134.4	34.8	32.3	81.9	24.4	1.81	634	39,285	42,689

TABLA No.5.- DETERMINACIONES EN NUCLEOS

MUESTRA	PROFUNDIDAD (cm)	CONCENTRACION DE METALES EN LA FRACCION NO DETRITICA ($\mu\text{g/g}$)									% PESO FRACCION NO-DETR.
		Pb	Zn	Pb	Cu	Cr	Co	Cd	Mn	Fe	
A 1	0-11	1.6	4.9	1.5	ND	ND	1.6	0.12	205	1700	3.50
	11-22	1.6	5.4	1.3	ND	ND	2.3	0.11	168	2019	2.83
	22-33	2.5	5.7	0.4	ND	ND	3.6	0.17	211	2279	2.68
A 4	0-15	2.4	9.3	3.7	ND	ND	3.3	0.37	427	1481	15.63
	15-30	3.2	6.9	2.7	ND	ND	2.6	0.26	618	1755	7.56
	30-45	2.8	6.3	1.5	ND	ND	1.8	0.17	548	1430	4.06
	45-50	2.9	7.1	1.9	ND	ND	2.3	0.19	586		4.29
A 6	0-5	ND	2.0	ND	ND	ND	1.9	0.16	66	433	4.45
	5-11	ND	1.9	1.3	ND	ND	0.9	0.14	55	445	3.91
	11-22	ND	2.6	1.6	ND	ND	1.5	0.15	64	471	5.55
A 9	SUP	ND	6.6	3.1	ND	ND	1.1	0.21	83	981	7.80
A 12	SUP	1.8	17.7	1.9	ND	ND	2.5	0.21	277	854	4.13

TABLA NO. 6.- DETERMINACION DE METALES EN LA FRACCION NO DETRITICA DE LOS NUCLEOS.

ND - No detectado

MUESTRA	PROFUNDI- DAD (cm)	Ni	Zn	Pb	Cu	Cr	Co	Cd	Mn	Fb
A 1	0-11	8.60	7.63	8.24	ND	ND	8.04	10.08	29.88	6.07
	11-22	9.47	8.28	9.49	ND	ND	12.37	12.22	25.69	7.02
	22-33	14.20	8.42	2.35	ND	ND	19.09	14.78	32.14	7.76
A 4	0-15	8.45	9.64	12.94	ND	ND	13.87	28.83	42.24	3.62
	15-30	11.19	6.81	10.38	ND	ND	10.79	16.17	46.82	2.67
	30-45	8.75	5.28	5.73	ND	ND	6.57	11.11	34.36	2.42
	45-50	8.03	5.91	7.22	ND	ND	7.82	12.50	37.59	
A 6	0-5	ND	3.19	ND	ND	ND	6.99	9.20	8.81	1.27
	5-11	ND	2.72	5.51	ND	ND	3.19	7.41	6.57	1.11
	11-22	ND	3.65	6.45	ND	ND	5.49	7.94	7.15	1.13
A 9	SUP	ND	8.64	8.49	ND	ND	3.93	ND	12.58	2.23
A 12	SUP	4.69	13.17	5.46	ND	ND	10.25	11.54	43.69	2.17

ND= No detectado

TABLA No. 7.- PORCIENTO DE METALES EN LA FRACCION NO DETRITICA DE LOS NUCLEOS.

MUESTRA	DISTANCIA EN DESEMBOCA DURA. (Mm)	M. (B)	% CARGA ORGANICO	X CO ₂	CONCENTRACION DE METALES LIQUALES (/ 50g.)									
					Ml	Zn	Pb	Cu	Cr	Pu	Cd	Mn	Fe	
A 1	0	3.02	0.29	9.16	10.6	64.2	10.2	11.0	63.5	19.9	1.19	ND	686	28040
B 1					15.6	105.4	21.0	6.9	59.3	16.7	ND	ND	622	27723
A 2	2.5	6.13	1.30	8.93	29.2	91.8	36.0	20.0	79.0	26.3	ND	1455	41569	
B 2					35.0	78.0	18.3	18.3	78.0	26.6	6.0	ND	896	34163
A 3	5.6	6.89	2.20	6.04	46.2	96.0	33.0	23.0	89.0	23.4	ND	1509	42820	
B 3					48.3	112.1	33.3	34.6	94.0	25.7	ND	942	58571	
A 4	7.5	6.95	2.20	19.15	28.4	96.5	28.6	24.1	64.0	23.8	1.63	1011	40854	
B 4					44.8	101.6	26.9	26.7	67.4	24.0	ND	1560	48020	
A 5	10.6	2.79	0.42	6.33	24.8	69.7	27.8	8.7	67.7	25.2	ND	1144	36668	
B 5					44.8	61.7	35.6	10.6	55.9	25.3	ND	1001	35817	
A 6	48.0	1.95	0.32	9.78	19.6	62.6	23.5	13.6	60.3	27.2	1.74	749	36025	
B 6		2.98	0.13	10.33	42.8	72.3	27.1	83.8	110.1	33.1	ND	660	42450	
A 7	67.0	5.09	4.00	10.09	30.4	159.3	48.8	50.0	76.1	23.0	ND	631	39103	
B 7		6.22	0.14	9.58	41.1	78.1	33.6	16.8	60.8	33.6	ND	630	44013	
A 8	90.0	0.77	0.36	12.98	35.1	92.1	33.6	45.1	84.2	29.0	ND	569	42545	
B 8		2.18	1.10	8.66	53.1	93.2	39.3	21.4	138.0	33.0	ND	628	12573	
A 9	100.0	1.80	0.07	13.17	51.0	76.7	36.5	13.1	112.4	28.0	ND	660	44015	
A 10	104.0	2.75	0.42	10.02	46.0	90.5	41.0	25.6	92.1	29.0	1.82	553	35172	
A 11	107.0	0.46	0.12	10.29	20.1	83.6	27.4	75.8	44.0	17.9	ND	435	25460	
B 11		3.66	0.67	7.00	36.3	78.1	33.0	22.2	46.3	25.5	ND	594		
A 12	119.0	2.72	1.71	7.00	38.4	134.6	34.8	32.3	81.9	24.4	1.82	634	15285	
B 12		2.53	1.62	6.56	46.0	80.0	35.7	15.9	107.5	25.0	ND	559	39989	

TABLA No. 8.- DETERMINACIONES EN MUESTRAS SUPERFICIALES.

100

ENCUENTRO EN LA ESTACION

MUESTRA	CONCENTRACION DE METALES EN LA FRACCION NO DETRITICA (µg/g)									K EN PESO DE LA FRAC. NO DETRIT.
	Ni	Zn	Pb	Cu	Cr	Co	Cd	Mn	Fe	
A 1 B 1	1.6	4.7	1.5	ND	ND	1.6	0.42	205	1700	3.5
A 2 B 2	1.8	6.5	1.6	ND	ND	2.5	ND	1150	1517	3.91
A 3 B 3	1.5	4.6	1.2	ND	ND	1.6	ND	1177	1348	3.72
A 4 B 4	2.4	9.3	3.7	ND	ND	3.3	0.37	427	1461	15.63
A 5 B 5	ND	3.4	0.6	ND	ND	1.2	ND	522	703	1.33
A 6 B 6	ND ND	2.0 5.7	ND 2.4	ND 1.0	ND ND	1.9 ND	0.16 0.18	66 95	433 703	4.35 2.47
A 7 B 7	ND ND	33.6 5.5	3.3 2.3	ND ND	ND ND	5.0 1.3	0.23 0.19	263 120	1236 674	6.55 5.25
A 8 B 8	ND ND	7.0 9.3	3.6 5.0	ND ND	ND ND	2.1 1.3	0.24 0.35	60 93	907 251	0.64 10.62
A 9	ND	6.6	3.1	ND	ND	1.1	0.21	83	961	7.00
A 10	2.6	10.2	3.9	ND	ND	2.2	0.32	194	1922	9.33
A 11 B 11	ND ND	1.2 2.0	1.6 1.2	ND ND	ND ND	1.0 1.5	0.14 0.13	71 161	207 202	22.56 2.39
A 12 B 12	1.8 ND	17.7 9.9	1.9 1.5	ND ND	ND ND	2.5 1.4	0.21 0.20	277 147	854 1099	4.13 3.21

ND = No Detectado

TABLA No. 9.- CONCENTRACION DE METALES EN LA FRACCION NO DETRITICA DE LAS MUESTRAS SUPERFICIALES.

MUESTRA	Ni	Zn	Pb	Cu	Cr	Co	Cd	Mn	Fe
A 1 B 1	8.60	7.63	8.24	ND	ND	8.04	10.08	29.88	6.07
A 2 B 2	8.16	7.06	4.64	ND	ND	9.51	ND	81.10	3.89
A 3 B 3	3.11	4.75	3.55	ND	ND	6.84	ND	76.00	3.15
A 4 B 4	8.45	9.64	12.94	ND	ND	13.87	22.70	42.24	3.62
A 5 B 5	ND	4.88	2.16	ND	ND	4.76	ND	45.63	2.02
A 6 B 6	ND ND	3.19 7.48	ND 8.86	ND ND	ND ND	6.99 ND	9.28 ND	8.81 13.97	1.27 1.65
A 7 B 7	ND ND	21.23 7.04	6.76 6.85	ND ND	ND ND	2.74 4.11	ND ND	41.68 20.32	3.17 1.95
A 8 B 8	ND ND	8.47 9.98	10.71 12.72	ND ND	ND ND	7.02 4.19	ND ND	15.82 13.72	2.14 1.47
A 9 B 9	ND	8.60	8.49	ND	ND	3.93	ND	12.58	2.23
A 10 B 10	5.56	17.90	9.51	ND	ND	8.53	17.58	35.08	4.08
A 11 B 11	ND ND	1.44 2.56	5.84 3.64	ND ND	ND ND	10.10 5.80	ND ND	16.32 17.29	0.81 ND
A 12 B 12	4.69 ND	13.17 12.38	5.36 4.20	ND ND	ND ND	10.25 5.41	11.54 ND	43.69 26.30	2.17 2.72

TABLA No. 10.- PORCIENTO DE METALES EN LA FRACCIÓN NO DETRÍTICA
DE LAS MUESTRAS SUPERFICIALES.

R I O S	CONCENTRACION DE METALES EN SEDIMENTOS ($\mu\text{g/g}$)									
	Ni	Zn	Pb	Cu	Cr	Co	Cd	Mn	Fe	Al
Río Amazonas	105			266	194	41		1033	55521	
Río Yukon	136			416	115	4.1		1270	63198	
Lago Constanza	55	124	19	30	50	17	0.2			
Río Liffey	29	666		220		7	3.3	496	26900	
RIO BLANCO	30	80	26	19	80	24	0.6	886	41743	46738
Río Rhin		3900	369	286	760	19	4.0			
Río Los Angeles			9000				860.0			

TABLA No. 11.- COMPARACION DE LA CONCENTRACION MEDIA DE METALES PESADOS
 EN SEDIMENTOS DEL RIO BLANCO CON LO REPORTADO PARA OTROS
 RIOS DEL MUNDO.

MINERALES	PUNTOS DE MUESTREO											
	ZONA BAJA					ZONA MEDIA		ZONA ALTA				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
VERMICULITA			///	///								
MAGNETITA	///	///	///	///	///							
FELDESPATO	///	///	///	///	///	///				///	///	///
CAOLINITA	///	///	///	///	///	///	///		///	///		///
CLORITA	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///
CRISTOBALITA	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///
CUARZO	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///
ILLITA	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///
OLIGOCLASA	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///
MONTMORILLONITA	///	///		///		///	///	///	///	///		///
HORNBLENDA						///	///	///	///	///	///	///

TABLA No. 12.- MINERALES PRESENTES EN LOS SEDIMENTOS DEL RIO BLANCO.

9. LITERATURA CITADA.

AGEMIAN, H., A. S. Y. CHAU, 1976. Evaluation of extraction techniques for the determination of metals in aquatic sediments. Analyst, 101, (1207): 761-767.

BERNAS, B., 1968. A new method for decomposition and comprehensive analysis of silicates by atomic absorption spectrometry. Anal. Chem., 40, (11): 1682-1686.

BRANNON, J. M., J.R. ROSE, R.M. ENGLER, I. SMITH, 1976. The distribution of heavy metals in sediment fractions from Mobile Bay, Alabama, In: Yen, T. F. (Ed.) Chemistry of Marine Sediments. Ann Arbor Sci. Publ.: 125-149.

BRULAND, K. W., K. BERTINE, M. KOIDE, E. D. GOLDBERG, 1974. History of metal pollution in Southern California coastal zone. Environ. Sci. Technol., 8:425-432.

BUCKLEY, D. E., R. E. CRANSTON, 1971. Atomic absorption analyses of 18 elements from a single decomposition of aluminosilicate. Chem. Geol., 7: 273-284.

CHEN, K. Y., T. K. J. YOUNG, N. ROHATGI, 1974. Trace metals in waste-water effluents. J. W. P. C. F., 46: 2663-2675.

DANA-HURLBUT, 1960. Manual de Mineralogia. Ed. Reverté, Barcelona, 600 p.

DEMAVD, A., R. ANTHONY, M. A. FORBES, 1978. Forms of metals in water. Scientific Series No. 87. Inland Waters Directorate, Water Quality Branch. Ottawa, Canada.

ENGLER, R. M., J. M. BRANNON, J. R. ROSE, G. N. BIGHAM, 1974. A practical selective extraction procedure for sediment characterization. Proc. Symposium on chemistry of marine sediments. National American Chemical Society. Atlantic City, New Jersey.

FOLK, R. L., 1974. Petrology of sedimentary rocks. Hemphill Pub. Co. Austin, 182 p.

FORSTNER, V., C. T. W. WITTMANN, 1979. Metal Pollution in the aquatic environment. Springer-Verlag. New York, 486 p. .

GAUDETTE, H. E., W. R. FLIGHT, L. TONER, D. W. FOLGER, 1974. An inexpensive titration method for the determination of organic carbon in recent sediments. Journal of Sedimentary Petrology, 44, (1): 249-253.

GEMSI, ad hoc GROUP, 1983. The use of marine sediments for pollution monitoring. Proc. The first meeting of the Gemi ad hoc Group on The Use of Marine Sediments for Pollution Monitoring. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM. Mazatlán, México. April 11-15, 1983.

GIBBS, R. J., 1973. Mechanisms of trace metal transport in rivers. Science, 180: 71-73.

GIBBS, R. J., 1977. Transport phases of transition metals in the Amazon and Yukon Rivers. Geological Society of America Bulletin, 88: 829-843.

GOLDBERG, E. D., 1976. The health of the oceans. The Unesco Press. Paris, 172 p.

GRIM, R. E., 1953. Clay Mineralogy. Mc Graw-Hill. Nueva York, 384 p.

HAMILTON, E. I., 1980. The chemical laboratory and trace element analysis. In: Elemental analysis of biological materials: current problems and techniques with special reference to trace elements. Chap. 14. International Atomic Energy Agency, Vienna.

JACKSON, K. S., J. R. JONASSON, G.B. SKIPPEN, 1978. The nature of metal-sediment-water interactions in freshwater bodies, with emphasis on the role of organic matter. Earth Science Reviews, 14: 97-146.

JONES, G. B., M. E. JORDAN, 1979. The distribution of organic material and trace metals in sediments from the River Liffey Estuary, Dublin. Estuarine and Coastal Marine Science, 8: 37-47.

LONG, D. T., E. E. ANGINO, 1977. Chemical speciation of Cd, Cu, Pb and Zn in mixed freshwater, seawater and brine solutions. Geochim. et Cosmochim. Acta, 41: 1183-1191.

LORING, D. H., R.T. RANTALA, 1977. Geochemical analyses of marine sediments and suspended particulate matter. Fisheries and Marine Services Technical, Canada. Report 700, 58 p.

MALAGON, D. J., 1971. Plan de manejo hidraúlico sanitario de la Cuenca del Río Blanco. Tesis profesional. Facultad de Ingeniería, UNAM. México.

MOSS, B., 1980. Ecology of freshwaters. Blackwell Scientific Publications. Londres, 332 p.

NEMEROW, N. L., 1971. Industrial water pollution. Addison Wesley Publishing Company. Londres, 738 p.

SECRETARIA DE RECURSOS HIDRAULICOS (S.R.H.), 1972. Dirección general de usos del agua y prevención de la contaminación. CIFSA. Planeación e instalación de la red de muestras de calidad del agua en las zonas de alta contaminación. Río Blanco, Veracruz.

SECRETARIA DE RECURSOS HIDRAULICOS (S.R.H.), 1976. Protección y mejoramiento de la calidad del agua. Resultados y proyecciones, planes y estrategias nacionales. Programa 1971-1976. México.

SHEPARD, F. P., 1973. Submarine Geology. Harper-Row Publ. Nueva York, 495 p.

SIBLEY, T. H., J. J. MORGAN, 1976. Equilibrium speciation of trace metals in freshwater-seawater mixtures. Proc. Int. Conf. Heavy Met. Environ., Toronto. 319-338.

STUMM, W., P. A. BRAUNER, 1975. Chemical speciation. In: Riley, J. P., Skirrow, G. (Eds.). Chemical Oceanography. Academic Press. Nueva York, 173-239.

SUNDA, W. G., P. S. HANSON, 1980. Chemical speciation of copper in river water. In: Nriagu, J. O. (Ed.). Copper in the environment. Part I, Ecological cycling. Wiley. Nueva York.

VENUGOPAL, B., T. D. LUCKEY, 1975. Toxicology of non-radioactive heavy metals and their salts. In: Luckey, T. D., Venugopal, B., Hutchinson, D. (Eds.) Heavy metals toxicity. Stuttgart: Thieme: 4-73.

WILLIAMS, R. J. P., 1967. Heavy metals in biological systems. Endeavour, 24: 96-108.