

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
FACULTAD DE QUIMICA

CARACTERISTICAS FISICO-QUIMICAS DEL AGUA  
DEL ALTO RIO BRAVO

230

T E S I S  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO QUIMICO  
P R E S E N T A

RAUL MATA GUZMAN

México, D. F.

1975



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  
ADQ. 1975  
FECHA  
PROC. M7-210



QUIMICA

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

CARACTERISTICAS FISICO-QUIMICAS DEL  
AGUA DEL ALTO RIO BRAVO.

RAUL MATA GUZMAN

INGENIERO QUIMICO

1975

PRESIDENTE Pablo Hope y Hope

VOCAL Enrique García Galeano

Jurado asignado originalmente: SECRETARIO Jorge Spamer García C.

1er. SUPLENTE Simón de León Herrera

2do. SUPLENTE Jorge Haro Castellanos

Sitio donde se desarrolló el tema: Secretaría de Recursos Hidráulicos

Nombre completo y firma del sustentante: Raúl Mata Guzmán

Nombre completo y firma del asesor del tema: Enrique García Galeano

A MI MADRE:

A quien con sus desvelos, sus privaciones  
y su perseverante actitud me ha dado en -  
la vida lo que ahora soy.

A MIS HERMANAS:

A las que gracias a sus acerta  
dos consejos hicieron posible-  
la meta alcanzada.

## C O N T E N I D O

I. INTRODUCCION.....	1
II. OBJETIVOS DEL ESTUDIO.....	4
III. ANTECEDENTES.....	5
IV. TRABAJO EXPERIMENTAL.....	7
1_ Ubicación de los lugares para la recolección de las muestras.....	7
2_ Tipos de muestras, preservación y almacenamiento.....	12
3_ Periodicidad y frecuencia.....	16
4_ Análisis de campo.....	17
5_ Análisis de laboratorio.....	24
6_ Resultados.....	85
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	104
VI. BIBLIOGRAFIA.....	106

## C A P I T U L O I

### INTRODUCCION

El Gobierno Federal siempre ha tenido la preocupación de elevar el nivel del pueblo mexicano, tanto desde el punto de vista económico como social, cultural y de relaciones humanas; para esto ha efectuado relevantes obras de ingeniería, ha construído grandes carreteras y bastas zonas de riego, ha im--plantado y cambiado sistemas de educación, así como construído grandes y amplias escuelas.

La construcción de carreteras ha originado que se incremente el transporte de materias primas y productos elaborados hasta su lugar de consumo; ha incrementado el turismo Nacional y Extranjero; ha dado lugar a la creación de nuevas y considerables fuentes de trabajo, asimismo un marcado crecimiento demográfico.

Las zonas de riego ubicadas en los estados del norte del país (Chihuahua, Coahuila, Tamaulipas) dan un buen beneficio a más de 32 mil campesinos, dándoles una entrada económica, por año, cercana a los 30 mil pesos.

En la hidrología de México, el Rio Bravo es el número uno en lo referente a su longitud y también desde el punto de vista del volúmen de su almacenamiento, incluyendo sus afluentes. Si se toma en cuenta el caudal, el Rio Bravo ocupa el sexto lugar.

La Secretaría de Relaciones Exteriores tiene a su cargo la Comisión Internacional de Límites y Aguas y ésta se encarga de todos los trabajos de hidrología sobre el Rio Bravo y de la operación de estructuras sobre el mismo, así como de la distribución del caudal para México y los Estados Unidos de Norteamérica y el establecimiento de la línea fronteriza entre ambos --países.

La población que habita en la cuenca del Rio Bravo, solamente por el lado Mexicano, es de cinco millones de habitantes. Tomando en cuenta las ciudades establecidas en las márgenes del río, en ambas, la población es de dos millones de habitantes.

Las montañas Rocallosas, en los Estados Unidos de Norteamérica, sirven de nacimiento al ancho y caudaloso Rio Bravo que es una importante corriente fluvial, puesto que sirve como límite entre su país de origen y México. Partiendo del estado de



Colorado, el Rio Bravo colinda con las Cuencas del Rio Colorado y el Rio Mississippi, siguiendo una dirección norte-sur cruza la frontera Mexicana en Ciudad Juárez, Chihuahua; a partir de aquí su dirección cambia al sureste, manteniéndola constante hasta su desembocadura en el Golfo de México, en un lado de la Ciudad de Matamoros, Tamaulipas.

En su recorrido tiene bastantes afluentes, tanto en el lado de los Estados Unidos como en el lado que corresponde a México. En el primero, el aumento del caudal del Rio Bravo se debe a los Rios Pecos y Devils. En el segundo, el Rio Bravo - sirve de cementerio a los Rios Conchos, Salado y San Juan.

Aunque no muy grandes, pero sí muy numerosos, hay arroyuelos que van a desembocar a éste gran Rio.

El Rio Bravo tiene una longitud total de 2896 kilómetros; de estos, 2008 sirven de frontera entre los países citados.

La Cuenca del Rio Bravo tiene un area total de 869 mil kilómetros cuadrados; aunque hay el inconveniente de que existen cuencas cerradas, sin escurrimiento superficial hacia el Rio, las que constituyen menos del 50 % del area total circunscrita por la línea de la división de las aguas, dejando, como escurrimientos directos, sólo 457 mil kilómetros cuadrados.

La cuenca correspondiente a México es de 188 mil kilómetros cuadrados y se compone de los siguientes Rios: Conchos, San Diego, San Rodrigo, Escondido, Salado, Alamos y San Juan.

Anualmente la cuenca total del Rio Bravo aporta escurrimientos de agua que suman 11200 millones de metros cúbicos, los que se regularizan mediante vasos de almacenamiento, tanto en México como en los Estados Unidos.

El Rio Bravo descarga su caudal en el Golfo de México y durante el período comprendido entre los años de 1954 a 1972 lo hizo con un promedio anual de 745 millones de metros cúbicos de agua.

Los vasos que controlan los escurrimientos, por el lado Mexicano, los constituyen las siguientes Presas:

- a. La Boquilla
- b. La Colina

- c. Rosetilla
- d. Francisco I. Madero
- e. Chihuahua
- f. San Miguel
- g. Luis León
- h. La Boca
- i. Venustiano Carranza
- j. Marte R. Gómez
- k. Culebrón y
- l. Palito Blanco.

En la ribera del Rio Bravo, correspondiente al lado Mexicano, se encuentran las siguientes ciudades:

- 1\_Ciudad Juárez, Chihuahua.
- 2\_Ojinaga, Chihuahua.
- 3\_Ciudad Acuña, Coahuila.
- 4\_Piedras Negras, Coahuila
- 5\_Nuevo Laredo, Tamaulipas.
- 6\_Nueva Ciudad Guerrero, Tamaulipas
- 7\_Miguel Alemán, Tamaulipas.
- 8\_Camargo, Tamaulipas
- 9\_Reynosa, Tamaulipas
- 10\_Matamoros, Tamaulipas

## C A P I T U L O   I I

### OBJETIVOS DEL ESTUDIO

El presente estudio lleva la intención de efectuar un análisis de las aguas del Rio Bravo, desde los puntos de vista de físico-químico y bacteriológico, de los afluentes al mismo y de las descargas domésticas, industriales y municipales. Una vez conocidas las características, tanto físico-químicas como bacteriológicas, se podrá sugerir los posibles usos del agua del Rio Bravo.

Sobre las descargas enunciadas se hará su caracterización de acuerdo al artículo 6 del capítulo II del Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación del Agua, publicado en el Diario Oficial el 29 de marzo del año de 1973.

El alcance del estudio se extiende hasta el conocimiento de las poblaciones bentónicas, planctónicas y nectónicas -- con la identificación y cuantificación de cada una de ellas para concluir la existencia de los sistemas bióticos y hasta qué punto de deterioro han llegado.

Por la importante característica que tiene el Rio Bravo, de ser límite Internacional, el estudio comprende sólo los afluentes y descargas correspondientes al lado mexicano, de tal manera que se pueda establecer una comparación entre la calidad de dichas aguas y las del rio.

Las características físico-químicas del agua del Rio Bravo se determinan en la primera fase, tomando en cuenta los requisitos que marcan los usos respectivos en la tabla No. 2 del reglamento.

## C A P I T U L O   I I I

### ANTECEDENTES

En el año de 1972 se observó la presencia de un sinnúmero de peces muertos en las compuertas de la presa Falcón, no se supo la causa; algunas personas suponían que se debió a un brusco cambio en la temperatura del agua, otras creen que es consecuencia de las descargas de las aguas residuales de las ciudades que están aguas arriba de la presa que se menciona y que usan como cuerpo receptor el Rio Bravo. Esta, sin duda, es una experiencia indicadora del deterioramiento de la calidad del agua del rio.

La utilización de la energía potencial del agua para producir energía eléctrica, introduce sustancias que pueden alterar las características físico-químicas de la misma, dando lugar a efectos ambientales que se traducirían en un decremento de la productividad natural de los rios y presas, reduciendo la capacidad de autopurificación y de dilución.

Cuando la Presa Falcón llegó a su feliz término, se aseguró que automáticamente habría un aumento considerable en la pesca, lo que sería una ganancia para la región circundante. Esto se cumplió sólo en sus inicios, cuando el agua subió y hubo nuevas zonas abundantes en organismos nutritivos que favorecieron a los peces. Estos se multiplicaron, pero una vez estabilizados los habitat, ya no hubo tal abundancia y como consecuencia lógica, bajó el rendimiento pesquero.

La calidad del agua del Rio Bravo se ve seriamente afectada por el escurrimiento de cerca de 500 mil hectáreas, a donde se adicionan fertilizantes de todos tipos, plaguicidas y herbicidas, así como gran cantidad de materia orgánica. También contribuyen grandemente al deterioro de la calidad del agua del rio los desechos domésticos e industriales de Cd. Juárez y Ojinaga en el estado de Chihuahua; Cd. Acuña y Piedras Negras en el estado de Coahuila; Nuevo Laredo, Nuevo Guerrero, Cd. Mier, Miguel Alemán y Reynosa en el estado de Tamaulipas.

La beneficiadora de fluorita La Domincia en la Linda en el estado de Coahuila, desemboca sus desechos en el Rio Bravo, con lo que contribuye a la contaminación con grandes concentraciones de flúor.

La refinería de Petróleos Mexicanos en Reynosa, Tamaulipas descarga sus desechos en la laguna La Escondida y aquí el sistema biótico ha sido deteriorado, pues en años anteriores se produjo la muerte de peces en dicho lugar. Antes de llegar al río el efecto contaminante se incrementa debido a la unión del efluente de las lagunas de oxidación existentes en Reynosa.

En las aguas de riego se ha observado un aumento en la salinidad, lo que origina un ensalitramiento muy marcado en los terrenos de cultivo, obligando el uso de fertilizantes e incrementando el costo de la conservación de los canales de riego.

Las aguas de abastecimiento cada vez tienen un sabor salobre más marcado, indiferentemente si se obtiene de pozo profundo, fuente superficial, etc.

La irrigación mediante canales trae consecuencias ecológicas bastante malas. La erosión acelerada que se produce en estas zonas es consecuencia del desmonte practicado para efectuar el riego pertinente. La erosión es producida cuando las gotas de lluvia, al chocar con el suelo, aflojan los pequeños granos de éste, los que son arrastrados al generarse el escurremiento. La erosión es un proceso natural en ésta región, dejando sentir sus efectos en cualquier estación del año. En invierno se originan fuertes heladas y como el hielo ocupa más espacio que el agua de la cual proviene, las partículas de tierra, al congelarse, son arrastradas por el viento o por el agua.

El riego mediante canales crea un desequilibrio entre los fenómenos osmóticos, la evaporación natural y la capilaridad, esto hace que se acumulen sales de todos tipos en las tierras y algunas veces en las aguas subterráneas, alcanzando niveles tóxicos.

La Secretaría de Recursos Hidráulicos, reafirmando la política del Gobierno de la Nación, se ha avocado a la solución de todos estos problemas, creando un laboratorio regional en Cd. Acuña, cuya meta principal es determinar la calidad de las aguas del Río Bravo y prevenir cualquier contaminación que amenace a dicho río.

Este laboratorio regional es uno de los veintidos existentes en la Red Nacional de Laboratorios del C.I.E.C.C.A., dependientes de la Dirección General de Usos del Agua y Prevención de la Contaminación.

## C A P I T U L O    I V

### TRABAJO EXPERIMENTAL

1. Ubicación de los lugares para la recolección de las muestras.

Para poder definir los puntos que se deberán tomar para la recolección de las muestras, es necesario efectuar un reconocimiento preliminar de la corriente en cuestión, utilizando el medio de transporte que se adapte a las vías de acceso existentes. Durante el recorrido deben realizarse las actividades siguientes:

- 1)\_ Hacer anotaciones en los planos recabados y elaborar esquemas complementarios de las descargas municipales, industriales, canales de retorno de riego, retorno de hidroeléctricas y otras, indicando su acceso al sitio de vertido al cuerpo de agua receptor y las dimensiones del canal o tubería.

- 2)\_ Tomar nota de los afluentes que recibe la corriente en estudio, el acceso a la confluencia y sus características principales.

- 3)\_ Trazar esquemas y anotaciones de los canales de salida, su ubicación y el acceso al sitio de su localización,

- 4)\_ Tomar nota de las presas y/o represas que se localizan en la corriente y los cambios considerables en la morfología como caídas, rápidos y marcadas variaciones en la sección.

Los lugares para la recolección de las muestras se fijaron antes y después de cada una de las situaciones siguientes:

- a. descarga de agua residual
- b. descarga de agua afluente
- c. salida de canal
- d. presa o represa
- e. cambios fuertes de sección
- f. caídas
- g. zonas cubiertas de lirio

Además, a juicio de la persona encargada, se instalan lugares intermedios para recolectar muestras, en tramos con longitudes muy largas, donde no sucede ningún fenómeno de los antes descritos.

Para el estudio del Río Bravo, la Dirección General de

Usos del Agua y Prevención de la Contaminación, a través del Centro de Investigación y Entrenamiento para el Control de la Calidad del Agua ( C.I.E.C.C.A.), ha instalado dos laboratorios a lo largo del mismo Rio: uno en Cd. Acuña, Coahuila y el otro en Rio Bravo, Tamaulipas, de acuerdo a los siguientes puntos de vista:

- 1\_Para evitar discontinuidad en los trabajos, se ha tomado en cuenta la disponibilidad de energía eléctrica, el abastecimiento de agua potable en abundancia y la existencia de gas combustible.
- 2\_La cercanía de los lugares seleccionados, para tomar las muestras, al laboratorio.
- 3\_La existencia de excelentes vias de comunicación.
- 4\_Los diferentes usos del agua.
- 5\_Poder hacer una comparación de resultados de análisis entre la zona de alcance de cada laboratorio.

El laboratorio de Cd. Acuña cubre una longitud del rio de 974 km desde Ojinaga en el estado de Chihuahua, hasta Nuevo Laredo en el estado de Tamaulipas; en ésta extensión hay un total de 41 lugares para recolectar muestras; 18 localizados en el mismo Rio, 15 en afluentes, 3 en drenes y 5 en descargas de desechos.

El laboratorio de Rio Bravo en Tamaulipas, abarca 41 lugares para la recolección de muestras, ubicadas en una longitud de 575 km. de Rio entre Nuevo Laredo, Tamaulipas y su desembocadura en el Golfo de México.

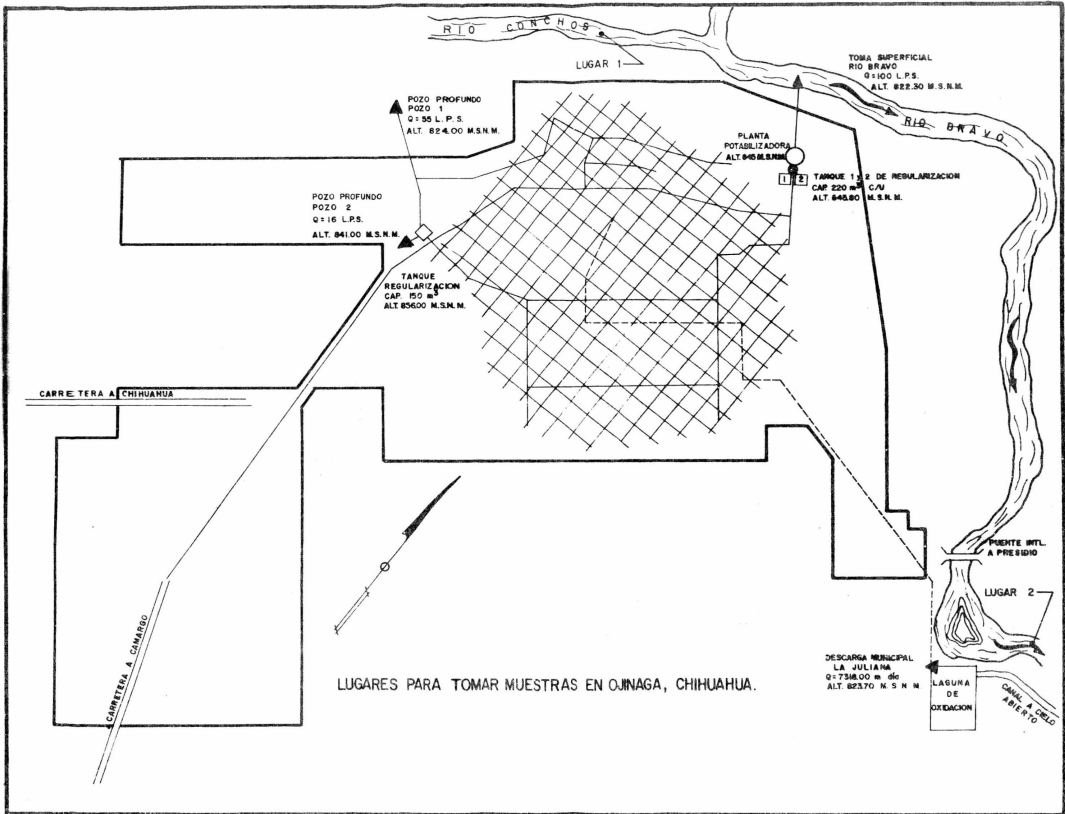
La distribución de los lugares para la recolección de las muestras en éste tramo es como sigue: 28 están dentro del rio, 5 en tres rios tributarios, 3 en drenes agrícolas, 4 en descargas municipales y 1 en el canal de derivación Anzaldúas.

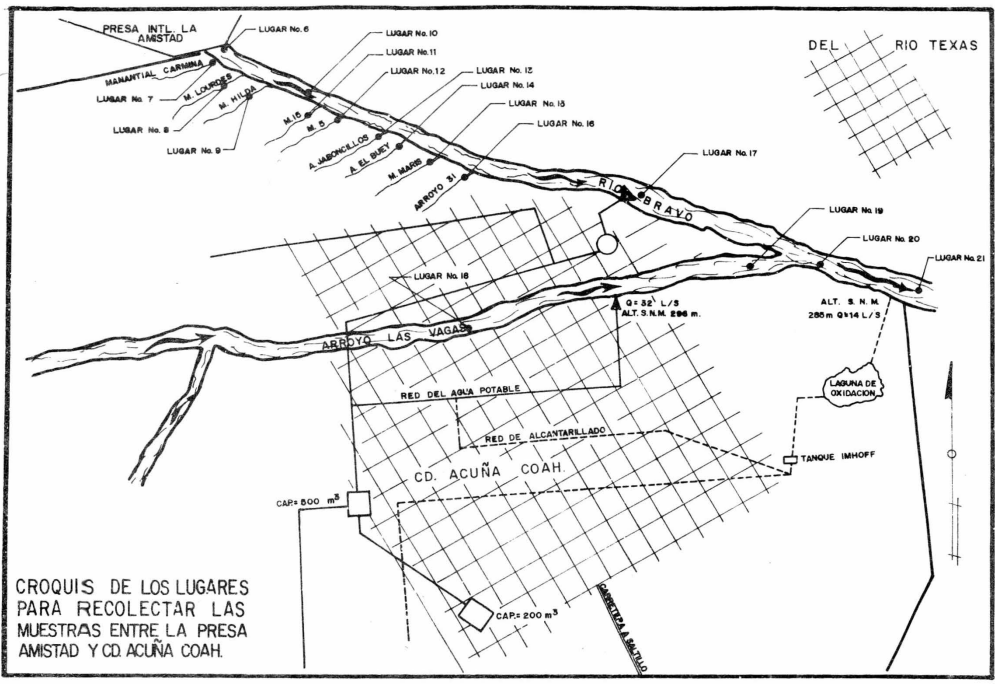
A continuación se numeran los lugares seleccionados para la recolección de las muestras, así como su ubicación, en el tramo comprendido entre Ojinaga, Chihuahua y Piedras Negras, Coahuila que son los que interesan para el presente trabajo.

Lugar No. 1, en la estación hidrométrica de la CILA( Comisión Internacional de Límites y Aguas ) en el Rio Conchos, antes de su confluencia con el Rio Bravo.

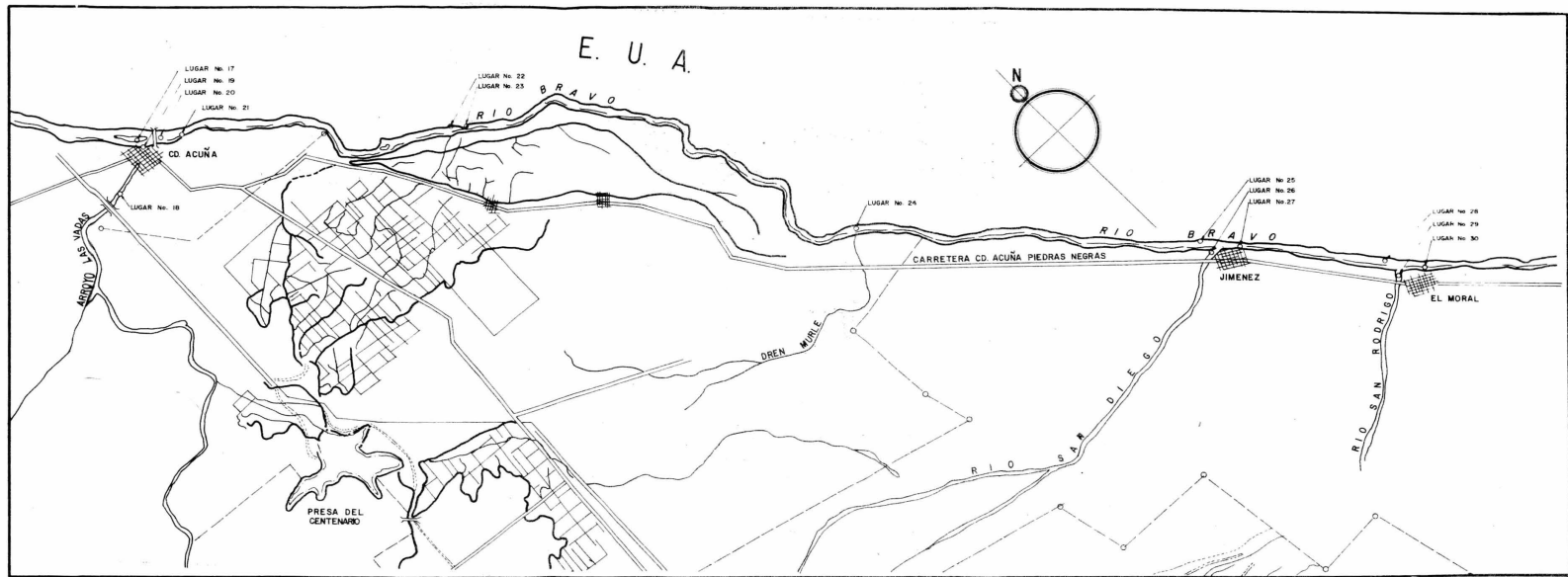
- Lugar No. 2, en la estación hidrométrica de la CILA, en el Rio Bravo cerca de Ojinaga, Chihuahua.
- Lugar No. 3, en el Rio Bravo, aguas arriba de la descarga industrial de la Domincia, S.A en La Linda, Coah.
- Lugar No. 4, en la descarga de La Domincia, S.A (mina Cuatro - Palmas)
- Lugar No. 4', en la descarga de La Domincia al arroyo La Hormiga.
- Lugar No. 5, en el Rio Bravo, aguas abajo de la descarga de La Domincia, S.A.
- Lugar No. 6, en las compuertas de la presa La Amistad.
- Lugar No. 7, en el complejo de manantiales Carmina, aguas abajo de las compuertas de la presa La Amistad.
- Lugar No. 8, en el manantial Lourdes, a 780 metros aguas abajo de la presa La Amistad y a 2.6 km. rio arriba de la estación hidrométrica del mismo nombre.
- Lugar No. 9, en el manantial Hilda, situado a 1.2 km. aguas abajo de la presa La Amistad y a 2.2 km. rio arriba de la estación hidrométrica del mismo nombre.
- Lugar No. 10, en la represa hidrométrica de la CILA, ubicado a 3.4 km. rio abajo de la presa La Amistad.
- Lugar No. 11, en el manantial M-15, situado a 3.8 km. rio abajo de la presa La Amistad y a 540 metros aguas abajo de la estación hidrométrica del mismo nombre.
- Lugar No. 12, en el manantial M-5, ubicado a 4.1 km. aguas abajo de la presa La Amistad y a 700 metros de la estación hidrométrica del mismo nombre.
- Lugar No. 13, en el arroyo Jaboncillos, que afluye al Rio Bravo a 4.9 km. aguas abajo de la presa La Amistad.
- Lugar No. 14, en el arroyo El Buey, a 5 km. rio abajo de la presa La Amistad.
- Lugar No. 15, en el manantial Maris, a una distancia de 6 km. - rio abajo de la presa La Amistad.



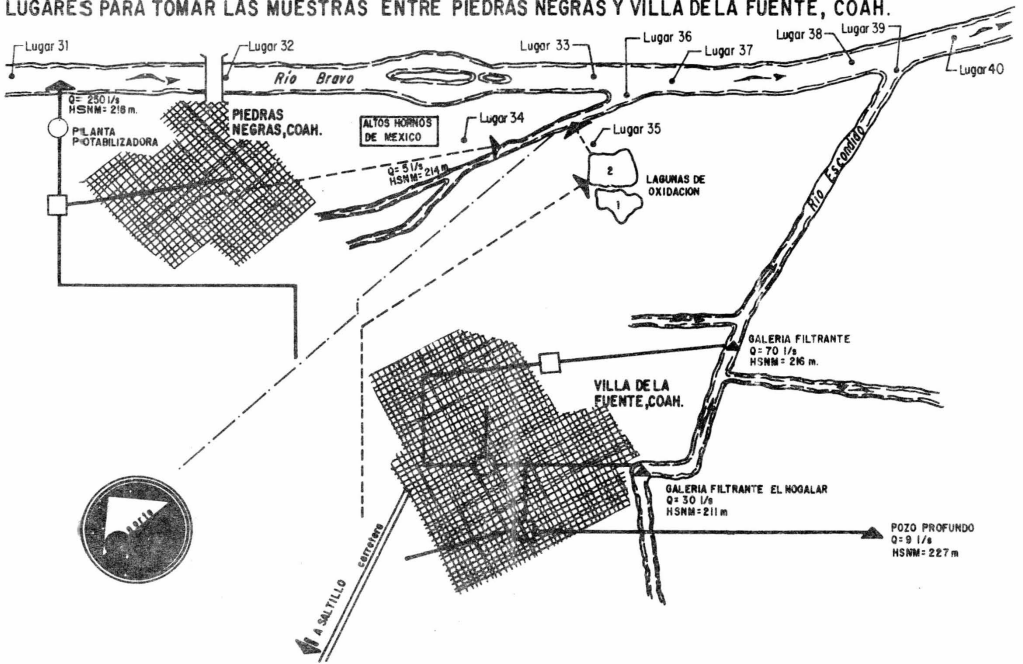




CROQUIS DE LOS LUGARES  
 PARA RECOLECTAR LAS  
 MUESTRAS ENTRE LA PRESA  
 AMISTAD Y CD. ACUÑA COAH.



**LUGARES PARA TOMAR LAS MUESTRAS ENTRE PIEDRAS NEGRAS Y VILLA DE LA FUENTE, COAH.**



- Lugar No. 16, en el arroyo 31, que afluye 10 km. río abajo de la presa La Amistad.
- Lugar No. 17, sobre el Río Bravo, aguas arriba del arroyo Las Vacas, en la estación hidrométrica de la CILA, - localizada a 21 km. río abajo de la presa La Amistad.
- Lugar No. 18, en el arroyo Las Vacas, en la estación hidrométrica de la CILA, a 3 km. aguas arriba de la confluencia con el Río Bravo.
- Lugar No. 19, en el arroyo Las Vacas, antes de su confluencia con el Río Bravo, que afluye a 21.1 km. aguas bajo de la presa La Amistad.
- Lugar No. 20, en el Puente Internacional de Cd. Acuña, Coahuila, a 30 metros aguas abajo del arroyo Las Vacas.
- Lugar No. 21, sobre el Río Bravo, a 1 km. aguas abajo de Cd. Acuña, Coahuila.
- Lugar No. 22, en el dren La Zorra.
- Lugar No. 23, en el dren El Jabalí.
- Lugar No. 24, en el dren El Murle.
- Lugar No. 25, sobre el Río Bravo, aguas arriba del Río San Diego.
- Lugar No. 26, en la estación hidrométrica de la CILA, sobre el río San Diego, a 69 km. aguas abajo de la presa - La Amistad.
- Lugar No. 27, sobre el Río Bravo, en la estación hidrométrica de la CILA, aguas abajo de la confluencia del Río San Diego con el Río Bravo, localizada a 49 km. río - arriba de Piedras Negras, Coahuila y a 3 km. de la confluencia.
- Lugar No. 28, sobre el Río Bravo, aguas arriba del Río San Diego.
- Lugar No. 29, en la estación hidrométrica de la CILA, en el Río - San Rodrigo, localizada a 1 km. aguas abajo de la confluencia con el Río Bravo, situada a 90 km. aguas abajo de la presa La Amistad.
- Lugar No. 30, sobre el Río Bravo, aguas abajo del Río San Rodrigo.

- Lugar No. 31, a 1 km. aguas arriba de Piedras Negras, Coah.
- Lugar No. 32, en el Puente Internacional de Piedras Negras Coahuila, situada a 791 km. rio arriba del Golfo - de México.
- Lugar No. 33, sobre el Rio Bravo, aguas arriba de la descarga del arroyo El Tornillo, en Piedras Negras, -- Coahuila.
- Lugar No. 34, sobre el arroyo El Tornillo, en Piedras Negras - Coahuila.
- Lugar No. 35, en la descarga de Altos Hornos, S.A en Piedras - Negras, Coahuila.
- Lugar No. 36, en las descargas de las Lagunas de Oxidación de Piedras Negras, Coahuila.
- Lugar No. 37, sobre el Rio Bravo, aguas abajo del arroyo El Tornillo.
- Lugar No. 38, sobre el Rio Bravo, aguas arriba del Rio Escondido.
- Lugar No. 39, en la estación hidrométrica de la CIIA en el Rio Escondido, que afluye a 5 km. rio abajo del Puen- Internacional de Piedras Negras.
- Lugar No. 40, sobre el Rio Bravo, aguas abajo del Rio Escondido.

## IV.- 2 TIPOS DE MUESTRAS, PRESERVACION Y ALMACENAMIENTO

### 2.1 Generalidades

Para poder confiar en los resultados de los análisis de laboratorio, es necesario darle la debida importancia a lo que se refiere la recolección de las muestras. El personal encargado de ésta importante y delicada función debe tener un amplio criterio para poder elegir los lugares más representativos donde se han de recolectar las muestras y poder enviarlas al laboratorio en óptimas condiciones y en los envases más adecuados.

Tomando en cuenta lo anterior, se puede deducir que cualquier trabajo de laboratorio, por más cuidadoso y preciso que sea, puede venirse por los suelos si la toma de muestra se ha hecho mal o si se ha hecho una mala selección del lugar para la recolección de dichas muestras.

Los análisis de aguas se pueden clasificar en físicos, químicos y biológicos.

Los análisis físicos registran aquéllas propiedades que pueden ser observadas por los sentidos. Los análisis químicos dan a conocer las cantidades de sustancias, minerales y orgánicas, que existen en el agua y que afectan su calidad, proporcionando datos acerca de su contaminación o mostrando las variaciones ocasionadas por algun tratamiento. Los análisis bacteriológicos indican la presencia y la cantidad de bacterias características de contaminación fecal y por consiguiente la calidad del agua para su uso.

### 2.2 Tipos de Muestras

Para hacer un estudio sobre la calidad de un cuerpo de agua determinado, pueden recolectarse muestras sencillas o muestras compuestas o ambas. La recolección de éstas depende de las condiciones de la masa de agua y del objetivo que se persiga al recolectar las muestras.

Una muestra simple es aquélla que se toma sin poner en consideración la variación del caudal, el horario, etc.

Para que una muestra sea representativa del lugar que se ha seleccionado para tomar dicha muestra, deben tomarse en cu

ta los siguientes factores:

- a. La homogeneidad del cuerpo de agua
- b. El número de lugares para la recolección de las muestras.
- c. El tamaño de la muestra.
- d. La forma de recolección de tal muestra.

Una muestra compuesta es aquella que se recolecta tomando en cuenta todas las variables antes mencionadas.

Para el caso de un río, cuyo caudal se considera constante, una muestra compuesta se forma tomando porciones iguales de muestras tomadas a intervalos regulares. En el supuesto caso de que el caudal no se considere constante, para formar una muestra compuesta, se tomarían muestras simples de igual volumen, se haría el aforo correspondiente para determinar el caudal y de acuerdo a su valor, se tomaría un volumen proporcional, que sería el que formaría parte de la muestra compuesta.

Regularmente los grandes cuerpos de agua son completamente heterogéneos y será bastante difícil lograr la obtención de una muestra que realmente se considere como representativa del lugar seleccionado para su recolección. En casos como éste, lo que se hace es lo siguiente:

- a)- Se prefiere tomar varias muestras en diferentes lugares del cuerpo de agua a obtener una sola muestra de gran volumen en un sólo lugar.
- b)- Cuanto más grande sea la muestra individual y mayor sea el número de lugares escogidos para la recolección, más representativa del cuerpo de agua, será la muestra compuesta formada.

Para conocer la eficiencia de procesos de tratamiento y las características generales de una determinada masa de agua, deben tomarse muestras simples antes y después de cada etapa del tratamiento.

Para conocer las características de un cuerpo de agua con calidad variable, como son los ríos, se pueden tomar muestras simples, el promedio de ellas o bien muestras compuestas.



Para conocer la calidad de aguas de desecho industrial o de aguas negras, se pueden tomar muestras simples o su promedio y además muestras compuestas de acuerdo a su masa contaminante.

Para el diseño preliminar de algún equipo de tratamiento de agua, se toman series de muestras simples y se mide el gasto correspondiente que proporciona los datos necesarios para la muestra compuesta.

Para el diseño final del equipo de tratamiento de agua se toman muestras compuestas de acuerdo al caudal, haciéndose mediciones continuas de algún análisis significativo, durante algún tiempo prolongado, como mínimo un año.

Para los análisis físico-químicos, el volúmen de muestra requerido varía de acuerdo a los análisis que se habrán de determinar. Las muestras deben enviarse inmediatamente al laboratorio y durante su transporte se mantendrán a baja temperatura. Aún cuando se le agrega algún preservativo a la muestra, debe transcurrir el menor tiempo posible entre la toma de la misma y su análisis en el laboratorio.

Cuando se desea recolectar muestras para análisis bacteriológicos, se debe tomar todo tipo de precauciones para que las muestras resulten lo más representativas que sea posible del agua que se desea estudiar y para evitar la contaminación accidental durante las operaciones de recolección de muestras.

La manera como se toman las muestras influye mucho sobre los resultados del análisis bacteriológico, así mismo para los análisis físico-químicos. Para estos últimos el envase debe llenarse completamente.

Cuando se quiere recolectar varias muestras al mismo tiempo y en el mismo sitio, se debe empezar por la toma de bacteriológicos, evitando el riesgo de contaminación del lugar mientras se toman las demás muestras.

Para la toma de bacteriológicos, los frascos deben ser de vidrio neutro y previamente esterilizados, provistos con tapón esmerilado y con una envoltura de papel de aluminio en todo el tapón y el cuello del frasco. La capacidad de los envases será de 125 ml. y se mantendrán cerrados hasta el momento en que se vayan a usar; no se deben tocar ni el tapón ni el cuello

del envase y en el momento de la toma, el frasco se sujeta por el fondo, llenándose, sin enjuagar, hasta las 3/4 partes e inmediatamente se tapa de nuevo conservando la envoltura de papel de aluminio.

Cuando se trata de tomar una muestra directamente de un río, torrente, lago, depósito, etc. se evita hacer la toma cerca de la orilla. En los torrentes se evitan las zonas de estancamiento, que son zonas muertas.

Las muestras de un río o torrente se deben tomar contra la corriente para evitar que el agua toque primero la mano de la persona que toma la muestra y después entre a la botella. Se puede tomar la botella cerca de su fondo y sumergirla con el cuello hacia abajo, luego se gira de manera que el cuello quede más elevado que su fondo y que la boca quede en sentido contrario a la corriente. Si el agua no fluye, por ejemplo en algún depósito o lago, se desplaza el frasco en sentido horizontal creando una corriente artificial.

El análisis de la muestra se debe hacer antes de transcurrida una hora partiendo del momento en que se toma la muestra y el almacenamiento nunca debe exceder en 24 horas.

### 2.3 Preservación de las muestras

Una preservación completa de las muestras, prácticamente es imposible, tratándose de aguas naturales, desechos domésticos o residuos industriales.

Los efectos de las técnicas de preservación sirven sólo para retardar los cambios, tanto químicos como biológicos, que inevitablemente se producen después de haber tomado la muestra. Mientras menos tiempo pase entre la toma de la muestra y su análisis, más confianza se tendrá en los resultados obtenidos.

No todos los análisis varían igual con el almacenamiento. Algunos cationes están sujetos a pérdidas por adsorción o intercambio iónico sobre las paredes del envase, entre los que se incluyen el fierro, el manganeso, el zinc, el cobre, el aluminio y el cromo trivalente.

La temperatura cambia rápidamente. El pH puede variar significativamente de acuerdo a la disminución de los gases ( $O_2$ ,  $CO_2$ ,  $CH_4$ ,  $Cl_2$ ,  $H_2S$ ) o el aumento de los mismos ( $O_2$ ,  $CO_2$ ),

por tanto estos análisis deben hacerse en el lugar y momento en que sea toma la muestra.

La actividad microbiológica puede ser causante de no pocos cambios que se efectúan en los cuerpos de agua, entre los que se pueden contar el balance nitrato-nitrito-amonio, - la disminución de los fenoles, la variación de la demanda bioquímica de oxígeno, de la reducción de sulfatos, de la solubilidad de algunos compuestos que pasan a formar parte de estructuras celulares.

El cloro residual puede convertirse en cloruro; se pueden perder por oxidación los sulfuros, los sulfitos, el ion ferroso, el yodo y el cianuro. El sodio, la sílice y el boro pueden disolverse del envase. El cromo hexavalente puede reducirse a trivalente.

Los métodos de preservación son relativamente limitados y generalmente intentan retardar la acción biológica, la hidrólisis de compuestos químicos y complejos y reducir la volatilización.

Los métodos de preservación empleados son:

- a- Control del potencial hidrógeno
- b- Refrigeración.
- c- Adición de compuestos químicos a la muestra, en el momento mismo de tomarla.

La siguiente tabla (IV . 2) da una idea más precisa de los métodos de preservación para muestras.

#### IV.3 PERIODICIDAD Y FRECUENCIA

El laboratorio regional de Rio Bravo inició sus trabajos para la recolección de muestras, en el mes de mayo de 1974 y debido a que el personal disponible estaba comisionado a ése laboratorio, no fué posible establecer un programa para la recolección de las muestras que sirviera de guía para todo el año. No obstante, fué posible la recolección de las muestras en los siguientes períodos:

- a\_ En los meses de mayo, junio, julio, agosto y septiem

T A B L A IV . 2

ANALISIS	PRESERVANTE	ACCION	ALMACENAMIENTO	ENVASE
			MAXIMO	
Alcalinidad	Almacenar a 4°C	Inhibidor bacterial	24 horas	Poliétileno ó vidrio
Color	Almacenar a 4°C	Inhibidor bacterial	24 horas	Poliétileno ó vidrio
Cloruros	No requiere		7 días	Poliétileno ó vidrio
Dureza	Almacenar a 4°C	Inhibidor bacterial	7 días	Poliétileno ó vidrio
Detergentes				
DQO	a ml. de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> por litro	Inhibidor bacterial	7 días	Vidrio
Nitrógeno (todas sus formas)	Adicionar 40 mg. de ion mercurico ó también 0.08 ml. de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> conc. por litro de muestra Almacenar a 4°C. Si se preserva con ácido debe neutralizarse antes de analizarse. Para Nitrógeno orgánico debe ser el doble de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Inhibidor bacterial	7 días	Poliétileno ó vidrio
O.D.	Baja temperatura, si hay I <sup>-</sup> g adicionar 0.7 ml. de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> y 1 ml. de ácido de sodio por cada 300 ml. de muestra.	Fijación del oxígeno disuelto.	No almacenar	Vidrio
Sólidos	Almacenar a 4°C	Evita la degradación orgánica.	7 días	Poliétileno ó vidrio
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Mantener a 4°C ó adicionar formol.		7 días	Poliétileno ó vidrio
Turbiedad	En la oscuridad hasta 24 horas o con 1 g. de Hg Cl <sub>2</sub> por cada litro de muestra.		24 horas ó 7 días	Poliétileno ó vidrio

bre de 1974, se dió caracterización a las aguas de los 41 lugares seleccionados para recoger las muestras recorriéndose seis veces y recolectando 204 -- muestras cuyos análisis dan un total de 5326.

b\_\_ Se caracterizaron los afluentes, drenes y descargas en los meses de octubre y noviembre de 1974 y enero de 1975, recolectándose 149 muestras, dando un total de 3900 análisis.

c\_\_ En diciembre de 1974, en que el Río Bravo lleva un gasto mínimo, se recolectaron muestras de los siete Puentes Internacionales existentes , desde Nuevo La redó, Tamaulipas, hasta Matamoros, Tamaulipas, haciendo un total de 38 muestras y 874 análisis.

El laboratorio regional de Cd. Acuña, Coah. principió sus labores de recolección de muestras y análisis de laboratorio en el mes de febrero de 1975, haciendo un promedio de recorrido de una vez por mes, hasta agosto del presente año.

En el recorrido de los 41 lugares existentes para la recolección de muestras, se juntaron en total 105 de éstas -- y los análisis fueron de 1785 en promedio.

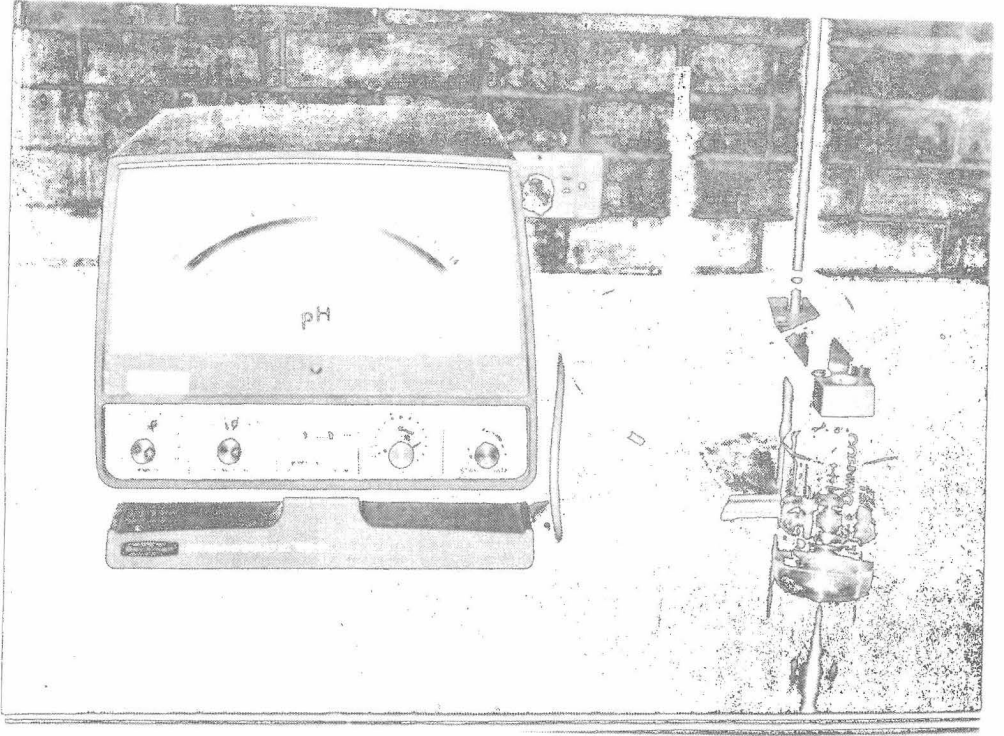
#### IV.4 ANALISIS DE CAMPO

Este tipo de análisis es necesario realizarlos en el lugar donde se toma la muestra, debido a que sufren un cambio muy marcado en el tiempo que transcurre desde su recolección, su transporte hasta el laboratorio y su almacenamiento. Los análisis que aceptan estos cambios son:

- pH, potencial hidrógeno
- OD, oxígeno disuelto
- temperatura
- color

##### 4.1 Potencial Hidrógeno

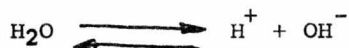
Universalmente el pH nos expresa la intensidad que



FOTOGRAFIA DE UN POTENCIOMETRO CON ESCALA SEMICIRCULAR PARA EFECTUAR EL ANALISIS DEL POTENCIAL HIDROGENICO.

tiene una solución en su condición ácida o alcalina. Hablando con propiedad, el potencial hidrógeno nos dice cómo podemos expresar la concentración de los iones hidrógeno en una solución.

El agua pura se disocia para producir iones hidrógeno en concentración igual a  $10^{-7}$  moles/litro.



Puesto que el agua se disocia para dar por cada ion de hidrógeno uno de hidroxilo, obviamente que también se produce una concentración de iones hidroxilo que se iguala a  $10^{-7}$  moles/litro.

De acuerdo con la ley de acción de masas:

$$\frac{[\text{H}^+][\text{OH}^-]}{[\text{H}_2\text{O}]} = K$$

considerando constante la concentración del agua, y puesto que es extremadamente grande y su disminución es muy pequeña debido a su débil grado de ionización,

$$[\text{H}^+][\text{OH}^-] = K$$

y si el agua pura se tiene a  $25^\circ\text{C}$ ,

$$[\text{H}^+][\text{OH}^-] = 10^{-7} \times 10^{-7} = 10^{-14} = K_w$$

esto último se conoce como constante de ionización del agua.

Cuando un ácido se adiciona al agua, se ioniza y se incrementa la concentración de iones hidrógeno en la solución; - consecuentemente la concentración de iones hidroxilo, de acuerdo con la constante de ionización, debe disminuir.

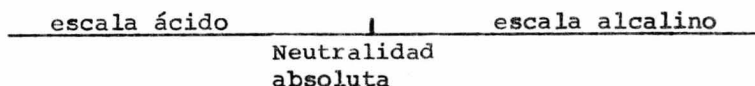
El potencial hidrógeno es el logaritmo del recíproco de la concentración de iones hidrógeno, o con más precisión, de la actividad del ion hidrógeno.

$$\text{pH} = \log \frac{1}{[\text{H}^+]}$$

o también se puede poner;

$$\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$$

La escala del pH va de 0 a 14 y se puede representar como sigue:



Incrementos en las condiciones ácidas originan disminución en los valores del pH e incrementos en las condiciones alcalinas dan como resultado aumentos en los valores del pH.

El pH se puede determinar con el uso de un potenciómetro - con electrodos de hidrógeno o de vidrio, también se puede medir - el pH usando indicadores, por métodos colorimétricos.

El pH del agua es función del bióxido de carbono que tiene disuelto, el cual es usado en la fotosíntesis y devuelto en la -- respiración. El bióxido de carbono se combina con el agua para -- formar el ácido carbónico, (  $\text{H}_2\text{CO}_3$  ) el que, a su vez, reacciona con las piedras calizas disponibles, formando carbonatos (  $\text{CO}_3^{=}$  ) - y bicarbonatos (  $\text{HCO}_3^-$  ). Estos compuestos, además de proporcionar una fuente de nutrientes, ayudan a mantener la concentración de iones hidrógeno cerca de la neutralidad absoluta, por tanto, el - pH es proporcional al cambio de  $\text{CO}_2$ .

## 4.2 OXIGENO DISUELTO

### 2.1 Generalidades

El proceso metabólico de los organismos vivientes, depen-- de del oxígeno que respiran y que les proporciona la energía para crecer y reproducirse. La solubilidad del oxígeno en el agua, que depende de la temperatura y de la presión parcial, hace posible - la existencia de organismos en ella. Una salinidad elevada o un - contenido alto de sólidos origina una disminución de la solubili-- dad del oxígeno, en un 10% aproximadamente.

La autopurificación de las aguas naturales se ve limitada-- debido a la baja solubilidad del oxígeno en las mismas; por tanto; para evitar o detener la contaminación de los desechos líquidos, - domésticos o industriales, es necesario darles algún tratamiento.



## 2.2 Significado Sanitario

En los desechos líquidos, el oxígeno que contienen disuelto es el que determina las transformaciones biológicas efectuadas por los microorganismos aeróbios o anaeróbios de acuerdo a la presencia o la ausencia del oxígeno disuelto. Los microorganismos aeróbios usan el oxígeno disuelto para oxidar la materia orgánica e inorgánica, dando como producto final bióxido de carbono y agua. En cambio, los microorganismos anaeróbicos efectúan la oxidación haciendo uso del oxígeno de algunas sales inorgánicas, como los sulfatos. Los productos de tales reacciones, son bastante ofensivos; luego, es importante mantener condiciones favorables para el desarrollo de los microorganismos aeróbicos.

Así, se puede deducir que las mediciones del oxígeno disuelto son vitales, para poder mantener las condiciones requeridas aeróbicas en aguas naturales que reciben algún desecho.

Todo programa encaminado a controlar y prevenir la contaminación de corrientes, debe tener como meta principal, garantizar un mínimo de oxígeno disuelto, que permita el desarrollo de la vida acuática.

## 2.3 Medición

El Método de Winkler, modificado por Alsteberg, es el que se usa para saber la concentración de oxígeno disuelto que tiene un cuerpo de agua. Para hacer dicha medición y recolectar la muestra, se hace lo siguiente:

- a \_ En un muestreador tipo Winkler, se coloca una botella de 300 mililitros (de las especiales para analizar la demanda bioquímica de oxígeno) y se sumerge en el lugar seleccionado para sacar la muestra. Al cesar el burbujeo es indicio de que el muestreador se ha llenado de agua, se saca de la corriente, se abre y estando la botella dentro del muestreador se le coloca su tapón.
- b \_ La fijación del oxígeno se hace al sacar la botella del muestreador; inmediatamente se adicionan, primero 2 mililitros de sulfato manganoso, con una pipeta graduada, luego 2 mililitros de una solución de alcaliioduro-nitrato (compuesta de yoduro de potasio, hidróxido de sodio y nitrato de sodio).

Al adicionar ésta solución se forma un precipitado -- café, indicando la presencia del oxígeno disuelto; -- si el precipitado es blanco, no hay oxígeno disuelto. Se agita la botella y se deja asentar el precipitado-- y finalmente se adicionan 2 mililitros de ácido sulfúrico concentrado y se agita hasta la disolución total del precipitado, quedando así, fijado todo el oxígeno disuelto.

- c \_ Una vez fijado el oxígeno, la titulación se puede hacer en el mismo lugar donde se toma la muestra o llevarse hasta el laboratorio, llevándose a efecto con tiosulfato de sodio.

Los cálculos son los siguientes:

$$\text{mg/l de OD} = \frac{(\text{Vtiosulfato}) (\text{Ntiosulfato}) (8000)}{V_1}$$

OD = oxígeno disuelto

$V_1$  = volúmen de muestra usada

Vtiosulfato = volúmen de tiosulfato de sodio que se usa al titular la fijación del oxígeno disuelto.

Ntiosulfato = normalidad del tiosulfato de sodio -- usado.

#### 2.4 Reacciones

Al adicionar el sulfato manganoso ( $\text{MnSO}_4$ ) sucede que:



éste precipitado es blanco en ausencia de oxígeno disuelto; si éste está presente, el precipitado será café con las siguientes reacciones:

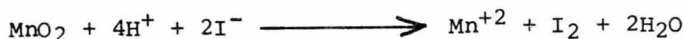


o también

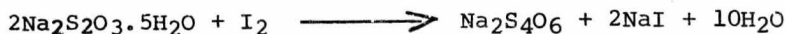


La oxidación del  $\text{Mn}^{+2}$  a  $\text{Mn}^{+4}$  es lo que se conoce como fijación del oxígeno y ocurre lentamente, sobre todo a bajas temperaturas.

Al adicionar el ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), el  $\text{Mn}^{+4}$  se reduce para oxidar el ioduro ( $\text{I}^-$ ) a iodo libre ( $\text{I}_2$ ).



Al titular con tiosulfato de sodio, el iodo libre es reducido a ioduro;



#### 4.3 TEMPERATURA

##### 3.1 Generalidades

Las mediciones de la temperatura deben hacerse con la mayor exactitud posible, pues de éstas dependen los cálculos para los valores de saturación del oxígeno disuelto, para correlacionar la actividad biológica, para la obtención de las distintas formas de la alcalinidad y para la estabilidad y la saturación referente al carbonato de calcio.

##### 3.2 Equipo y procedimiento

Un termómetro de mercurio, con ámbito de 0 a  $100^\circ\text{C}$ , es el equipo suficiente para hacer la medición de la temperatura en cualquier cuerpo de agua. Los termómetros de campo deben estar provistos de un estuche metálico, para evitar su rotura, y la escala estar subdividida en  $0.5^\circ\text{C}$  o en  $1^\circ\text{C}$ , lo que facilita la lectura.

Los termómetros se calibran para inmersión total o para inmersión parcial. Los primeros deben sumergirse totalmente en el agua para conocer la temperatura correcta. Los termómetros de inmersión parcial deben sumergirse en el agua hasta la profundidad del círculo grabado que aparece alrededor de la varilla,

abajo del nivel de la escala. Las lecturas con el termómetro sumergido en el agua, se deben hacer de preferencia, estando en movimiento y después del tiempo suficiente para que la columna de mercurio se haya estabilizado. La lectura de la temperatura debe hacerse en el lugar donde se toma la muestra, puesto que debe ser representativa de la corriente en el tiempo que se toma dicha muestra. La aproximación a grados enteros, debe hacerse en la temperatura de aguas residuales domésticas y efluentes.

#### IV.5 ANALISIS DE LABORATORIO

Los siguientes análisis se llevaron a efecto en el laboratorio regional de Cd. Acuña, Coahuila, con el fin de conocer la calidad del agua en el Rio Bravo, en el tramo comprendido entre Ojinaga, Chihuahua y Piedras Negras, Coah.

	alcalinidad
Cl <sup>-</sup>	cloruros
	dureza
DQO	demanda química de oxígeno
NH <sub>3</sub>	nitrógeno amoniacal
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	nitrógeno de nitritos
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	nitrógeno de nitratos
Norg	nitrógeno orgánico
SAAM	sustancias activas al azul de metileno
SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	sulfatos
ST	sólidos totales
STF	sólidos totales fijos
STV	sólidos totales volátiles
SST	sólidos suspendidos totales
SSF	sólidos suspendidos fijos
SSV	sólidos suspendidos volátiles
SDT	sólidos disueltos totales
SDF	sólidos disueltos fijos
SDV	sólidos disueltos volátiles
	turbiedad

Los procedimientos que se usaron en el laboratorio para efectuar los análisis antes citados, así como el principio en que se basan, cada uno de ellos, se exponen a continuación:

## 1. ALCALINIDAD

### 1.1 Consideraciones generales

La alcalinidad que tienen las aguas naturales se debe a la presencia de sales de ácidos débiles, aunque también contribuyen las bases débiles y fuertes. La principal forma de alcalinidad la constituyen los bicarbonatos, que resultan de la acción del bióxido de carbono sobre los materiales básicos existentes en el suelo. Algunos boratos, silicatos y fosfatos pueden existir en cantidades pequeñas. Las aguas naturales algunas veces tienen alcalinidad elevada de carbonatos e hidróxidos; esto se debe a la presencia de grandes cantidades de algas, las que remueven el bióxido de carbono, libre o combinado, originando valores de pH entre 9 y 10. Las aguas de calderas siempre tienen alcalinidad de carbonatos y de hidróxidos.

Las aguas tratadas químicamente, particularmente aquéllas producidas en el ablandamiento del agua por el método de la cal-sodada, contienen carbonatos y exceso de hidróxido.

Por lo que se ha expuesto, es obvio que la alcalinidad es producida por los iones carbonatos, bicarbonatos, hidróxidos y por las sales de otros ácidos débiles.

Puesto que la alcalinidad de las aguas naturales se debe principalmente a las sales de ácidos débiles y estos actúan como amortiguadores, la alcalinidad se puede interpretar en términos de capacidad amortiguadora.

### 1.2 Significado Sanitario

Para abastecimiento público, las aguas altamente alcalinas no son aceptables y deben ser sometidas a algún tratamiento para poder usarse.

### 1.3 Métodos de análisis

La alcalinidad se determina por titulación con una solución valorada de un ácido mineral fuerte, a los puntos sucesivos de equivalencia del bicarbonato y del ácido carbónico, lo que se puede hacer electrométricamente o usando indicadores.

El método por indicadores se emplea para determinar la alcalinidad relativa a un punto final determinado, basado en el

cambio de color de un indicador interno. Por ser rápido y sencillo es adecuado para control rutinario. Generalmente en aguas residuales, no es posible calcular la alcalinidad a partir de -- titulaciones, como sucede en aguas claras. En muestras muy turbias o muy coloridas, se debe usar la titulación potenciométrica, titulando con ácido sulfúrico.

#### 1.4 Método de Indicadores

##### A. Reactivos

- a \_ Agua destilada exenta de bióxido de carbono. El pH -- del agua que se usa no debe ser menor de 6; si esto -- sucede, el agua se debe hervir por 15 minutos y dejar enfriar a temperatura ambiente. Se puede usar agua -- desionizada, si tiene un pH mayor de 6 y una conduc-- tancia menor a 2 micromhos.
- b \_ Acido sulfúrico o clorhídrico valorado 0.02N. Se prepa -- ra una solución madre 0.1N de ácido sulfúrico o ácido clorhídrico; si es de sulfúrico se toman 3 mililitros del concentrado y se diluyen a un litro, si es de -- clorhídrico se toman 9.5 mililitros del concentrado -- y se diluyen a un litro. De cualquiera de las dos so-- luciones 0.1N, se toman 200 ml. y se diluyen a un li-- tro con agua destilada exenta de CO<sub>2</sub>; ésta solución -- se titula con otra de carbonato de sodio, la que se -- prepara disolviendo 1.060 gramos del reactivo anhídrido (patrón primario) en un litro de agua destilada exenta de CO<sub>2</sub>. El reactivo debe haberse secado a 140°C en -- una estufa. La titulación es exactamente igual a la -- típica de alcalinidad.
- c \_ Indicador de fenolftaleína. Se disuelven 5 gramos de -- fenolftaleína en 500 ml. de alcohol etílico o isopro-- pílico al 95% y se agregan 500 ml. de agua destilada. Se agrega a gotas solución de sosa 0.02N hasta la apa -- rición de un tenue color rosa.
- d \_ Indicador de anaranjado de metilo. En un litro de -- agua destilada exenta de bióxido de carbono, se di-- suelve 0.5 gramos de anaranjado de metilo.
- e \_ Solución de tiosulfato de sodio 0.1N. En un litro de -- agua recién hervida se disuelven 25 gramos de tiosul-- fato de sodio pentahidratado.

## B. Procedimiento

La muestra, si es necesario, se decolora con una gota de tiosulfato de sodio 0.1N

## 1. Alcalinidad a la fenolftaleína

De la muestra decolorada se toman 100 ml. en un matraz erlenmeyer. Se adicionan 2 gotas del indicador de fenolftaleína y se titula con el ácido valorado 0.02N, hasta la coloración correspondiente a un pH de 8.3.

## 2. Alcalinidad total al anaranjado de metilo

En la muestra que se determinó la alcalinidad a la fenolftaleína, se agregan 2 gotas del indicador de anaranjado de metilo y se titula con el ácido valorado de un pH de 4.6, en que el indicador anaranjado cambia a rosa, hasta un pH de 4.0.

## 3. Cálculos

alcalinidad a la fenolftaleína como mg/l de  $\text{CaCO}_3$

$$= \frac{A \times N \times 50000}{\text{ml. de muestra}}$$

alcalinidad total como mg/l de  $\text{CaCO}_3$

$$= \frac{B \times N \times 50000}{\text{ml. de muestra}}$$

donde:

A = ml. de ácido valorado usados en la titulación para alcalinidad a la fenolftaleína.

B = ml. totales, usados para la alcalinidad a la fenolftaleína más los usados con el anaranjado de metilo.

N = normalidad del ácido usado.

## 1.5. Cálculo de las formas de alcalinidad

En análisis de aguas es frecuente conocer las clases y -- las cantidades de las varias formas de alcalinidad que están presentes. Esta información es especialmente necesaria en procesos de ablandamiento y en análisis de aguas de calderas.

- 5.1 Sólo Carbonatos. Las muestras que contienen solamente alcalinidad de carbonato, tienen un pH mayor de 9.5. La titulación a la fenolftaleína es exactamente igual a la mitad de la titulación total. En éste caso la alcalinidad al carbonato es igual a la alcalinidad total.
- 5.2 Sólo hidróxidos. Regularmente las muestras que tienen solamente alcalinidad de hidróxidos, tienen un pH mayor de 10. La titulación es completa en el punto final de la fenolftaleína y la alcalinidad al hidróxido es igual a la alcalinidad a la fenolftaleína.
- 5.3 Carbonatos e hidróxidos. Las muestras que tienen éste tipo de alcalinidad tienen un pH arriba de 10. La titulación de la fenolftaleína al anaranjado de metilo, representa la mitad de la alcalinidad al carbonato y ésta se puede calcular de la siguiente manera:

$$\text{alcalinidad al carbonato} = 2 \left( \begin{array}{l} \text{titulación de la fenolftaleína} \\ \text{al anaranjado de metilo.} \end{array} \right) \frac{1000}{\text{muestra}}$$

$$\text{alcalinidad al hidróxido} = \text{alcalinidad total} - \text{alcalinidad al carbonato}$$

- 5.4 Carbonatos y bicarbonatos. Las muestras que presentan ésta alcalinidad tienen un pH entre 8.3 y 11. La titulación a la fenolftaleína representa la mitad de la alcalinidad al carbonato.

$$\text{alcalinidad al carbonato} = 2 \left( \text{titulación a la fenolftaleína} \right) \frac{1000}{\text{muestra}}$$

$$\text{alcalinidad al bicarbonato} = \text{alcalinidad total} - \text{alcalinidad al carbonato}$$



- 5.5 Sólo bicarbonatos. Las muestras que solamente tienen alcalinidad de bicarbonatos pueden tener un pH hasta de 8.3, aunque usualmente es menor a éste límite. -- Aquí, la alcalinidad al carbonato es igual a la alcalinidad total.

#### IV.5.2. CLORUROS

##### 1. Generalidades

La concentración de los cloruros encontradas en las aguas, es muy variable, pues se puede decir que está en función del contenido mineral. En las tierras que tienen mayor altura hay aguas con bajo contenido de cloruro; las aguas de ríos y subterráneas tienen una concentración mayor de éste anión y las de los mares y los océanos tienen elevadas concentraciones de cloruros debido al acumulamiento de residuos que resultan de la evaporación parcial de las aguas naturales que fluyen a ellos. El agua ejerce su poder disolvente sobre los cloruros existentes en los suelos y formaciones subterráneas. El viento y el oleaje elevan minúsculas gotitas de agua que son llevadas tierra adentro, las que por el efecto de evaporación dan lugar a la formación de pequeños cristales de sal.

Debido a su mayor densidad, las aguas de mares y océanos, fluyen río arriba mezclándose con las aguas dulces que las reciben. Si hay grandes abastecimientos de agua cercanos a las costas, se genera un balance hidrostático entre ellos y el agua de mar. Si un yacimiento acuífero se bombea en exceso, produce una diferencia hidrostática en favor del agua de mar, dando lugar a una intrusión salina.

La excreción humana, particularmente la orina, contiene cloruros en cantidades que son iguales a las que se consumen en la alimentación; el promedio de éstas cantidades es de 6 gramos diarios por persona. Las descargas industriales elevan mucho la cantidad de cloruros.

##### 2. Significado sanitario

Los cloruros, en concentraciones mayores de 250 mg/l, dan un sabor salino al agua, lo que es desagradable para el hombre, siendo aquél el límite para aguas de uso público. Altas concentraciones de cloruros aceleran la corrosión en reactores, calentadores, etc. y también interfieren en algunos procesos indus-

triales, como la refinación del azúcar, envasado de alimentos -- congelados y otros. Los cloruros interfieren en el análisis de -- nitratos, debido a su acción reductora.

### 3. Principio

El método usado para analizar cloruros es el de Mohr, que usa como indicador el cromato de potasio. El principio en que -- se basa es el siguiente:

Al agregar el cromato de potasio precipita primero el clo -- ruro de plata, que es blanco.



al ir agregando más cromato de potasio, van agotando los iones -- cloruro y cuando estos se acaban, hay un exceso de iones plata, -- los que son detectados inmediatamente por el indicador, formándose se luego el precipitado amarillo rojizo de cromato de plata.



Durante la titulación es muy importante la función del -- pH. Si éste es mayor de 8, los iones plata precipitan como hidró -- xido de plata, en lugar de ser el cromato. Si el pH es menor de -- 7, el ion cromato se convierte a dicromato.

### 4. Reactivos

- a - Agua libre de cloruros. Si es necesario, usar agua -- redestilada o agua desionizada.
- b - Solución indicadora de cromato de potasio. Disolver -- 50 gramos de cromato de potasio anhidro en algo de -- agua destilada. Adicionar solución de nitrato de pla -- ta hasta formar un precipitado rojo. Reposar 12 horas, filtrar y diluir el filtrado a un litro con agua des -- tilada.
- c - Solución titulante de nitrato de plata. Disolver - -- 2.395 gramos de nitrato de plata en agua destilada y -- diluir a un litro.

- d - Solución de cloruro de sodio. Disolver 824.1 mg. de cloruro de sodio, previamente secado a 140°C, en agua libre de cloruro y diluir a un litro.
- e - Reactivos para eliminar interferencias
- e.1 Suspensión de hidróxido de aluminio. Disolver -- 125 gramos de sulfato de potasio y aluminio o -- sulfato de aluminio y amonio (con 12H<sub>2</sub>O para ambos) en un litro de agua destilada. Calentar a -- 60°C y adicionar 55 ml. de hidróxido de amonio -- concentrado, agitando. Esperar que se asiente -- una hora, transferir la mezcla a una botella -- grande y lavar el precipitado con adiciones su-- cesivas, agitando fuertemente y decantando el -- agua destilada hasta que esté libre de cloruros.
- e.2 Solución indicadora de fenolftaleína
- e.3 Hidróxido de sodio, 1N
- e.4 Acido sulfúrico; 1N
- e.5 Peróxido de hidrógeno al 30%

## 5. Procedimiento

Se usan 100 ml. de muestra; si tiene color se adicionan - 3 ml. de la suspensión de hidróxido de aluminio, se mezclan bien, se asientan, se filtra, se lava y se combinan filtrados y lava-- dos. Si hay sulfuros, sulfitos o tiosulfatos, se alcaliniza la - solución a la fenolftaleína con solución de hidróxido de potasio. Se adiciona 1 ml. de peróxido de hidrógeno, se agita y se neutra liza con ácido sulfúrico. La titulación se puede hacer directa-- mente si el pH está entre 7 y 10. Si no lo está, se ajusta a és-- te valor con ácido sulfúrico o hidróxido de sodio. Se agrega - - 1 ml. de la solución indicadora de cromato de potasio. Se titula con nitrato de plata hasta un punto final de color amarillo rosa do.

Se usa un testigo, que usualmente da entre 0.2 y 0.3 ml.- de nitrato de plata.

La valoración del nitrato de plata se hace con solución - de cloruro de sodio y de acuerdo al paso correspondiente a la ti-- tulación.

## 6. Cálculos

$$\text{mg/l Cl}^- = \frac{(A - B) \times N \times 35450}{\text{ml. de muestra}}$$

A = ml. de nitrato de plata usados para la muestra

B = ml. de nitrato de plata usados para el testigo

$$\text{mg/l NaCl} = \text{mg/l Cl}^- \times 1.65$$

## IV.5.3 DUREZA

## 3.1 Discusión general

Se entiende como dureza, la capacidad que tiene el agua - para precipitar el jabón y requiere grandes cantidades de éste - para producir espuma. Las aguas duras provocan incrustaciones en las tuberías de agua caliente, en las calderas, en los evaporadores, en los intercambiadores de calor y en otras unidades donde se incrementa la temperatura del agua.

Las desventajas que causan las aguas duras en los usos -- hogareños, han sido salvadas por la aplicación de detergentes -- sintéticos; aunque el problema de las incrustaciones aún es de -- considerarse, pese a los avances teóricos de la química del agua y del desarrollo de los dispositivos que evitan tales incrustaciones a base de intercambio iónico, como son las zeolitas o --- los polifosfatos cuyo poder secuestrante actúa formando com--- puestos con el calcio y el magnesio.

En términos de la dureza de las aguas, se clasifican éstas de acuerdo a los siguientes valores: .

agua suave _____	hasta 75 mg/l como CaCO <sub>3</sub>
agua poco dura _____	entre 75 y 150 mg/lCaCO <sub>3</sub>
agua dura _____	entre 150 y 300 mg/lCaCO <sub>3</sub>
agua muy dura _____	arriba de 300 mg/l CaCO <sub>3</sub>

La dureza de un agua refleja la naturaleza de las capas - geológicas por las que ha atravesado, a esto se debe la variación de la dureza de un lugar a otro, siendo las aguas superficiales-- menos duras que las subterráneas.

### 3.2 Fuentes de dureza

La causa de la dureza en las aguas, se debe a los cationes divalentes metálicos que reaccionan con el jabón formando precipitados y a ciertos aniones que ocasionan incrustaciones.

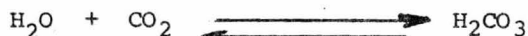
Los cationes principales causantes de la dureza son:

-	Ca <sup>++</sup>	calcio
-	Mg <sup>++</sup>	magnesio
-	Sr <sup>++</sup>	estroncio
-	Fe	ferroso
-	Mn	manganeso

Los iones de aluminio (Al<sup>+3</sup>) y férrico (Fe<sup>+3</sup>) a veces - - causan dureza; pero su solubilidad es muy limitada a los valores existentes de pH y sus concentraciones iónicas son despreciables.

La dureza se origina al contacto del agua con los suelos de formaciones rocosas y en áreas donde la capa vegetal del suelo es gruesa y hay calizas presentes; las aguas suaves o poco duras se originan en áreas donde la capa vegetal es delgada y escasea o no hay caliza.

El agua de lluvia, tal como llega a la tierra, es incapaz de disolver las cantidades enormes de material alcalino que se encuentran en las aguas naturales; el poder disolvente lo adquieren en el suelo donde hay bióxido de carbono, producido por la acción bacterial. El agua del suelo se carga de bióxido de carbono, existente en equilibrio con el ácido carbónico.



Bajo las condiciones ácidas existentes, los materiales alcalinos son disueltos, particularmente las formaciones calizas, aunque - contienen impurezas como sulfatos, cloruros y silicatos.



### 3.3 Significado sanitario

Puesto que no hay acumulación de sales, las aguas duras son tan satisfactorias como las suaves para consumo del hombre. En la industria sí representan un serio problema las aguas duras, por las incrustaciones que ocasionan en el equipo que está en contacto directo con el agua que está a altas temperaturas; lo que hace necesario diseñar tratamientos especiales para la eliminación de la dureza.

### 3.4 Métodos de análisis

La dureza normalmente se expresa en términos de carbonato de calcio. A través de los años se han presentado varios métodos para determinar la concentración de la dureza. Aquí se presentan dos.

#### 3.5 Por cálculo matemático

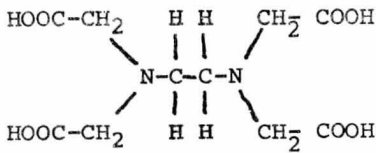
Se considera el más exacto y es aplicable a todos los tipos de aguas; está basado en un análisis completo de iones divalentes, aunque rara vez se hace. La dureza se calcula con la siguiente fórmula:

$$\text{Dureza (mg/l) CaCO}_3 = \text{mg/l M}^{+2} \frac{50}{\text{peso equivalente M}^{+2}}$$

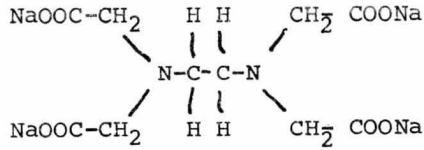
donde  $M^{+2}$  es cualquier ion metálico divalente.

#### 3.6 Por titulación con EDTA

Involucra el uso de una solución valorada del ácido etilendiaminotetraacético o sus sales de sodio; comúnmente se le conoce como EDTA.

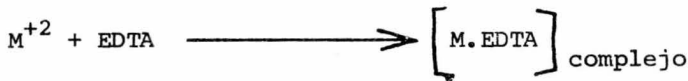


Acido



Sal

Estos compuestos son agentes quelantes y forman iones complejo bastante estables con los cationes causantes de la dureza, especialmente con el Ca y el Mg.



El uso del EDTA depende de la presencia de un indicador, el que nos dice cuándo el EDTA está en exceso, o lo que es lo mismo, en qué momento todos los iones causantes de la dureza han pasado a formar el complejo correspondiente. Este indicador se conoce como eriocromonegro T (ENT). Al añadir al agua dura, una pequeña cantidad de éste colorante, que es azul, se combina con algunos iones de calcio y magnesio para formar inmediatamente el débil complejo color rojo vino:



Durante la titulación con el EDTA, todos los iones que causan dureza y que están libres van formando el complejo y finalmente el EDTA deshace el complejo rojo vino, formando otro más estable que aquél; esto libera al indicador tomando su color original, que es el azul y que nos indica el final de la titulación.

### 3.7 Tipos de dureza

Además de la dureza total, también existe la dureza que se basa en los iones metálicos y los aniones asociados con dichos iones,

## A - Por calcio y magnesio

Estos iones metálicos son los causantes mayores de la dureza en las aguas. En el proceso de cal-carbonato es necesario - conocer, por separado, la dureza al calcio y al magnesio, para - conocer la cantidad requerida de cal en el proceso. Regularmente no se cuenta con un análisis completo del agua y si se quiere sa ber la dureza por magnesio, se mide la dureza total y la dureza- por calcio y la resta de ambas nos da aquélla.

$$\text{Dureza Total} - \text{Dureza de Ca} = \text{Dureza de Mg}$$

## B - Carbonatada y no-carbonatada

La parte de la dureza total, que químicamente es equiva-- lente a los bicarbonatos presentes en un agua, se considera que es la dureza carbonatada. Puesto que los bicarbonatos usualmente se miden como alcalinidad expresada en términos de carbonato de calcio, la alcalinidad en muchas aguas se considera que es igual a la dureza carbonatada, en mg/l. Los iones bicarbonatos son im- portantes porque sirven como fuente de iones carbonato, para pre cipitar los iones calcio a temperaturas elevadas, como sucede -- en las calderas o en el proceso de ablandamiento.



La dureza que químicamente no está relacionada a los bi-- carbonatos, se conoce como dureza no-carbonatada y generalmente- se debe a los cloruros, sulfatos, nitratos y otros de los iones- metálicos que causan la dureza. La dureza no-carbonatada se cal- cula sustrayendo la alcalinidad de la dureza total.

$$\text{Dureza total} - \text{Alcalinidad} = \text{Dureza no-carbonatada}$$

Puesto que ambos términos se expresan como carbonato de - calcio, la sustracción se puede hacer directamente. Este es un - excelente ejemplo del porqué la alcalinidad normalmente se expre sa como carbonato de calcio. La dureza no-carbonatada es la dure



za permanente porque no se puede eliminar o precipitar por ebullición.

### 3.8 Reactivos

1. Solución amortiguadora; disolver, en 143 ml. de hidróxido de amonio concentrado, 16.9 gramos de cloruro de amonio y agregar 1.25 gramos de sal de magnesio del EDTA, diluyendo a 250 ml. con agua destilada. Si no se encuentra la sal de magnesio, se puede usar la sal disódica del EDTA, disolviendo 1.179 gramos.
2. Solución de eriocromo negro T, es la sal sódica del ácido 1-(1hidróxi, 2naftilazo)-5nitro, 2naftol 4sulfónico y se pueden seguir varios métodos.
  - a- Mezclar 0.5 gramos del indicador con 4.5 gramos de clorhidrato de hidroxilamina y se disuelven en 100 ml. de alcohol etílico o isopropílico.
  - b- Disolver de 0.5 a 1 gramo del colorante en 100 gramos de trietanolamina pura o éter etilén glicol mono metílico.
  - c- Mezclar intimamente 0.5 gramos del colorante con 100 gramos de cloruro de sodio para preparar una mezcla pulverizada seca.
3. Solución valorada de calcio; algo de carbonato de calcio se pulveriza y se seca a 103°C por la noche. Este carbonato debe ser patrón primario o grado especial con bajo contenido de metales pesados, álcalis y magnesio. Se pesa 1 gramo en un matrás erlenmeyer de 500 ml. se agrega lentamente ácido clorhídrico (1+1) hasta que se disuelva todo el carbonato. Se agregan 200ml. de agua destilada y se hierve por unos minutos, se deja enfriar y se agregan unas cuantas gotas del indicador rojo de metilo, se ajusta a un color anaranjado agregando hidróxido de amonio 3N o ácido clorhídrico (1+1). Se pasa a un matrás aforado de un litro y se diluye hasta la marca.

### 3.9 Procedimiento

Se toman 25 ml. de muestra y se diluyen a 50 con agua des

tilada. Se agrega 1 ó 2 gotas de la solución amortiguadora para tener un pH entre 10 y 10.1. Agregar 2 gotas de la solución del indicador a una cantidad propia del indicador de la fórmula en polvo. Agregar lentamente y con agitación continua al titulador, hasta que desaparezca de la solución el último tinte rojizo. En el vire, el color de la solución es azul, bajo condiciones normales. La duración de la titulación no debe exceder de 5 minutos a partir de la adición de la solución amortiguadora.

Si en la titulación no se obtiene un vire preciso de color, significa que el indicador se ha deteriorado o que es necesario agregar un inhibidor.

En éste estudio no fue necesario hacer uso de inhibidores 3-10 Cálculos.

$$\text{Dureza (EDTA) mg/lCaCO}_3 = \frac{\text{ml. de EDTA} \times 1000 \times f}{\text{ml. de muestra}}$$

$$f = \frac{\text{mg. de CaCO}_3}{\text{ml. de titulador EDTA}}$$

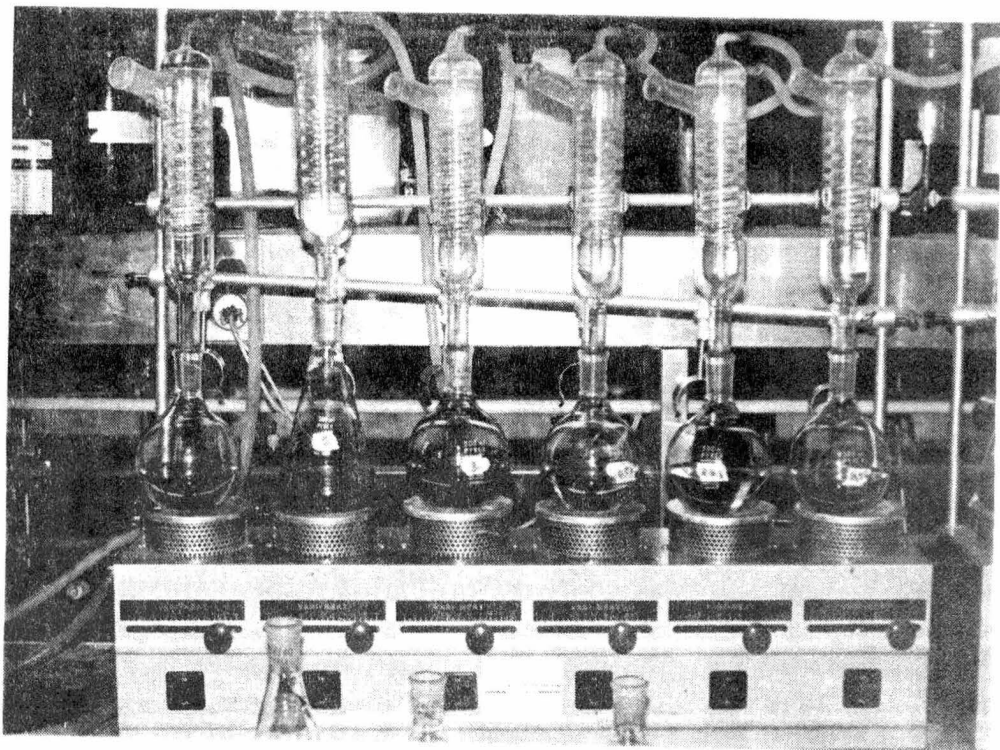
#### IV.5.4 DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO

##### 4.1 Consideraciones Generales

La demanda química de oxígeno es un análisis que ampliamente se usa como un medio de medir la fuerza de contaminación de desechos y desechos industriales. Se basa en el hecho de que todos los compuestos orgánicos, con algunas excepciones, se pueden oxidar a bióxido de carbono y agua por la acción de fuertes agentes oxidantes, bajo condiciones ácidas.

Durante el análisis de la demanda química de oxígeno (DQO), la materia orgánica es convertida a bióxido de carbono y agua, haciendo caso omiso de la asimilación biológica de las sustancias.

La glucosa y la lignina son oxidadas completamente y como resultado, la demanda química de oxígeno es mayor que la demanda biológica de oxígeno (DBO) y puede ser mucho mayor, cuando sustancias en cantidades significativas se encuentran presentes, siendo muy resistentes a la oxidación biológica. Los desechos de la pulpa de la madera, son ejemplos excelentes por su alto contenido de la lignina.



FOTOGRAFIA QUE MUESTRA UN APARATO VARY-HEAT CON SEIS POSICIONES EN EL SE EFECTUA EL REFLUJO HASTA DE SEIS MUESTRAS PARA ANALIZAR LA DEMANDA QUIMICA DEL OXIGENO

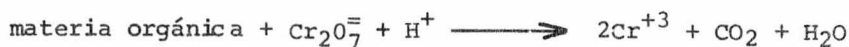
El análisis de la demanda química de oxígeno tiene sus -- limitaciones. Una de las principales es que no es hábil para poder diferenciar entre la materia orgánica oxidable biológicamente y la biológicamente inerte. Otra limitación es que no provee una evidencia de la velocidad a la cual, la materia activa biológicamente podría ser estabilizada, bajo condiciones existentes -- en la naturaleza.

La mayor ventaja del análisis de la demanda química de -- oxígeno, es el corto tiempo requerido para su evaluación, pues -- sólo se necesitan 3 horas en comparación con los 5 días requeridos para analizar la demanda bioquímica de oxígeno; por tanto, -- en algunos casos es sustituto de éste último análisis.

#### 4.2 Método del dicromato de potasio.

El dicromato de potasio es un compuesto relativamente barato y puede obtenerse en un alto grado de pureza. El tipo de -- grado analítico, después de haberlo secado a 105°C por una hora, se puede usar para preparar una solución de una normalidad exacta pesando directamente y diluyendo al volumen apropiado. El ion dicromato es un potente oxidante en soluciones que son fuertemente ácidas.

De una manera general, las reacciones involucradas se -- pueden representar como sigue:

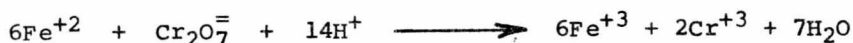


Por ésta razón y algunas otras, se aprovecha el dicromato como un reactivo ideal para la medida de la demanda química de -- oxígeno.

En cualquier método de análisis de éste tipo, debe estar presente un exceso del agente oxidante, para asegurarse que toda la materia orgánica se ha oxidado. Es necesario medir ése exceso, de tal manera que la cantidad presente reducida pueda ser medida. Ordinariamente se usa una solución de un agente reductor. -- Todas las soluciones de agentes reductores gradualmente son oxidadas por el oxígeno disuelto del aire, a menos que se tome un especial cuidado y se proteja lo mejor posible. El ion ferroso es un excelente agente reductor para el dicromato, sus soluciones -- se pueden preparar partiendo del sulfato ferroso amoniacal, -- el que se obtiene en forma pura y estable. Sin embargo, en solu-

ción es lentamente oxidado por el oxígeno, por tanto, es necesario hacer una titulación cada vez que se vaya a usar. Dicha titulación se hace con una solución de dicromato de potasio 0.25N.

Las reacciones que se efectúan son:



#### 4.3 Equipo

Aparato de reflujo, consistente de un matraz erlenmeyer - de 500ml., entrada 24/40, un condensador entrada 24/40 y una - - parrilla con reóstatos variables, para asegurar una ebullición - adecuada en los matraces erlenmeyer.

#### 4.4 Reactivos

a \_ Solución de dicromato de potasio 0.25N; en una estufa secar por 2 horas y a 103°C dicromato de potasio, gra do patrón primario, pesar 12.259 gramos de ése reacti vo, disolver y diluir a 1000 ml. con agua destilada.

b \_ Acido sulfámico, grado analítico.

Para eliminar interferencias, debido al nitrógeno de- nitritos, debe existir en el matraz de reflujo una -- cierta cantidad de ácido sulfámico, el que debe ser - agregado a la solución de dicromato, en concentración igual a 10 miligramos por cada miligramo de nitrógeno de nitrito existente.

c \_ Acido sulfúrico concentrado que contenga 22 gramos de sulfato de plata,  $\text{Ag}_2\text{SO}_4$ , por cada 2.25 litros de áci do, si éste tiene como densidad 1.8.

d \_ Solución de sulfato ferroso amoniacal; disolver 39 -- gramos del reactivo,  $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2 (\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , en agua - destilada; agregar 20 ml. de ácido sulfúrico concen-- trado, enfriar y diluir a un litro. Esta solución de- be ser titulada, cada vez que se use, con otra de di- cromato de potasio, de la siguiente manera: en 100 ml. de agua destilada se diluyen 10 ml. de dicromato de - potasio, se adicionan 30 ml. de ácido sulfúrico con-- centrado, se espera a que se enfríe y se titula con -

sulfato ferroso amoniacal, usando 3 gotas del indicador ferroín.

- e \_ Solución indicadora de ferroín; en agua destilada se diluyen 1.485 gramos de 1,10 fenantrolina monohidratada junto con 695 miligramos de sulfato ferroso heptahidratado,  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , y se diluyen a 100 ml.

$$\text{Normalidad} = \frac{\text{ml. del dicromato} \times 0.25}{\text{ml. del sulfato ferroso amoniacal}}$$

- f \_ Sulfato de plata, reactivo en polvo.  
 g \_ Sulfato mercúrico, cristales en grado analítico.  
 h \_ Acido sulfámico en grado analítico.

#### 4.5 Procedimiento

En el matraz de reflujo se colocan 0.4 gramos del sulfato mercúrico, se adiciona la muestra de agua, que deben ser 20 ml. -- o una alícuota diluída a éste volúmen con agua destilada; se agregan 10 ml. de la solución de dicromato de potasio y algunas perlas de vidrio (éstas perlas deben haberse calentado por una hora a  $600^\circ\text{C}$ ). se Conecta el matraz al condensador y lentamente se -- adicionan 30 ml. del ácido sulfúrico que contiene el sulfato de plata, a traves de la abertura del condensador.

La función del sulfato mercúrico es eliminar todo el ion-cloruro que exista en la muestra y siempre debe mantenerse la -- relación de 10 : 1 de sulfato mercurico a ion cloruro. La mezcla se pone a reflujo durante 2 horas. Enfriar y lavar el condensador con agua destilada. Diluir la mezcla con agua destilada a cerca de 200 ml., enfriar a temperatura de cuarto y titular el exceso de dicromato con sulfato ferroso amoniacal, usando 3 gotas del -- indicador de ferroín. Se lleva a reflujo un testigo con 20 ml. -- de agua destilada e iguales cantidades de los mismos reactivos -- que se usan para la muestra.

Se titula, testigo y muestra, hasta el punto final del -- cambio de color verde azulado a un color café rojizo.

$$\text{mg/l DCO} = \frac{(x-y) (N) (8000)}{\text{ml. de muestra}}$$

x = ml. de sulfato ferroso amoniacal usados para el tes--  
tigo.

y = ml. de sulfato ferroso amoniacal usados para la mues--  
tra.

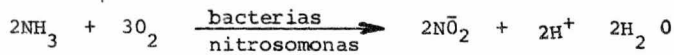
N = normalidad del sulfato ferroso amoniacal en el momen--  
to de la titulación.

#### IV.5.5 NITROGENO

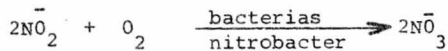
##### 5.1 Discusión General

El estudio del nitrógeno, en sus diferentes tipos de oxi  
dación, es importante por la intervención que tiene en la vida--  
animal y vegetal. Estos cambios de valencia los efectúan las --  
bacterias, de acuerdo a las condiciones aeróbicas o anaeróbicas  
que prevalezcan en el medio considerado. El nitrógeno tiene co--  
mo valencia -3 en el amoníaco, ( $\text{NH}_3$ ); como nitrógeno atómico su  
valencia es cero; en el anhídrido del ácido nítrico tiene va--  
lencia de +3; el anhídrido del ácido nitroso contiene al nitró--  
geno con una valencia de +5.

Los desechos humanos y animales transportados por las --  
aguas residuales, contienen la forma orgánica del nitrógeno. En  
condiciones aeróbicas, las bacterias nitrificantes, las nitroso  
monas, convierten al amoníaco en nitritos y aprovechan la ener--  
gía generada en ésta oxidación.



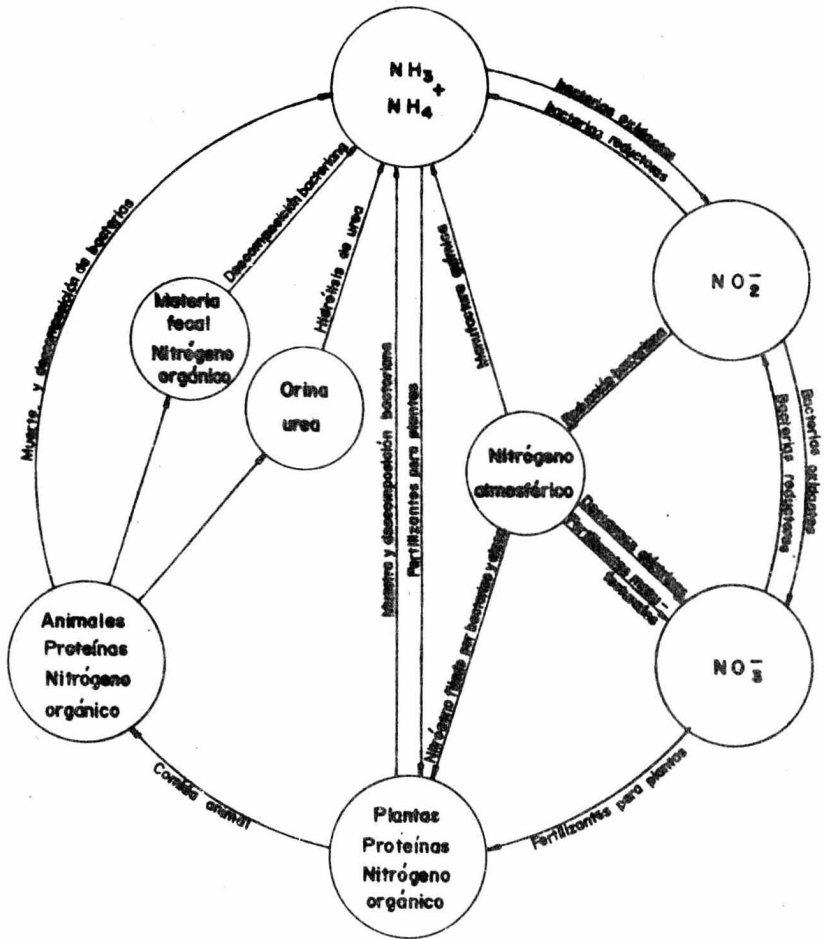
Los nitritos son oxidados a nitratos por las bacterias--  
del grupo nitrobacter.



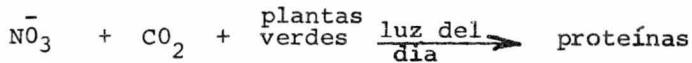
La desnitrificación consiste en reducir todos los nitra--  
tos y nitritos en condiciones anaeróbicas. La atmósfera sirve--  
como un gran tanque de almacenamiento de nitrógeno que constan--  
temente es removido por la acción de las descargas eléctricas y oxi  
dado a pentóxido de nitrógeno, que unido con el agua, genera el  
ácido nítrico que la lluvia lleva hasta la tierra. Los nitra--  
tos sirven para fertilizar las plantas y convertirlas a prote--  
inas.

FIG. 6

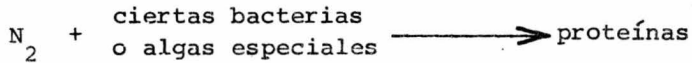
CICLO DEL NITROGENO



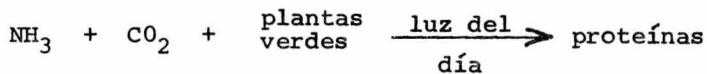




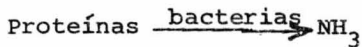
El nitrógeno atmosférico también es convertido a proteínas por fijación del mismo mediante ciertas algas y bacterias.



Los compuestos de amonio abastecen de nitrógeno amoniacal a las plantas y producen las proteínas.



La materia fecal animal contiene cantidades apreciables de materia protéica no asimilable, constituyendo el nitrógeno-orgánico. Este y la materia protéica remanente en los cuerpos de animales muertos y plantas son convertidos a amoníaco, por acción de las bacterias saprófitas, bajo condiciones aeróbicas o anaeróbicas.



El amoníaco liberado por la acción bacteriana sobre la urea y las proteínas, puede ser usado directamente por las plantas, para producir proteína vegetal. Si se libera un exceso a los requerimientos de la planta, ése exceso es oxidado por las bacterias nitrificantes, en condiciones aeróbicas, hasta nitratos, pasando por nitritos. Bajo condiciones anaeróbicas, los nitratos y los nitritos son reducidos a amoníaco por algunas bacterias; aunque también llega a producirse gas nitrógeno, que escapa a la atmósfera.

Análisis químicos con desechos de agua recientemente contaminada, han mostrado que mucho del nitrógeno se encuentra en forma orgánica, constituyendo las proteínas y amoníaco. Con el transcurso del tiempo, el nitrógeno orgánico gradualmente se va convirtiendo en nitrógeno amoniacal y este, en condiciones aeróbicas, pasa a nitritos y nitratos.

Se representa en graficas las diferentes formas de nitrógeno, en mg/l, referidas al tiempo transcurrido y se obtienen las curvas de la figura 5.5.1

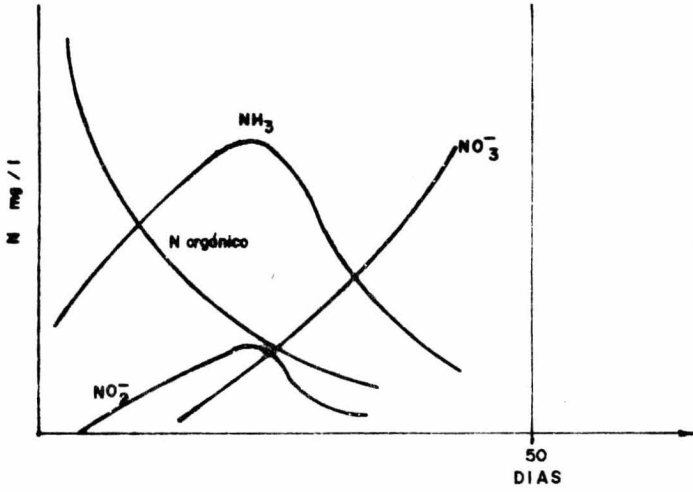
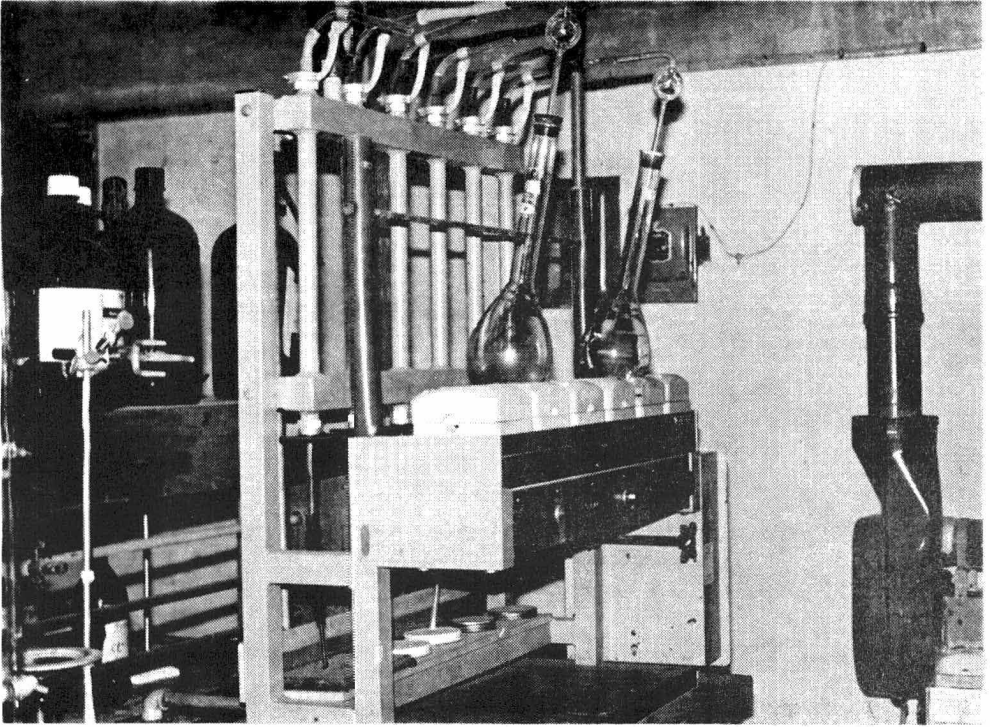


FIG. 5.5.1 DIFERENTES FORMAS DEL NITROGENO CON RELACION AL TIEMPO TRANSCURRIDO.



LA PRESENTE FOTOGRAFIA MUESTRA UN APARATO KJELDHAL DE SEIS POSICIONES PARA DESTILACION DEL NITROGENO AMONÍACAL Y DEL ORGANICO

## 5.2 Nitrógeno Orgánico

Este análisis incluye el nitrógeno de aminoácidos, aminas, amidas, imidas, nitroderivados y algunos otros compuestos que tienen muy poco significado en la ingeniería sanitaria. En aguas residuales domésticas, el nitrógeno orgánico se encuentra en forma de proteínas o sus productos de degradación, como los polipéptidos y los aminoácidos. Muchos de los compuestos orgánicos que contienen nitrógeno, se derivan del amoníaco y de la materia orgánica por oxidación.

Durante el análisis, los cambios que sufre la materia son los siguientes:

1. Se expulsa el agua para dejar que el ácido sulfúrico - concentrado ataque la materia.
2. Al iniciarse la digestión se forma gran cantidad de -- humos blancos, pertenecientes a la ebullición del ácido sulfúrico.
3. La mezcla se torna negra por la acción deshidratante-- del ácido sulfúrico sobre la materia orgánica.
4. Ocurre la oxidación del carbón. Durante la ebullición-- se forman pequeñas burbujas debido a la liberación del  $\text{CO}_2$  y del  $\text{SO}_2$ .

Una completa destrucción de la materia orgánica, se indica por el aclaramiento de la solución.

6. La digestión debe continuarse, por lo menos 20 minutos despues de que la muestra se ha clarificado, para asegurarse de la completa destrucción de la materia orgánica.

El exceso de ácido sulfúrico debe ser neutralizado y el pH de la muestra debe ajustarse a un valor de 7 ó mayor.

Usualmente se usa la fenolftaleína, como indicador, para obtener un pH arriba de 8.

El nitrógeno en el destilado, se puede medir por el método de nesslerización o por titulación con ácido orgánico.

## 5.3 Nitrógeno Amoniacal

Este tipo de nitrógeno es un producto resultante de la --

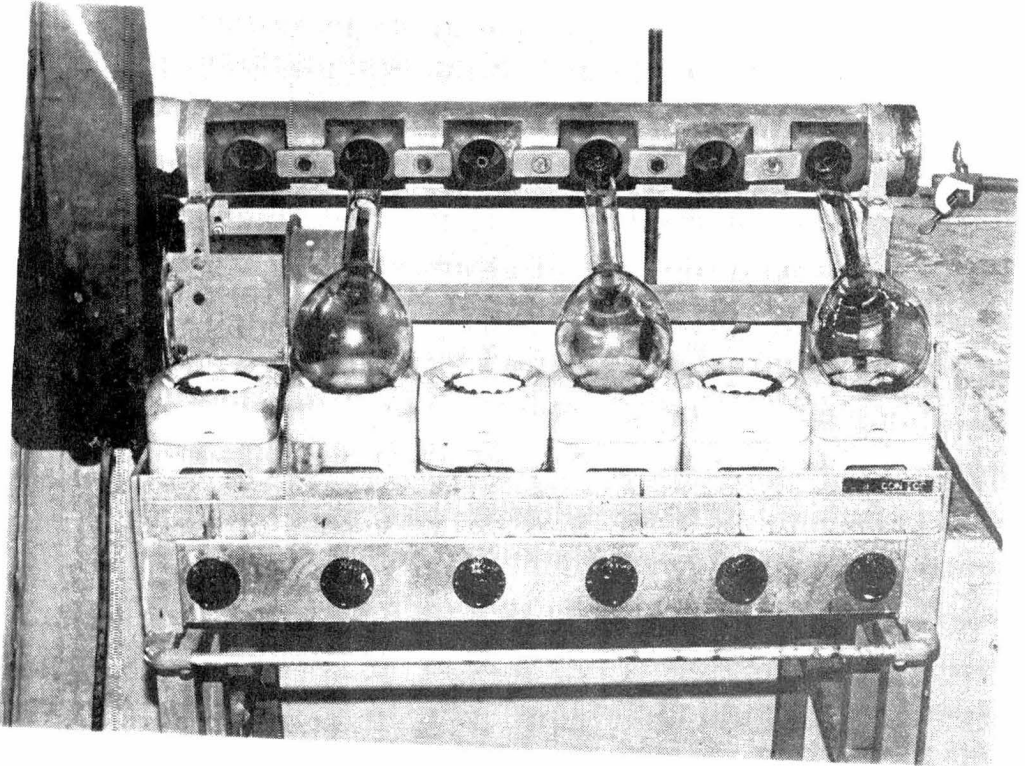


FIGURA 3. LOS ELEMENTOS DE LA MESA DE TRABAJO DEL DISPOSITIVO  
DE FILTRACIÓN Y SEPARACIÓN EN POSICIONES.

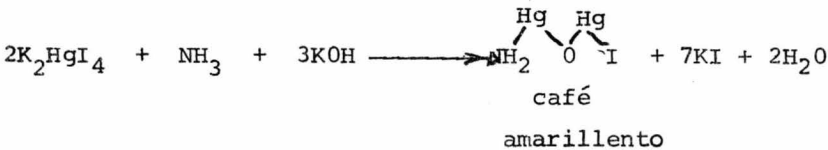
degradación biológica de las proteínas animales y vegetales.

La presencia del nitrógeno amoniacal en aguas superficiales, indica contaminación doméstica y cuando las aguas para beber lo contienen, es necesario adicionar cloro en grandes cantidades, produciendo cloro residual.

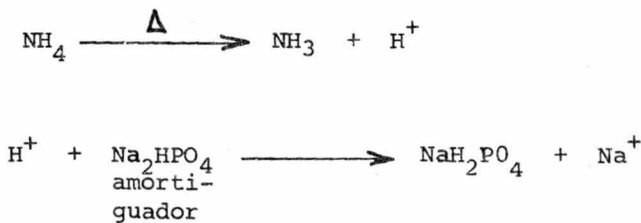
Para determinar las cantidades, en mg/l, del nitrógeno amoniacal, se usan los métodos siguientes:

- por nesslerización
- por destilación

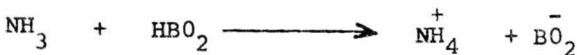
Por el primer método, en una solución fuertemente alcalina, el reactivo de nessler se combina con el amoníaco para formar una dispersión coloidal café amarillenta, que sigue la ley de Beer-Lambert y se lee su absorbancia a 425 milimicras.

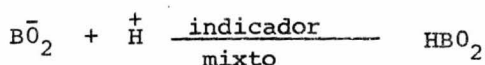


El segundo método se usa para muestras que tienen más de 1 mg/l de nitrógeno amoniacal. El destilado se efectúa en presencia de un amortiguador de fosfato, el que mantiene el pH entre 7.2 y 7.4 y las reacciones son las siguientes:



Al desprenderse el nitrógeno amoniacal, es absorbido en una solución de ácido bórico, que contiene un indicador mixto para detectar el punto final en la titulación respectiva con ácido sulfúrico diluido.





verde con  
pH = 8

Púrpura  
con pH = 7

### 3.1 Reactivos

- a- Agua libre de amoníaco, preparada por el método inter-cambio iónico o por destilación.
- b- Solución amortiguadora de fosfato. Disolver 14.3 -- gramos de fosfato de potasio dibásico ( $\text{K}_2\text{HPO}_4$ ) y -- 68.8 gramos de fosfato de potasio monobásico ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ) y diluír a un litro con agua libre de amoníaco.
- c- Solución de tiosulfato de sodio con agente declorado Disolver 3.5 gramos de tiosulfato de sodio pentahi-- dratado ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) en agua libre de amoníaco y diluír a un litro.
- d- Hidróxido de sodio, IN
- e- Acido sulfúrico, IN
- f- Solución de ácido bórico. Disolver 20 gramos del reac- tivo ( $\text{HBO}_2$ ) en agua libre de amoníaco y diluír a un- litro.
- g- Acido sulfúrico 0.02N. Diluír 20 ml. de ácido sulfúri- co IN a un litro con agua destilada libre de amoníaco.

### 3.2 Procedimiento.

Usar 500 ml. de muestra o una alícuota diluída a tal volúmen. Eliminar el cloro residual adicionando agente declora- dor en equivalencia a la existencia del cloro residual. Si es - necesario, neutralizar a un pH de 7 con ácido ó base diluídos - y usando potenciómetro. Adicionar 10 ml. de solución amortigua- dora de fosfatos. Regularmente éste volúmen es suficiente para- mantener un pH de 7.2 a 7.4 durante la destilación.

Para muestras que contienen más de 250 mg. de calcio, --

adicionar 10 ml. más de solución amortiguadora y ajustar el pH a 7.4 con ácido o base.

En el matríz Kjeldhal de 800 ml., colocar 500 de agua - destilada, 10 ml. de solución amortiguadora de fosfato y algunas perlas de vidrio, conectar el tren de destilación y lavarlo con vapor hasta que el destilado no dé trazas de amoníaco. - Vaciar el matríz de destilación dejando las perlas de vidrio - verter en él la muestra decolorada, neutralizada y amortiguada. Destilar a una velocidad que se puedan obtener entre 6 y - 10 ml cada minuto, con el extremo de salida del destilado su- mergido en la solución absorbente del ácido bórico, (50ml.) -- que se encuentra en un matríz erlenmeyer de 500 ml. Colectar - por lo menos 300 ml. del destilado. Retirar el destilado colec- tado, procurando no hacer contacto con el tubo de salida y con- tinuar la destilación por algunos minutos para limpiar el apa- rato.

Se hace un testigo con agua destilada y se le aplican - todos los pasos anteriores.

### 3.3 Cálculos

$$\text{mg/l Namoniacal} = \frac{(A-B) \times 280}{\text{ml. de muestra}}$$

A= ml. de ácido sulfúrico que se usan al titular la --- muestra.

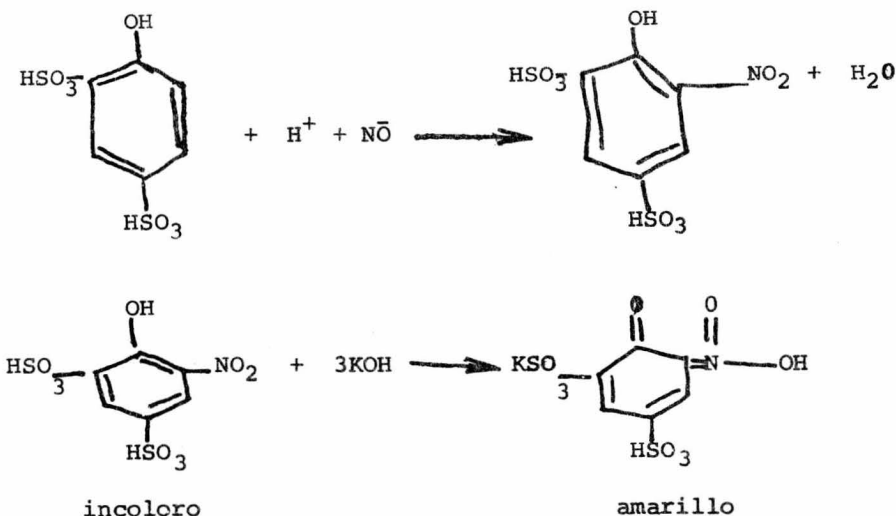
B= ml. de ácido sulfúrico que se usan al titular el -- testigo.

### 5.4 Nitrógeno de nitratos

Para determinar la concentración del nitrógeno como nitratos, en las aguas del Rio Bravo, se usó el método del ácido fenoldisulfónico; éste reacciona con la muestra para formar un nitroderivado el que, en solución alcalina, sufre un rearrreglo molecular -- dando un compuesto amarillo, al que se le mide su - absorbancia a 410 milimicras.



## 4.1 Reacciones



## 4.2 Aparatos

Espectrofotómetro para usarse a 410 milimicras con un paso de luz de 1 cm. o mayor.

Tubos nessler, forma alta de 50 ó 100 ml.

## 4.3 Reactivos

- a- Solución patrón de sulfato de plata. Disolver -- 4.40 gramos de sulfato de plata ( $Ag_2SO_4$ ) libre de nitratos en agua destilada y diluir<sup>4</sup> a un litro; 1 ml. equivale a 1 mg. de Cl.
- b- Acido fenoldisulfónico. Disolver 25 gramos de fenol blanco puro en 150 ml. de ácido sulfúrico -- concentrado. Adicionar 75 ml. de ácido sulfúrico fumante (15% de  $SO_2$  libre), agitar bien y calentar por dos horas en un baño de agua caliente.
- c- Hidróxido de amonio concentrado
- d- Solución de EDTA. Mezclar 50 gramos de la sal -- sódica del EDTA con 20 ml. de agua destilada y formar una pasta húmeda. Adicionar 60 ml. de hidróxido de amonio hasta disolución total.

- e- Solución madre de nitrato. En agua destilada disolver 721.8 miligramos de nitrato de potasio anhidro,  $\text{KNO}_3$ , y diluír a un litro. Esta solución contiene 100 miligramos de nitrógeno.
- f- Solución patrón de nitrato. De la solución madre,-- tomar 50 ml. y evaporar hasta sequedad en un baño de vapor y el residuo disolverlo en 2 ml. de áci-- do fenoldisulfónico y diluír hasta 500 ml. con --- agua destilada; 1 ml. = 10 microgramos de nitróge-- no= 44.3 microgramos de nitrato.

Para eliminar posibles interferencias se usa alguno de -- los siguientes reactivos.

- . Suspensión de hidróxido de aluminio. En un litro de --- agua destilada se disuelven 125 gramos de sulfato de -- aluminio y potasio ( $\text{AlK}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ ); tambien se pue-- de usar el sulfato de aluminio y amonio ( $\text{AlNH}_4(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ ). Calentar a  $60^\circ\text{C}$  y adicionar lentamente y agitan-- do 55 ml. de hidróxido de amonio. Dejar que se asiente-- por una hora y pasar a un frasco grande, lavar el preci-- pitado por decantaciones sucesivas del agua destilada,-- hasta que esté libre de cloruros, nitratos y nitritos.-- Se usa solamente la suspensión concentrada.
- . Acido sulfúrico, 1N
- . Permanganato de potasio, 0.1N. Disolver 316 gramos de--  $\text{KMnO}_4$  en agua destilada y diluír a 100 ml.
- . Solución de peróxido de hidrógeno diluída. Disolver -- 10 ml. del peróxido de hidrógeno al 30%, bajo en nitrí-- tos, hasta 100 ml. con agua destilada.
- . Hidróxido de sodio, 1N

#### 4.4 Procedimiento

Si la muestra tiene un color de más de 10 unidades, se -- elimina con 3 ml. de suspensión de hidróxido de aluminio en 150 ml. de muestra, se agita fuertemente y se espera que se asiente se filtra y se descarta la primera porción del filtrado.

Para la conversión de nitritos a nitratos, a 100 ml de - muestra se adiciona un mililitro de ácido sulfúrico y se agita. A gotas, se adiciona con agitación, solución de permanganato o-

solución de agua oxigenada. Si se usa el permanganato, el tinte rosado persiste por 15 minutos. Hacer la deducción apropiada al final del análisis de nitratos para la concentración de nitratos, como se describe en nitrógeno de nitratos.

Para eliminar los cloruros, se determina su contenido -- en una muestra de 100 ml. y se trata con una cantidad equivalente de solución de nitrato de plata. Se elimina el precipitado por filtración o centrifugación, coagulando el cloruro de -- plata, si es necesario, por calentamiento.

La muestra clarificada se neutraliza a un pH de 7 y en -- una cápsula de porcelana se evapora a sequedad sobre un baño -- de agua caliente. Con un agitador de vidrio remover el residuo -- con 2 ml. de ácido fenoldisulfónico, para disolver por completo todos los sólidos. Diluir con 20 ml. de agua y adicionar con -- agitación 7 ml. de hidróxido de amonio ó 6 ml. hidróxido de potasio, hasta que se desarrolle el máximo de color. Quitar los -- residuos de hidróxido floculante filtrando en un crisol gooch -- o en un papel filtro o agregando EDTA, gota a gota y agitando -- hasta disolver la turbidez.

Transferir la solución clara a un tubo de nessler o a -- un matrás aforado de 100 ml. diluir a la marca y mezclar.

Las lecturas fotométricas se hacen en celdas de 1 cm. de paso o más, a una longitud de onda de 410 milimicras o usando -- un filtro violeta entre 400 y 425 milimicras. Si es posible --- usar celdas de 5 cm. para intervalos de nitrógeno de 5 a 50 microgramos. Las lecturas se hacen tomando como referencia un tes -- tigo preparado con los mismos volúmenes de ácido fenoldisulfó-- nico, hidróxido de potasio que se usan para las muestras.

El mínimo detectable por éste método, en ausencia de in -- terferencias, es de 1 microgramo de nitrógeno de nitrato.

#### 4.5 Cálculos

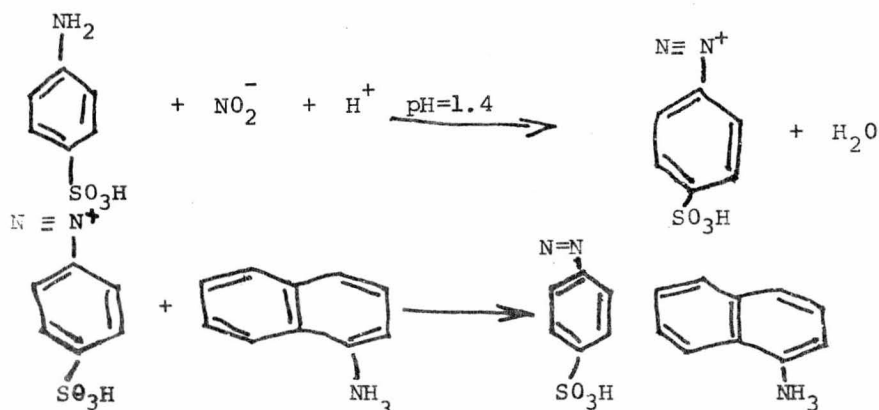
$$\text{mg/l N nitratos} = \frac{\text{microgramos de nitrato de la curva}}{\text{ml. de muestra}}$$

La curva de calibración se hace con soluciones patrón en -- concentraciones de 0, 0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 1.0, 1.5, 2.0, 3.5, -- 6.0, 10, 15 y 20 ml. aplicándoles el mismo procedimiento.

## 5.5 Nitrógeno de Nitritos

Los nitritos existen en las aguas como un estado intermedio diario de la descomposición biológica del nitrógeno orgánico. Las bacterias nitrosomonas convierten el nitrógeno amoniacal a nitritos, si prevalecen las condiciones aeróbicas. En condiciones anaerobicas, la reducción de los nitratos por las bacterias, da como resultado los nitritos. En las aguas para procesos industriales, los nitritos se usan como agentes inhibidores de la corrosión. Usualmente los nitritos no se encuentran en cantidades considerables; la presencia de estos indicaría la existencia de alguna fuente contaminante.

El método del ácido sulfanílico es el comunmente usado para saber la concentración de nitritos en una muestra de agua. El principio en que se basa es el siguiente: los iones nitritos reaccionan con el ácido sulfanílico para dar origen a un diazocompuesto, que precipita con un color rojo intenso y en un espectrofotómetro se mide su absorbancia a 520 milimicras.



### 5.1 Aparatos

Espectrofotómetro para usarse a 520 milimicras con un paso de luz de 1 cm. o mayor.

Tubos de nessler de 50 ml. forma alta.

### 5.2 Reactivos

- Agua libre de nitritos. Por cada litro de agua destilada adicionar un ml. de ácido sulfúrico concentrado y 0.2 ml. de sulfato manganoso ( 36.4 gramos de  $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  por 100 ml. de agua); agregar de 1 a 3 ml

de solución de permanganato de potasio ( 40 miligramos por litro de agua). Después de 15 minutos, decolorar con solución de oxalato de amonio (900 miligramos de  $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  por litro de agua)

- . Solución de EDTA. Disolver 500 miligramos del reactivo en agua libre de nitritos y diluir a 100 ml.
- . Solución de ácido sulfanílico. Disolver completamente 600 miligramos de ácido sulfanílico en 70 ml. de agua destilada caliente enfriar y adicionar 20 ml. de ácido clorhídrico concentrado y agregar 600 miligramos del cloruro de l-naftilamina. Diluir a 100 ml con agua destilada y mezclar enérgicamente. Después de una semana todavía se puede usar aunque se decolore y forme precipitado.
- . Solución amortiguadora de acetato de sodio, 2M. Disolver 16.4 gramos de  $\text{NaC}_2\text{O}_2\text{H}_3$  ó tambien 27.2 gramos de  $\text{NaC}_2\text{O}_2\text{H}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  en agua libre de nitrito y diluir a 100 ml. Si es necesario se filtra.
- . Solución madre de nitritos. Disolver 1.232 gramos de nitrito de sodio,  $\text{NaNO}_2$ , en agua libre de nitritos y diluir a un litro. Preservar con 1 ml. de cloroformo; 1 ml. = 250 microgramos de N.
- . Solución de permanganato de potasio, 0.05N. Disolver 1.6 gramos de  $\text{KMnO}_4$  en un litro de agua destilada; -- mantenerla en botella oscura y con tapón de vidrio, -- pudiéndose usar hasta una semana después de su preparación. Para obtener la normalidad de ésta solución -- se hace lo siguiente:

En vasos de 400 ml. se pesan varias porciones de oxalato de sodio entre 100 y 200 miligramos; pero acercandose más a 100. A cada vaso agregar 10 ml. de ácido sulfúrico (1+1) y calentar entre 90° y 95°C. Titular rápidamente con la solución de permanganato de potasio agitando constantemente hasta que persista, por un minuto, un color rosa débil. No permitir que la temperatura baje de 85°C, si es necesario se calienta el vaso durante la titulación. Se hace un testigo con agua destilada y ácido sulfúrico.

$$\text{Normalidad del } \text{KMnO}_4 = \frac{\text{gramos de } \text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4}{(\text{A} - \text{B}) \times 0.06701}$$

A = ml gastados para la muestra

B = ml gastados para el testigo

Se promedian los resultados de varias titulaciones.

Pipetear, en un matr az con tap on de vidrio, 50 ml. de solución de permanganato 0.05 N y adicionar 5 ml. de ácido sulfúrico concentrado y 50 ml. de la solución madre de nitritos. Agitar, tapar y calentar entre 70  y 80 C en una plancha caliente. Neutralizar el olor del permanganato adicionando suficiente oxalato de sodio (3.350 gramos de  $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$  por litro - agua) en porciones de 10 ml. Titular el exceso de oxalato con la solución de permanganato, hasta desaparecer el rosado - ido. Hacer un testigo con agua destilada.

El contenido de nitrógeno de nitritos en la solución ma se calcula con la siguiente ecuación:

$$A = \frac{(B \times C) - (D \times E) \times 7}{F}$$

A = mg/l de nitrógeno de nitritos

B = ml. totales usados de permanganato de potasio.

C = normalidad del permanganato de potasio.

D = ml. totales del reductor agregado

E = normalidad del reductor

F = ml. de la solución madre

Cada ml. de permanganato de potasio consumido por los nitritos, corresponde a 1.725 miligramos de  $\text{NaNO}_2$    a 0.35 mi gramos de N.

- . Solución intermedia de nitritos. Calcular el volúmen- G de la solución madre de nitritos, requerida para la solución intermedia de nitritos mediante la ecuación.

$$G = \frac{12.5}{A}$$

Este volumen calculado diluirlo a 250 ml. con agua destilada; 1 ml. = 50 microgramos de N. Preparar diariamente.

- . Solución patrón de nitritos. De la solución intermedia, se toman 10 ml. y se diluyen a un litro con agua destilada libre de nitritos; 1 ml. = 0.500 microgramos de N. Preparar diariamente.
- . Suspensión de hidróxido de aluminio. Se prepara igual como se describe en Nitrógeno de Nitratos.

### 5.3 Procedimiento

Si hay turbiedad y color se adicionan 2 ml. de la suspensión de hidróxido de aluminio a 100 ml. de la muestra, - agitar fuertemente, esperar que se asiente y filtrar, -- descartando la primera porción del filtrado.

A 50 ml. de la muestra clarificada, a la que se le ha -- neutralizado el pH a 7, adicionar un ml. de la solución del EDTA y un ml. del ácido sulfanílico. Mezclar enérgicamente y despues de 7 minutos agregar un ml. de cloruro de naftilamina y un ml. de acetato de sodio. Mezclar bien y despues de media hora, leer la absorbancia a 520 milimicras, referido a un testigo y corriendo al mismo tiempo los patrones que darán los puntos para la curva de calibración.

$$\text{mg/l Nnitritos} = \frac{\text{microgramos de N de la curva}}{\text{ml. de muestra}}$$

$$\text{mg/l } \bar{\text{NO}}_2 = \text{mg/l Nnitritos} \times 3.29$$

## IV.5.6 DETERGENTES

### 6.1 Introducción.

En México se consumen anualmente 31600 toneladas de detergente base, dodecil bencen sulfonato, las que son diluidas por 2360 millones de metros cúbicos de agua y esto hace esperar que cada litro de agua residual contenga 13.1 miligramos - del detergente y puesto que éste es bastante tóxico, se pre---senta la necesidad de investigar sus efectos en las aguas re---ceptoras.

Sobre el poder contaminante del Alquil Bencen Sulfonato (ABS), se han suscitado no pocas controversias, asimismo, sobre sus efectos letales y subletales que causan a la flora y a la fauna acuáticas. Esto ha tenido tal influencia en algunos países, que han sustituido aquel detergente por el Alquil Sulfonato Lineal (LAS) y el Alquil Sulfonato Olefina (AOS), los que sí son susceptibles de ser degradados por microorganismos en sustancias más simples; sin embargo, el efecto subletal de estos últimos compuestos, está sujeto a discusiones, aunque los efectos letales sí se han constatado.

En México se fabrican y emplean detergentes que corresponden a la fórmula ABS.

En vista de lo expuesto y en la necesidad de contar con una política racional sobre el uso y fabricación de los detergentes, se ha pretendido proporcionar datos sobre el potencial dañino de los detergentes LAS, ABS y AOS en su forma técnica y comercial, respecto al recurso hidráulico.

Para lograr lo anterior, se han realizado experimentos sobre varias especies de peces comunes en nuestro país, como son la Carpa de Israel, la mojarra y la trucha Arcoiris (huevos, alevinos y juveniles). En el campo agrícola se ha experimentado sobre jitomate, frijol, cebada, espinaca y rábano; en animales como en cerdos, conejos y gallinas y en algas de agua dulce.

## 6.2 Generalidades

Los componentes básicos de los detergentes, son compuestos orgánicos con propiedades tensoactivas en solución acuosa, por esto se le conocen como surfactantes. Cualquier molécula de un compuesto de éste tipo, presenta una cadena polar alifática, que es hidrofílica y una parte aromática con características hidrofóbicas.

A ésta dualidad en la naturaleza de la molécula, se deben las propiedades humectantes, dispersantes y emulsificantes de los detergentes.

Grupos Hidrofóbicos

ácidos grasos

parafinas

Grupos Hidrofílicos

carboxilatos

sulfatos



olefinas	sulfonatos
alkilbencenos	hidroxilos
alcoholes	amonio cuaternario
alkilfenoles	
polioxipropilenos	

Regularmente los detergentes comerciales, tienen de 20 - a 30% de detergentes base y de 70 a 80% de productos aditivos, - de los cuales los más comunes son: el sulfato, el silicato, el pirofosfato y el tripolifosfato de sodio. Los detergentes se -- clasifican de acuerdo a su disociación electrolítica, dependiendo de la naturaleza del grupo polar, en aniónicos, catiónicos y no-iónicos.

- a- Los surfactantes aniónicos, son sales de sodio que -- ionizadas producen el detergente activo. Los más co-- munes son: el sulfonato de alquil lineal (LAS) y el - sulfonato de alquil benceno (ABS). La diferencia estri ba en la cadena cerrada y muy ramificada del ABS.
- b- Lo que se puede decir de los surfactantes catiónicos, es que son compuestos cuaternarios de amonio, que --- presentan actividad antimicrobial y que se usan como agentes de sanidad por sus propiedades desinfectantes
- c- Los surfactantes no-iónicos, son aquellos que no se - ionizan y que actúan sobre las moléculas haciéndolas solubles.

No hace mucho tiempo salieron al mercado los detergentes conocidos como biológicos; son una mezcla de detergente común, - perfume, colorante y un agente biológico, que es una enzima pro ducida por la bacteria *Bacillus Subtilis*, que al encontrarse en condiciones favorables de temperatura y humedad, desintegra las moléculas de grasa, destruyendo también las proteínas.

### 6.3 Importancia Sanitaria.

Los problemas causados por el alto contenido de detergen tes, en las aguas y aguas de desecho, son muchos y muy varia-- dos. Es indeseable la formación de espuma en los rios, desde -

el punto de vista estético, asimismo, la toxicidad producida, - representa un peligro para la flora y la fauna acuáticas. Estas aguas contaminadas, usadas para riego, contaminan los suelos y - por tanto los cultivos.

Otro problema derivado de la existencia de espumas en las aguas, es la dificultad que presentan a la transferencia del -- oxígeno del aire, ocurriendo también en unidades de aereación - de plantas de tratamiento.

El contenido de fosfato de los detergentes, junto con -- otros nutrientes contribuye a una sobre-población de la flora - acuática, especialmente algas, que al morir por acción degradativa de los organismos microscópicos, origina una gran demanda de oxígeno disuelto, perjudicando a los peces y al propio cuer po de agua; éste fenómeno se conoce como eutroficación.

#### 6.4 Métodos de Análisis.

En la fabricación de detergentes, el detergente base o- surfactante más comunmente usado es el sulfonato de alquil ben- ceno (ABS): por tanto, éste es el que se puede encontrar, con ma yor probabilidad, en las aguas crudas. Por tal razón, el ABS - se ha seleccionado como patrón para aplicar los métodos de aná lisis.

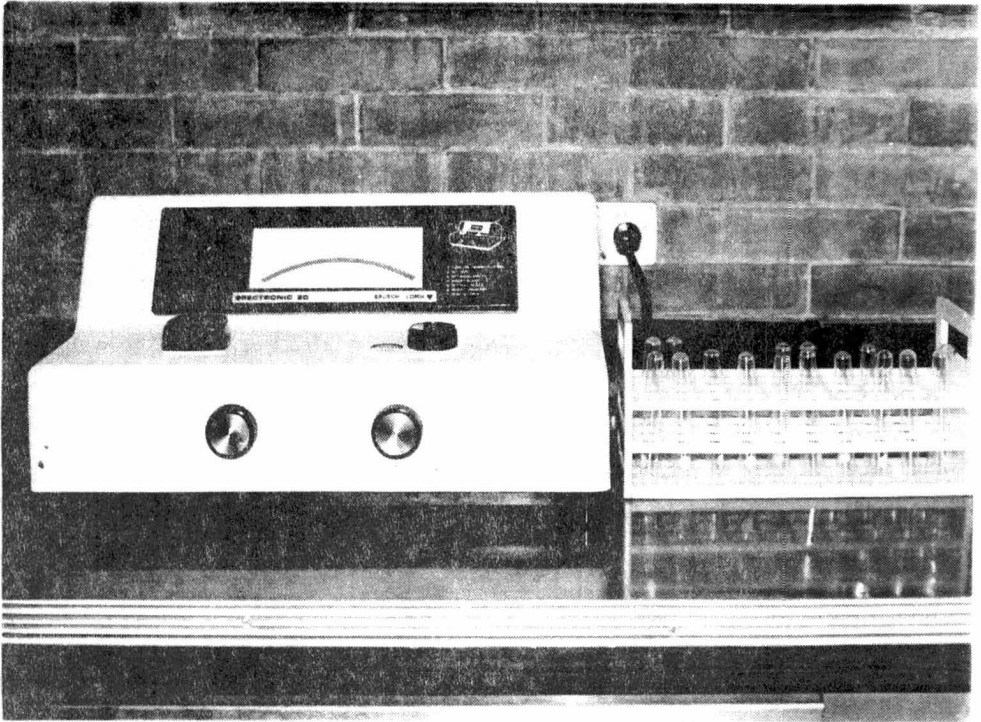
##### A- Método del Azul de Metileno

Se basa en la formación de la sal color azul, cuando -- los surfactantes reaccionan con el azul de metileno. La inten- sidad del color es proporcional a la concentración de la sal - existente, la que es soluble en cloroformo.

La intensidad se mide en un espectrofotómetro a una --- longitud de onda de 625 milimicras.

Al determinar la concentración de ABS en aguas, aunque- hay errores negativos, se presentan con mayor frecuencia los - errores positivos. Las interferencias positivas son los sulfa- tos orgánicos, sulfonatos, carboxilatos, fosfatos y fenoles -- que reaccionan formando complejos con el azul de metileno y -- también los cianatos, cloruros, nitratos y tiocinatos inorgáni cos, que forman pares de iones con el azul de metileno.

Los materiales orgánicos causan bajos resultados, como- las aminas.



ESPECTROFOTOCOLORIMETRO CON SUS RESPECTIVAS CELDAS DE UN CENTI-  
METRO DE PASO DE LUZ. LAS LECTURAS SE PUEDEN HACER EN ABSORBAN-  
CIA O EN TRANSMITANCIA.

## Equipo.

Un espectrofotómetro para usarse a 625 milimicras con un paso de luz de un cm. o mayor.

Embudos de separación de 500 ml. con tapón de teflón.

Tripiés desarmables.

## Reactivos

- . Solución madre de ABS. Un gramo de éste detergente -- 100% activo, se disuelve en agua destilada y se diluye a un litro; 1.00 ml. = 1 miligramo de ABS. Se prepara cada semana y debe conservarse en refrigeración.
  - . Solución patrón de ABS. Diez ml. de la solución madre se diluyen a un litro con agua destilada; 1.00 ml. = .010 miligramos de ABS. Se prepara diariamente.
  - . Solución indicadora de fenolftaleína. Se disuelven -- 5 gramos de fenolftaleína en 500 ml. de alcohol etílico o isopropílico al 95% y se agregan 500 ml. de agua destilada. Se agrega sosa 0.02N, a gotas, hasta aparición de un color rosado tenue.
  - . Hidróxido de sodio IN. Se disuelven 40 gramos de --- NaOH en agua destilada y se diluye a un litro.
  - . Acido sulfúrico IN. Cuidadosamente se diluyen 28 ml. de  $H_2SO_4$  concentrado en un litro de agua.
  - . Cloroformo
  - . Solución del azul de metileno
- Se disuelven 100 miligramos del reactivo en 100 ml. de agua destilada. De ésta solución, 30 ml. se pasan a un matraz aforado de 1000 ml. y se agregan 500 ml. de agua destilada, 6.8 ml. de ácido sulfúrico concentrado y 50 gramos de fosfato de sodio dibásico monohidratado. Se agita hasta disolver completamente y se diluye a un litro.
- . Solución de Lavado.

A 6.8 ml. de ácido sulfúrico concentrado, diluidos en -- 500 ml. de agua, se adicionan 50 gramos de fosfato de sodio dibásico monohidratado ( $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ), se agita hasta disolver -- completamente y se diluye a un litro.

### 6.5 Procedimiento

El volúmen de muestra que se seleccione para ser analizada, está en función de la concentración de ABS que se calcula esperar, de acuerdo a la siguiente tabla.

Concentración esperada de ABS en mg/l	Volúmen de muestra seleccionado en ml.
0.025 a 0.080	400
0.081 a 0.40	250
0.41 a 2.0	100
2.1 a 10.0	20
10.1 a 100.0	2

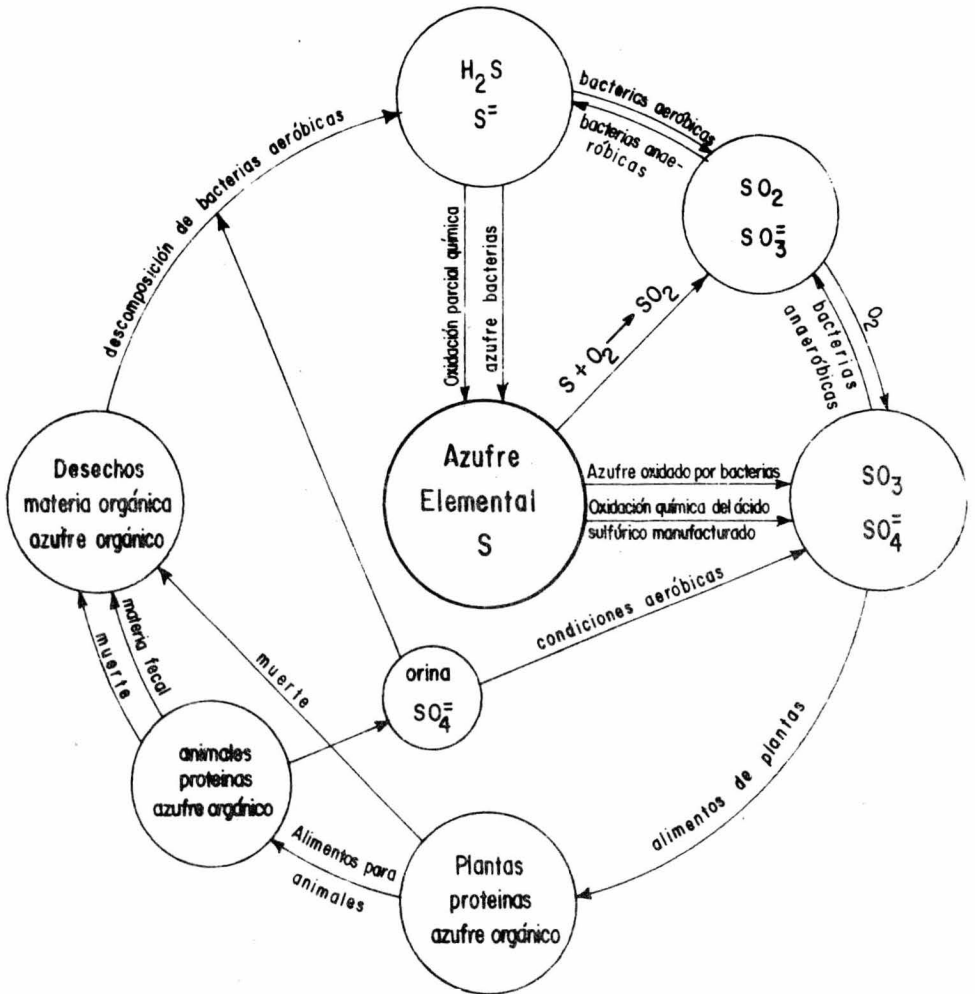
Si el volúmen de muestra no llega a 100 ml. debe completarse con agua destilada.

Una vez seleccionado el volúmen de muestra apropiado, se pone en un embudo de separación, se alcaliniza con sosa, -- usando fenolftaleína como indicador y se acidula con ácido --- sulfúrico.

Se agregan 10 ml. de cloroformo y 25 ml. de solución -- del azul de metileno, se agita vigorosamente por 30 segundos - y se deja que las fases se separen. La capa de cloroformo se - pasa a otro embudo de separación, lavando el primer embudo con algo de cloroformo y pasando los lavados al segundo embudo. -- En éste se repite la extracción por tres veces, usando en cada ocasión porciones de 10 ml. de cloroformo; si el color azul -- en la fase acuosa desaparece, se adicionan otros 25 ml. de --- azul de metileno. Se acumulan todos los extractos en el segundo embudo y se agregan 50 ml. de solución lavadora, agitando - vigorosamente durante 30 segundos; se deja reposar y se extrae la capa de cloroformo filtrando en la lana de vidrio y recibiendo en un matrás aforado de 100 ml.; se repite el lavado dos veces con 10 ml. de solución lavadora se lava la lana de vi--- drio y el embudo con cloroformo, se pasan los lavados al ma--- tráz aforado y se diluye el aforo con cloroformo.

Se lee la absorbancia de la solución a 652 milimicras,-

FIG. 5-1 CICLO DEL AZUFRE



con referencia a un testigo de cloroformo, en una gráfica de absorbanza contra miligramos de ABS.

Esta curva se prepara con una serie de 10 embudos de separación, a los que se les ha adicionado 0, 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15 y 20 ml. de la solución patrón de ABS. Se les agrega agua destilada hasta completar 100 ml. en el embudo y se le aplican los pasos del procedimiento descrito antes.

Cálculos.

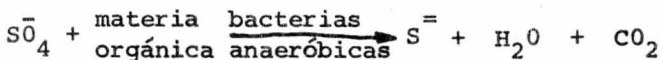
$$\text{mg/l ABS} = \frac{\text{miligramos de ABS de la gráfica} \times 1000}{\text{mililitros de muestra}}$$

#### IV.5.7 SULFATOS

##### 7.1 Consideraciones Generales

El ion sulfato es uno de los que se encuentran con mayor frecuencia en las aguas naturales. Es importante en abastecimientos públicos, cuando se le encuentra en cantidades excesivas. Por tal razón el servicio de Salud Pública en los Estados Unidos recomienda una concentración menor a 250mg/l. En abastecimientos industriales, es importante el conocimiento de los sulfatos por la tendencia que tienen para formar incrustaciones duras, en aguas de ebullición e intercambiadores de calor.

Los sulfatos son importantes en desechos y desechos industriales, debido a que son responsables, indirectamente, de serios problemas asociados con el manejo y tratamiento de los desechos. Estos problemas son el olor y la corrosión que resulta de la reducción de los sulfatos a sulfuros de hidrógeno, en condiciones anaeróbicas, en presencia de las bacterias.



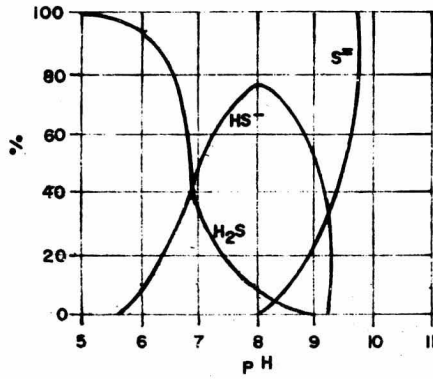


FIG. 5-2 RELACION DEL PH CON LOS  
 $S^{2-}$ ,  $HS^-$  y  $H_2S$



Es importante el ciclo del azufre, representado en la -- figura 5-1, esencialmente para entender con facilidad las trans formaciones que ocurren.

## 7.2 Problemas de Olor

Los sulfatos y los nitratos sirven de fuente proveedora de oxígeno para la oxidación bioquímica, producida por las bacterias anaeróbicas, en ausencia del oxígeno disuelto. El ion -- sulfato es reducido, bajo condiciones anaeróbicas, a ion sulfuro y éste establece un equilibrio con el ion hidrógeno, de acuerdo a su constante de ionización primaria:

$$K = 5.7 \times 10^{-8}$$

Las relaciones existentes entre el sulfuro de hidrógeno, el ion sulfhidrato y el ion sulfuro, a varios niveles de pH -- en una solución molar, se muestran en la figura 5-2.

Para valores de pH arriba de 8, el azufre se reduce y -- existe en solución con los iones sulfhidrato y sulfuro y la -- cantidad de sulfuro de hidrógeno libre, es tan pequeña que su presión parcial es tan insignificante que no causa problemas -- de olor.

A niveles de pH abajo de 8, el equilibrio se rompe ha-- cia el sulfuro de hidrógeno no ionizado y a un pH de 7 existe-- en un 80%.

En éstas condiciones, la presión parcial del sulfuro de hidrógeno es lo suficientemente grande para causar serios problemas de olor.

## 7.3 Corrosión de cloacas

En la parte sur de los Estados Unidos, donde los desechos tienen altas temperaturas y los tiempos de retención en las cloacas son grandes, ocurre lo que se llama "corrosión de corona" cuando hay en existencia grandes concentraciones de -- sulfatos. El problema va siempre asociado con la reducción de los sulfatos a sulfuro de hidrógeno y éste es el culpable de la corrosión.

La solución acuosa del sulfuro de hidrógeno, se compor

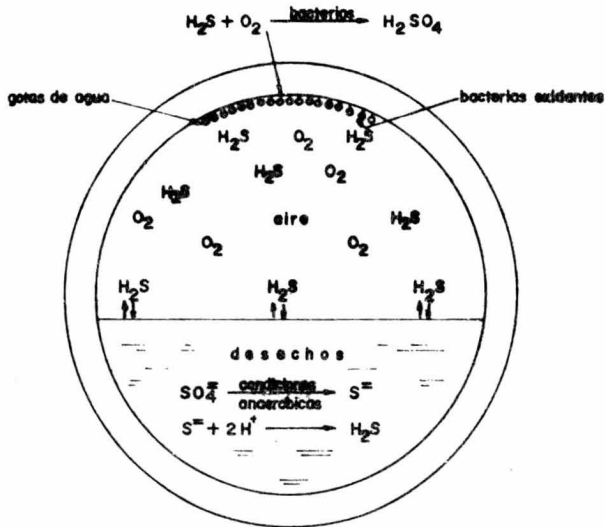


FIG. 5-3 FORMACION DEL SULFURO DE HIDROGENO EN CLOACAS Y LA CORROSION DE CORONA RESULTANTE DE LA OXIDACION DEL SULFURO DE HIDROGENO A ACIDO SULFURICO.

ta como un ácido débil, semejante al ácido carbónico y tiene - pequeño efecto en concreto de buena calidad.

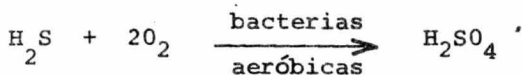
No obstante, ocurre la corrosión de corona e indirectamente el sulfuro de hidrógeno está involucrado.

Las cloacas, realmente son parte de un sistema de tratamiento, por los cambios biológicos que ocurren constantemente durante el transporte de los desechos. Estos cambios requieren oxígeno y si éste no se encuentra en cantidades suficientes en la reaereación natural, entonces se efectúa la reducción de los sulfatos a ion sulfuro.

A niveles normales de pH, que imperan en las cloacas, - gran parte del ion sulfuro es convertido a sulfuro de hidrógeno y algo más es liberado a la atmósfera, por las mismas cloacas. No habría corrosión si las cloacas estuvieran bien ventiladas y las paredes permanecieran secas.

Si la ventilación en las cloacas es deficiente, lentamente se va acumulando la humedad en las paredes y en la corona de desagüe. Entonces, el sulfuro de hidrógeno se disuelve en las gotas de agua acumuladas y en ésta forma no tiene efectos dañinos.

Las bacterias capaces de oxidar el sulfuro de hidrógeno a ácido sulfúrico, siempre están presentes en la naturaleza y - sobre todo en los desechos domésticos y es natural que algunos de estos organismos infecten las paredes y la corona de las cloacas. Debido a las condiciones aeróbicas que prevalecen, estas bacterias oxidan el sulfuro de hidrógeno a ácido sulfúrico.



Y como éste si es un ácido fuerte, ataca la tubería de concreto.

#### 7.4 Métodos de Análisis

Tres métodos se pueden emplear para conocer la concentración de sulfatos en un cuerpo de agua; su uso depende de la cantidad existente de sulfatos y de los propósitos para los cuales se hace dicho análisis.

Los métodos son:

- a- Gravimétrico
- b- Turbidimétrico
- c- Volumétrico

Para nuestros propósitos y de acuerdo a la concentración que se esperaba encontrar en el Rio Bravo, el método que se usó fue el Turbidimétrico, el cual se basa en el hecho de que el -- sulfato de bario tiende a precipitar como un coloide, en presencia de cloruro de sodio, que aumenta dicha tendencia.

El método es muy rapido y tiene amplia aplicación, puesto que muestras que tienen 10 mg/l o más de sulfatos se pueden analizar tomando porciones pequeñas y diluyéndolas a un volumen conveniente.

Por las variables que entran en juego en éste análisis, -- se recomienda que una muestra patrón de ion sulfato se incluya en cada serie de muestras, para verificar las condiciones usadas en la prueba, que son comparables a las establecidas en la curva de calibración.

#### 7.5 Aparatos

1. Agitador magnético
2. Espectrofotómetro para usarse a 420 milimicras con un paso de luz de 4 a 5 cms.
3. Cronómetro con aproximación de décimas de segundo.
4. Cuchara con capacidad de 0.2 a 0.3 de ml.

#### 7.6 Reactivos

- a- Reactivo acondicionador: mezclar 50 ml. de glicerina con una solución que contiene 30 ml. de ácido -- clorhídrico concentrado, 300 ml. de agua destilada -- 100 ml. de alcohol etílico o isopropílico y 75 gramos de cloruro de sodio.
- b- Cristales de cloruro de bario, 20-30 mallas.

- c- Solución patrón de sulfato: disolver 147.9 gramos de sulfato de sodio anhidro en agua y diluir a un litro

### 7.7 Procedimiento

En un matr az erlenmeyer de 250 ml. se colocan 100 de -- muestra, se adicionan exactamente 5 ml. de la solución acondicionadora y se mezcla con el agitador magnético; mientras se -- est  agitando se agrega una cuchara de cristales de cloruro de bario e inmediatamente se toma el tiempo, se deja agitar un mi nuto a rapidez constante, se pasa la solución a una celda del -- espectrofotómetro y se mide la turbiedad durante 4 minutos a -- intervalos de 30 segundos. Se selecciona la lectura máxima y -- se lee en una curva de calibración preparada con patrones, a -- los que se les ha aplicado el mismo procedimiento y que van -- de 0 a 40 mg/l de ion sulfato, con incrementos de 5 mg/l. Arri -- ba de 40 mg/l la exactitud del método decrece y la suspensión del sulfato de bario pierde estabilidad.

### 7.8 C culos

$$\text{mg/l } \text{SO}_4 = \frac{(\text{lectura de la gráfica en } \text{SO}_4) (1000)}{\text{mililitros de muestra}}$$

## IV.5.8 SOLIDOS

### 8.1 Introducción

Los sólidos estan referidos al residuo que permanece -- despues de evaporar y secar a 105 C una muestra de agua. Todos los materiales que ejercen una presión de vapor considerable, -- a ésta temperatura, son desprendidos en los procesos menciona -- dos. El residuo que se observa representa los sólidos que tie -- nen una presión de vapor insignificante. Este residuo est  com -- puesto por materiales orgánicos e inorgánicos, debido a esto -- las pruebas son empíricas y sencillas para efectuarse.

Cuando en una muestra de agua se analizan los sólidos, -- son muy importantes los resultados que se obtienen y debe to -- marse en cuenta la p rida de peso, debido a la volatilización de la materia orgánica, el agua mecánicamente adsorbida, el -- agua de cristalización, los gases de la descomposición qu mi -- ca y el peso ganado por la oxidación, puesto que dependen de -- la temperatura y del período de calentamiento.

## 8.2 Sólidos Totales

Así se conoce al material que queda en un recipiente -- previamente tarado, después de evaporar una muestra de agua y de haberla secado a una temperatura definida.

En procesos de ablandamiento de agua, el tipo que se -- use dependerá del contenido de sólidos totales; pues los méto-- dos de precipitación los disminuyen y los métodos de intercambio iónico los aumentan.

En las aguas residuales domésticas y aguas contaminadas, el análisis de sólidos es de escaso valor porque su interpreta-- ción no es muy exacta.

## 8.3 Sólidos Disueltos y suspendidos

En aguas potables, casi toda la materia se encuentra -- en forma disuelta y consiste en:

- a- sales inorgánicas
- b- pequeñas cantidades de materia orgánica
- c- gases disueltos.

Para determinar la cantidad de materia disuelta e insoluble, se efectúan pruebas en las porciones de muestra filtrada y no filtrada.

Una manera rápida de conocer la cantidad de sólidos disueltos que tiene un agua es midiendo su conductividad. Esta indica la capacidad que tiene el agua para conducir la corriente eléctrica, que a su vez se relaciona con la concentración de sales ionizadas. Aun cuando su medida se ve afectada por la naturaleza de los iones y sus concentraciones relativas puede dar -- una estimación en las variaciones del contenido mineral disuelto; por tanto, con el uso de un factor empírico, la conductividad es pecífica nos permite estimar aproximadamente, el contenido mineral disuelto de las muestras de aguas.

El análisis de los sólidos suspendidos, es en extremo -- valioso en aguas contaminadas y residuales, determinando la eficiencia de unidades de tratamiento.

En el control de la contaminación de una corriente, se considera que todos los sólidos suspendidos son sólidos sedimentables, en donde para nada influye el factor tiempo.

## 8.4 Sólidos Fijos y Volátiles

Regularmente la meta que se persigue, al analizar este tipo de sólidos, en cualquier tipo de aguas y muestras de lodos, es obtener una medida de la cantidad de materia orgánica presente.

La prueba consiste en efectuar una combustión y con ésta la materia orgánica se transforma en bióxido de carbono y agua. Aquí es necesario controlar la temperatura pues de ella depende la descomposición y volatilización de sustancias inorgánicas. - La pérdida de peso se interpreta en términos de materia orgánica.

El procedimiento normal es llevar a calcinación a 550°C. La materia orgánica, como los residuos de carbón resultantes-- de la pirólisis de carbohidratos, puede ser oxidada a velocidad razonable, a temperaturas algo inferiores a la de calcinación, - con las siguientes reacciones:

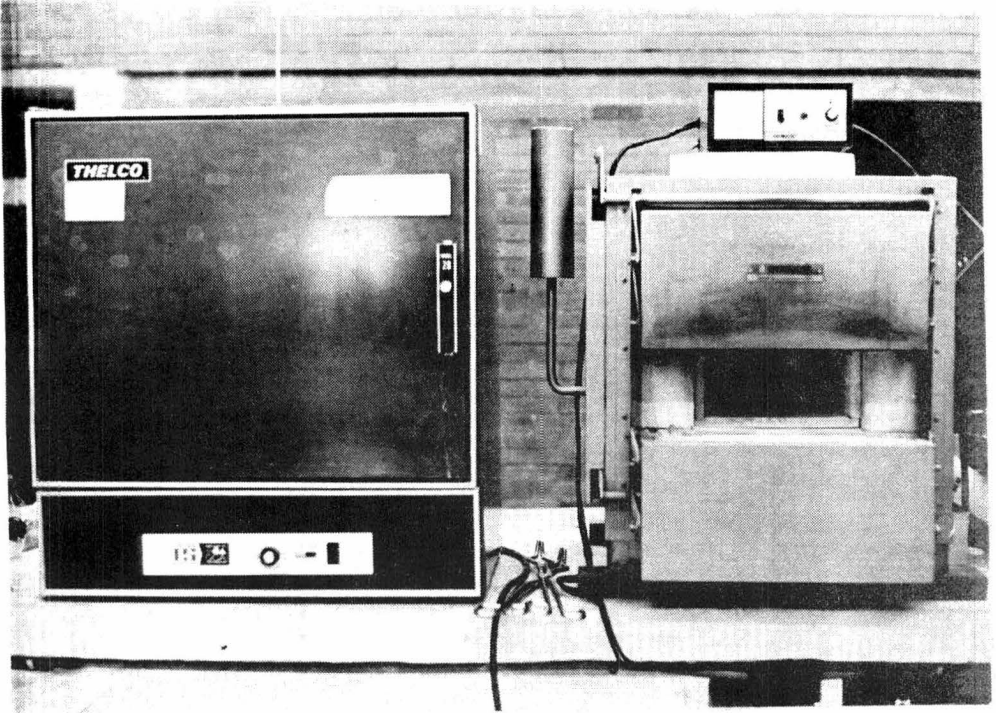


por tanto, la descomposición de las sales inorgánicas existentes, es bastante reducida. Cualquier compuesto de amonio, que no ha sido liberado en el secado, se volatiliza; pero la mayoría de otras sales inorgánicas, son relativamente estables, excepción hecha del carbonato de magnesio, mostrado por la ecuación química siguiente:



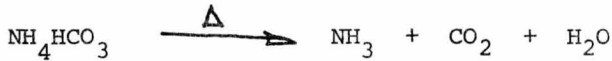
En el análisis del contenido volátil de los sólidos suspendidos, las sales inorgánicas disueltas no se consideran, porque son eliminadas en el proceso de filtración.

Al hacer un análisis de lodos, los compuestos de amonio que existen como bicarbonatos, se volatilizan completamente en la evaporación y el secado y no están presentes para interferir en el análisis de sólidos volátiles:



FOTOGRAFIA DE UNA ESTUFA Y UNA MUFLA PARA EL ANÁLISIS DE LOS SÓLIDOS FIJOS Y VOLÁTILES, RESPECTIVAMENTE.





Cuando se hace un análisis de sólidos volátiles, se producen serios errores, si no se controla la temperatura de calcinación.

El carbonato de calcio se descompone a más de 825°C siendo uno de los componentes mayores de las sales inorgánicas que normalmente existen en las aguas. Si la calcinación se efectúa adecuadamente, la pérdida de peso es una medida razonablemente exacta de la materia orgánica y el residuo remanente o ceniza, representan los sólidos fijos.

### 8.5 Sólidos Sedimentables.

Se conoce así a todos los sólidos en suspensión que sedimentan por gravedad y lo hacen sólo aquellos sólidos que son más gruesos y con una gravedad específica mayor que la del agua.

Los lodos son acumulaciones de sólidos sedimentables.- Su medida es importante en Ingeniería Sanitaria por determinar la conducta física de las corrientes residuales que entran en las masas de agua naturales.

Los análisis de Sólidos Sedimentables, tiene aplicaciones muy importantes. En el análisis de residuos industriales -- se usa para determinar la necesidad y el diseño de tanques de sedimentación primaria en plantas que emplean procesos de tratamiento biológico.

También se usan para determinar la eficiencia de las unidades de sedimentación, en la operación de plantas de tratamiento de aguas residuales.

### 8.6 Interpretación Sanitaria

El Servicio de la Salud Pública de los Estados Unidos recomienda una concentración de sólidos de 500 mg/l, para aguas destinadas al uso doméstico, aunque fija como límite máximo -- 1000 mg/l. Aguas que contienen gran cantidad de sólidos, pueden ser laxantes y son inferiores en cuanto a sabor se refieren y ocasionan otras molestias a las personas que no están --- acostumbradas a su ingestión.

En muchas áreas es imposible obtener agua cuyo contenido de sólidos sea inferior a 500 mg/l, consecuentemente, es imposible observar la recomendación antes dicha, sin aplicar al--

guna técnica de tratamiento.

### 8.7 Temperatura de secado

Cuando los residuos se secan a  $103^{\circ}\text{C}$ , se cree que retienen no sólo el agua de cristalización, sino también el agua mecánicamente absorbida. Hay pérdida de bióxido de carbono por la conversión de bicarbonatos a carbonatos. La materia orgánica que se volatiliza a ésta temperatura es bien poca.

Los residuos secados a  $180^{\circ}\text{C}$ , pierden casi toda el agua mecánicamente absorbida; pero puede permanecer poca agua de cristalización, especialmente si los sulfatos están presentes.

La materia orgánica es reducida por volatilización; pero no es completamente destruída.

Los bicarbonatos son convertidos a carbonatos y estos pueden ser parcialmente descompuestos a óxidos o sales básicas.

Se pierden algunos cloruros y nitratos.

Las aguas con materia orgánica y contenido mineral, que se usan para consumo doméstico, se pueden analizar a cualquier temperatura; pero las que tienen considerable materia orgánica o las que tienen un pH mayor de 9, deben secarse a temperatura más baja.

El informe debe indicar la temperatura de secado.

### 8.8 Equipo y material

- 1\_ Cápsulas de porcelana para 100 ml.
- 2\_ Probetas graduadas de 100 ml.
- 3\_ Desecador de vidrio o aluminio
- 4\_ Estufa para secado
- 5\_ Mufla para el calcinado

- 6\_ Balanza analítica
- 7\_ Crisoles gooch para 50 ml.
- 8\_ Matraces kitasato para filtración al vacío
- 9\_ Bomba para hacer vacío
- 10\_ Discos de fibra de vidrio para filtración
- 11\_ Estufa para baño maria
- 12\_ Conos imhoff



### 8.9 Procedimiento

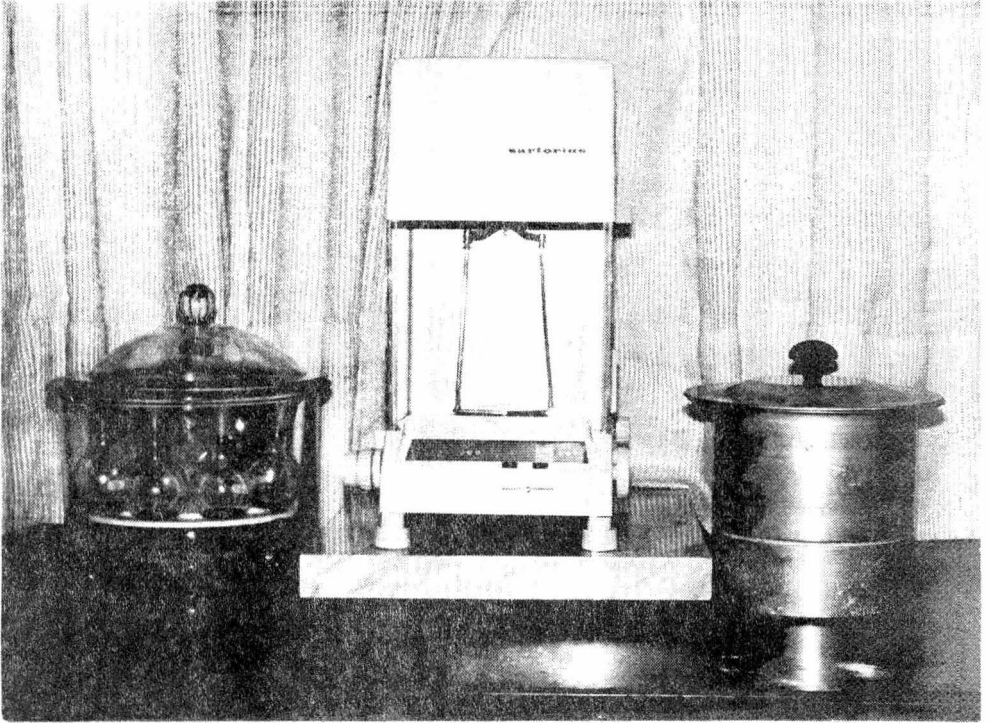
QUÍMICA

- a- Para Sólidos Totales, Fijos y Volátiles

A muestras con pH menor de 4.3, se agrega sosa y se mantiene ése pH durante la evaporación; el peso que se adiciona de sosa se deduce del peso del residuo.

Es conveniente hacer el enfriado, primero en aire y luego en un desecador para completarlo a una atmósfera.

- a-1 Calcinar la cápsula de porcelana
- a-2 Enfriar una hora en el desecador y pesar (A)
- a-3 Medir 100 ml. de muestra en la probeta graduada y pasarlos a la cápsula de porcelana.
- a-4 Evaporar la muestra a sequedad en la estufa a 105°C o en un baño maria primero y despues



BALANZA ANALITICA CON SUS DESICCADORES DE VIDRIO O DE ALUMINIO.  
USADOS PARA EL ANALISIS DE LOS SOLIDOS.

en la estufa a 105° C. El tiempo de secado en la estufa es de 1 hora

a-5 Enfriar en desecador por una hora y pesar (B)

a-6 Para sólidos volátiles, el residuo de la evaporación se calcina en una mufla a 550° C, por un período regularmente de 15 minutos.

a-7 Enfriar en desecador por una hora y pesar ( C )  
Cálculos.

El peso de la cápsula después de evaporar la muestra (B) menos el peso de la cápsula sin la muestra (A) es igual al peso, en gramos, de los sólidos totales

$$\text{mg/l ST} = \frac{(B-A) \times 1000}{\text{ml. de muestra}} = E$$

El peso de la cápsula después de evaporar en la estufa (B) menos el peso de la cápsula después de calcinar en la mufla (C), es igual al peso de la pérdida por calcinación e igual a los sólidos volátiles.

$$\text{mg/l STV} = \frac{(B-C) \times 1000}{\text{ml. de muestra}} = F$$

Los sólidos totales menos los sólidos totales volátiles nos dan los sólidos totales fijos.

$$\text{mg/l STF} = E - F$$

b- Para Sólidos Suspendidos, Fijos y Volátiles

b-1 Preparación del crisol gooch

Un disco de fibra de vidrio, con la superficie arrugada hacia arriba, se coloca en el crisol gooch, procurando que el disco se adhiera al fondo del crisol y cubra todas sus perforaciones.

Colocar el crisol en el aparato de filtración y aplicar vacío, lavar el disco con agua destilada. Pasar el crisol a la estufa y dejarlo por una hora a 105° C (si es un horno de convección mecánica dejarlo 30 minutos).

Colocar el crisol en la mufla y calcinarlo a 550° C por

15 minutos. Ponerlo en un desecador a temperatura ambiente, - por una hora y pesar (A)

#### b-2 Tratamiento de la Muestra

El crisol se coloca en el aparato de filtración y se humedece el disco con algo de agua. Se agita bien la muestra y se miden 50 ó 100 ml. en una pipeta o probeta graduadas. Se filtra usando succión, Se lava el disco con la succión conectada, con 3 porciones de 10 ml. cada una, de agua destilada. Se pasa el crisol a un desecador a temperatura ambiente y des pues de una hora se pesa en una balanza analítica (B).

Se pasa el crisol a la mufla y se calcina por 15 minutos.

Se coloca en un desecador por una hora a temperatura ambiente y se pesa (C).

El peso del crisol des pues de filtrar la muestra (B) menos el peso del crisol antes de filtrar (A), es igual al pe so, en gramos, de los sólidos suspendidos totales.

$$\text{mg/l SST} = \frac{(B-A) \times 1000}{\text{ml. de muestra}} = D$$

El peso del crisol des pues de filtrar la muestra (B) menos el peso del crisol des pues de calcinado (C), da el peso, en gramos, de la pérdida por calcinación, que es igual a los sólidos suspendidos volátiles.

$$\text{mg/l SSV} = \frac{(B-C) \times 1000}{\text{ml. de muestra}} = G$$

Los sólidos suspendidos totales menos los sólidos sus pendidos volátiles dan los sólidos sus pendidos fijos.

$$\text{mg/l SSF} = D - F$$

#### c- Para Sólidos Sedimentables

c-1 Un litro de la muestra de agua se vierte en un cono imhoff y se deja sedimentar por una hora.

c-2 Los lados del cono se agitan suavemente por rota ción o con un agitador, para que los sólidos adheri dos se sedimenten.

c-3 Se deja en reposo otros 15 minutos y se hace la --

lectura directamente.

d- Para sólidos Disueltos

Estos se pueden obtener, además de usar las mediciones de conductividad específica, por diferencia entre los sólidos totales y los sólidos suspendidos totales o por evaporación de una muestra filtrada, siguiendo la técnica para sólidos totales.

#### IV. 5.9 TURBIEDAD

##### 9.1 Discusión General

El concepto de turbiedad se aplica a las aguas que contienen materia suspendida que interfiere el paso de la luz a través del agua o en la cual el fondo visual es restringido. La turbiedad es causada por una variedad amplia de sustancias. En lagos, la turbiedad se debe a partículas coloidales o dispersiones extremadamente finas.

En los ríos, cuando están crecidos o inundados, la turbiedad se debe a dispersiones de cuarzo.

En general la turbiedad es causada tanto por materiales orgánicos como inorgánicos.

##### 9.2 Significado Sanitario

Es importante considerar el análisis de la turbiedades por las siguientes razones:

- a- Antiestético. Cualquier turbiedad en las aguas para beber, produce en el consumidor pocos deseos de ingerirla y utilizarla en sus alimentos.
- b- Filtrabilidad. La filtración del agua se vuelve más difícil y aumenta su costo al aumentar la turbiedad.
- c- Desinfección. Usualmente en las aguas de abastecimiento, la desinfección se hace por medio de ozono o de cloro y para que sea efectiva, deben estar en contacto esos agentes y los organismos a eliminar.

En aguas turbias, muchos de los organismos más dañinos son expuestos a la acción del desinfectante; sin embargo, en -

en casos en que la turbiedad es causada por desechos sólidos, muchos de los organismos patógenos pueden estar contenidos en las partículas y ser protegidos del desinfectante.

### 9.3 Unidad Patrón de Turbiedad

Debido a la gran variedad de materiales que causan turbiedad, es necesario usar una unidad arbitraria como patrón.

1 mg/ l de  $\text{SiO}_2$  = 1 Unidad de Turbiedad

La sílice empleada debe ser químicamente pura y tener un tamaño de partícula coloidal.

### 9.4 Selección del Método

Los valores de turbiedad pueden variar desde cero hasta varios miles de unidades de turbiedad, consecuentemente no hay algun método de análisis que abarque ámbito tan amplio.

Hay cuatro métodos que comunmente se usan.

- A\_ De bujía de Jackson
- B\_ Nefelométrico ( Turbidímetro de Hellige)
- C\_ De Baylis o St. Louis
- D\_ De Botellas Patrón

El primero de los métodos enumerados es el que se ha considerado como patrón para medir la turbiedad, a continuación se describe.

Método de Bujía de Jackson.

El análisis de la turbiedad por éste método se basa en el paso de la luz a través de una suspensión, que justamente haga desaparecer la imagen de la flama de una bujía patrón, es decir, que la haga indistinguible contra el fondo de iluminación general, cuando se observa dicha flama a través de la suspensión. A mayor trayecto de luz es más bajo el valor de la turbiedad.

Se toma como interferencias: una cristalería sucia, la presencia de burbujas en el tubo y los efectos de vibración -- que puedan alterar la visibilidad en la superficie de la muestra de agua.



## 9.6 Procedimiento

Para turbiedades entre 25 y 1000 unidades, la muestra se vierte en el tubo de cristal, poco a poco, hasta que la imagen de la flama desaparezca, debiéndose observar un campo uniforme iluminado. Despues de la desaparición de la imagen, si se retira el 1 % de la muestra, deberá verse la imagen.

Para turbiedades mayores de 1000 unidades, se deben hacer diluciones, hasta obtener una turbiedad menor a dicho valor, empleándose despues el factor correspondiente por corrección de dilución.

Para turbiedades entre 5 y 100 unidades, se harán las lecturas por comparación en patrones preparados para tal efecto. Si las turbiedades son menores de 5 unidades, se mide la luz dispersada en lugar de la transmitida y para esto debe usarse el Turbidímetro de Baylis o St. Louis.

## IV. 6 RESULTADOS

Los resultados que se obtuvieron al efectuar los diferentes análisis sobre el Rio Bravo, en el tramo comprendido entre Ojinaga, Chih. y Piedras Negras, Coah. se presentan en las siguientes gráficas que relacionan el análisis efectuado referido a los siguientes lugares seleccionados para tomar las muestras de aguas.

- A= sobre el Rio Bravo, despues de descargar el arroyo Las Vacas.
- B= sobre el Rio Bravo, antes de descargar el Rio San Diego.
- C= sobre el Rio Bravo, a 1 km. despues de Cd. Acuña
- D= sobre el Rio Bravo, despues de descargar el Rio San Diego.
- E = sobre el Rio Bravo, antes de descargar el Rio San Rodrigo,
- F= sobre el Rio Bravo, despues de descargar el Rio San Rodrigo.
- G= sobre el Rio Bravo, a 1 km. antes de Piedras Negras.

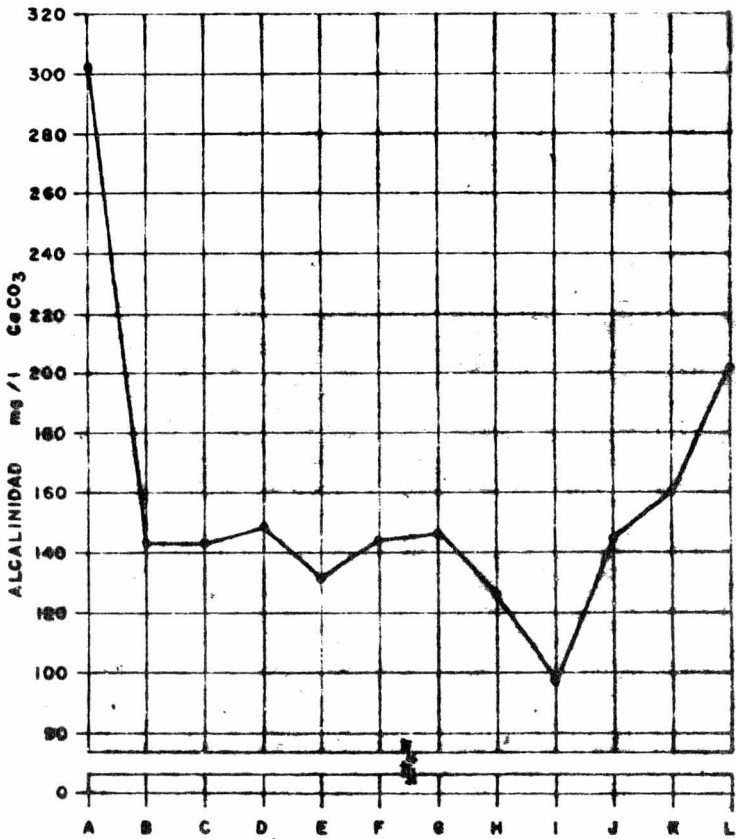
H= sobre el Rio Bravo, aguas arriba de la descarga de Altos Hornos de México.

I= sobre el Rio Bravo, aguas abajo de la descarga de - Altos Hornos de México.

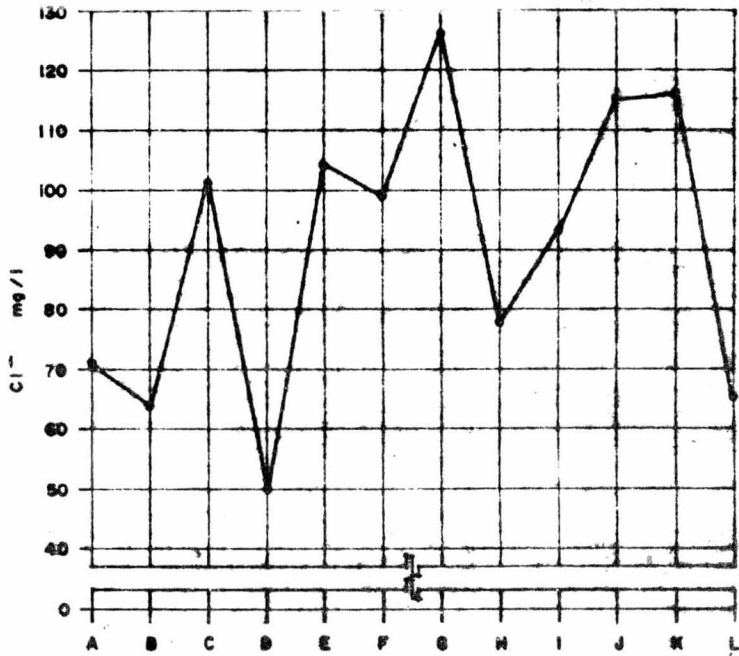
J= sobre el Rio Bravo, antes de la descarga del Rio -- Escondido.

K= sobre el Rio Bravo, despues de la descarga del Rio Escondido.

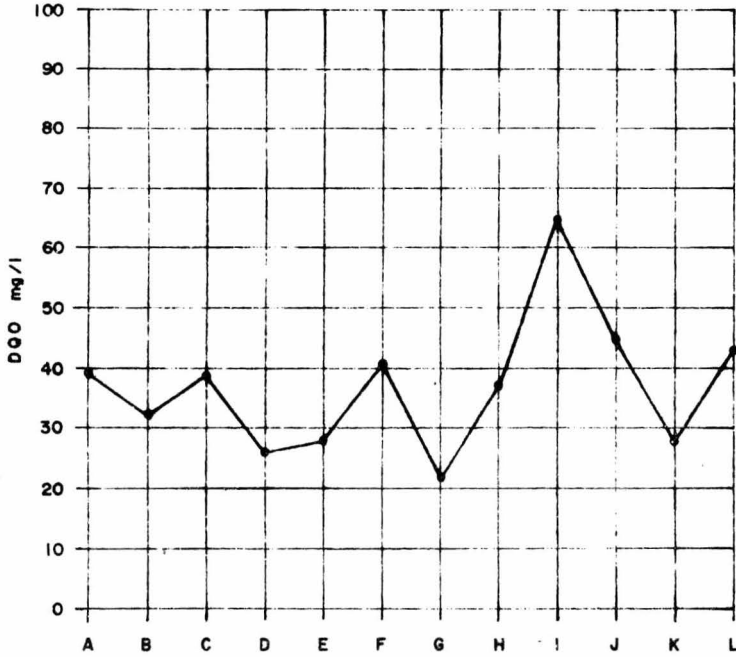
L= sobre el Rio Bravo, despues de descargar el Rio Con chos.



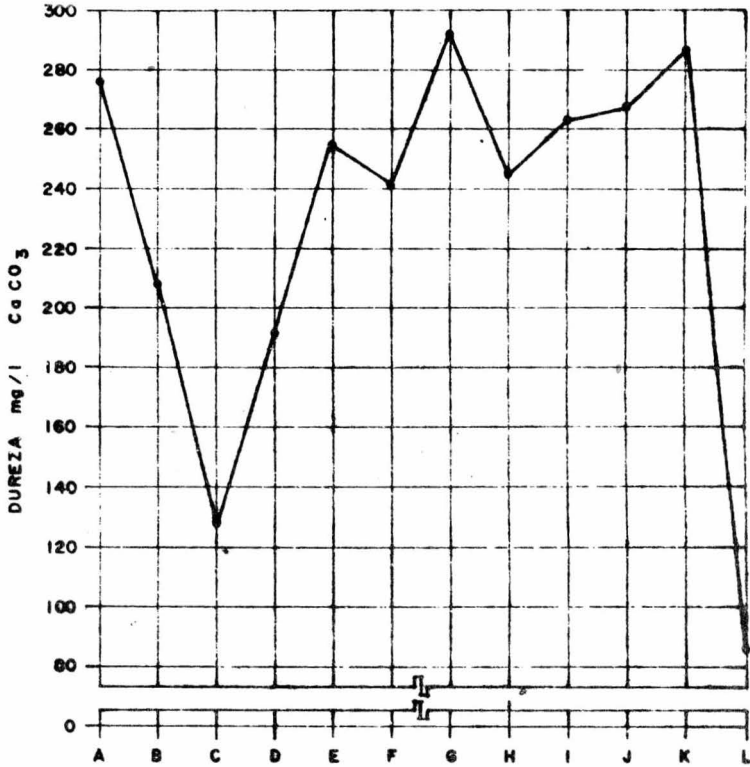
CAMBIOS DE LA ALCALINIDAD A LO LARGO  
DEL RIO BRAVO



FLUCTUACION DEL ION CLORURO, EN LAS AGUAS DEL RIO BRAVO, DESDE OJINAGA, CHIH. HASTA PIEDRAS NEGRAS, COAH.

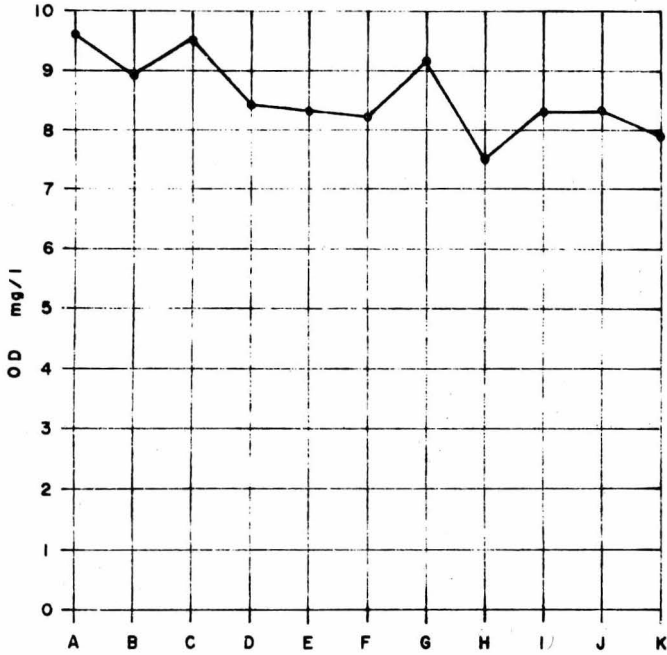


RELACION DE LA DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO ENTRE  
LOS MESES DE FEBRERO Y JULIO DE 1975

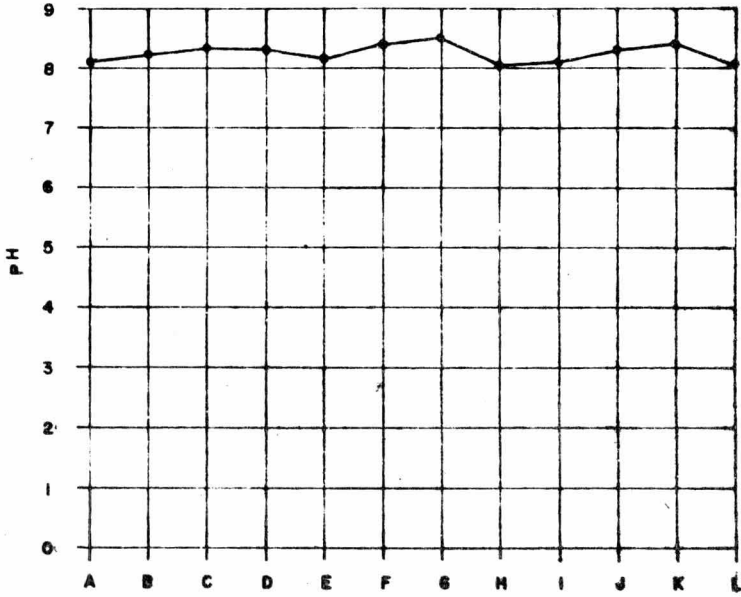


FLUCTUACION DE LA DUREZA EN LAS AGUAS

DEL RIO BRAVO

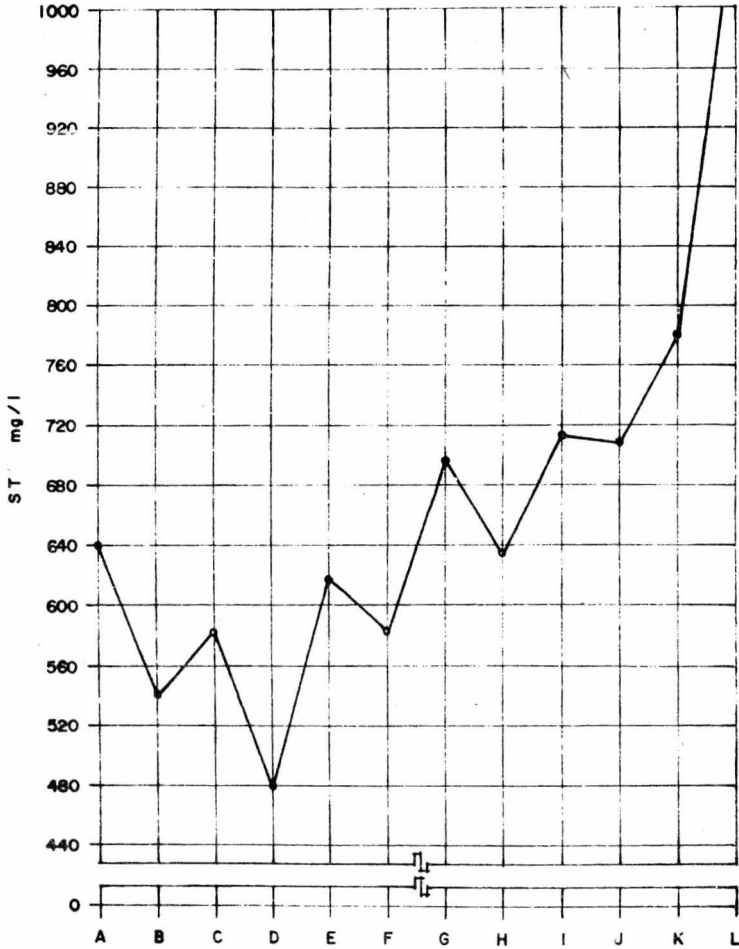


VARIACION DEL OXIGENO DISUELTO  
A LO LARGO DEL RIO BRAVO

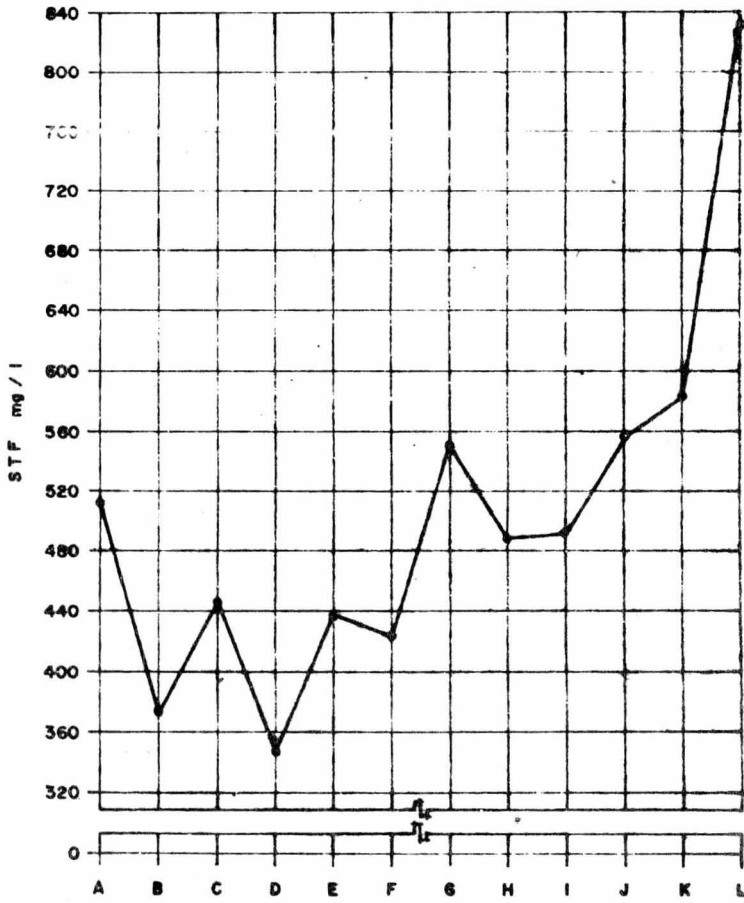


RELACION DEL POTENCIAL HIDROGENO CON LOS LUGARES,  
SOBRE EL RIO BRAVO, DONDE SE TOMARON LAS MUES -  
TRAS DE AGUA

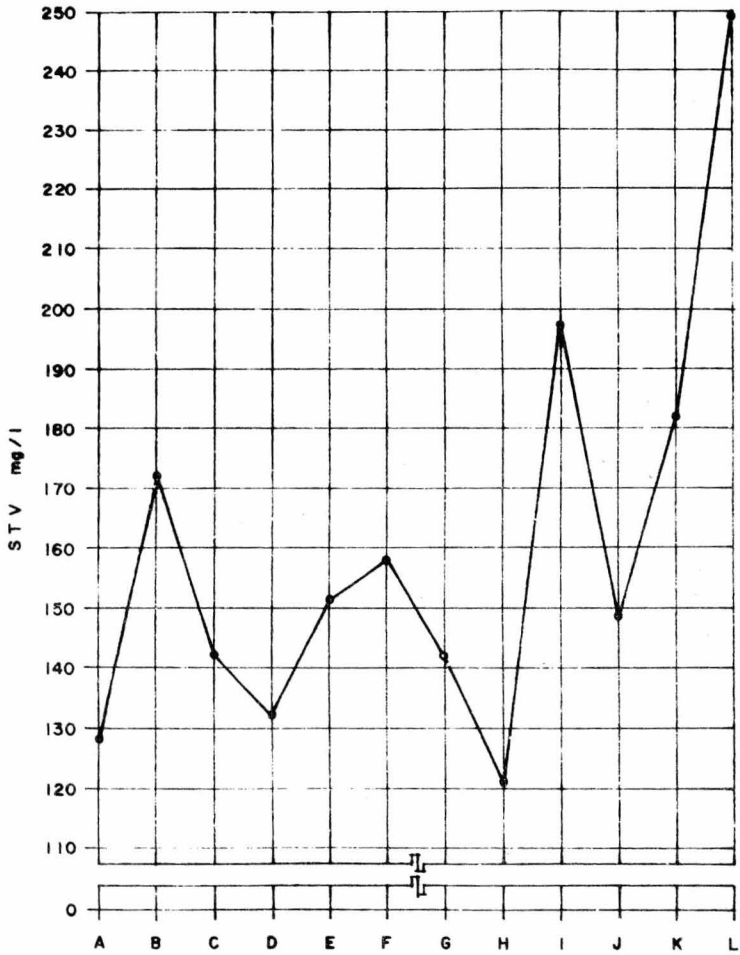




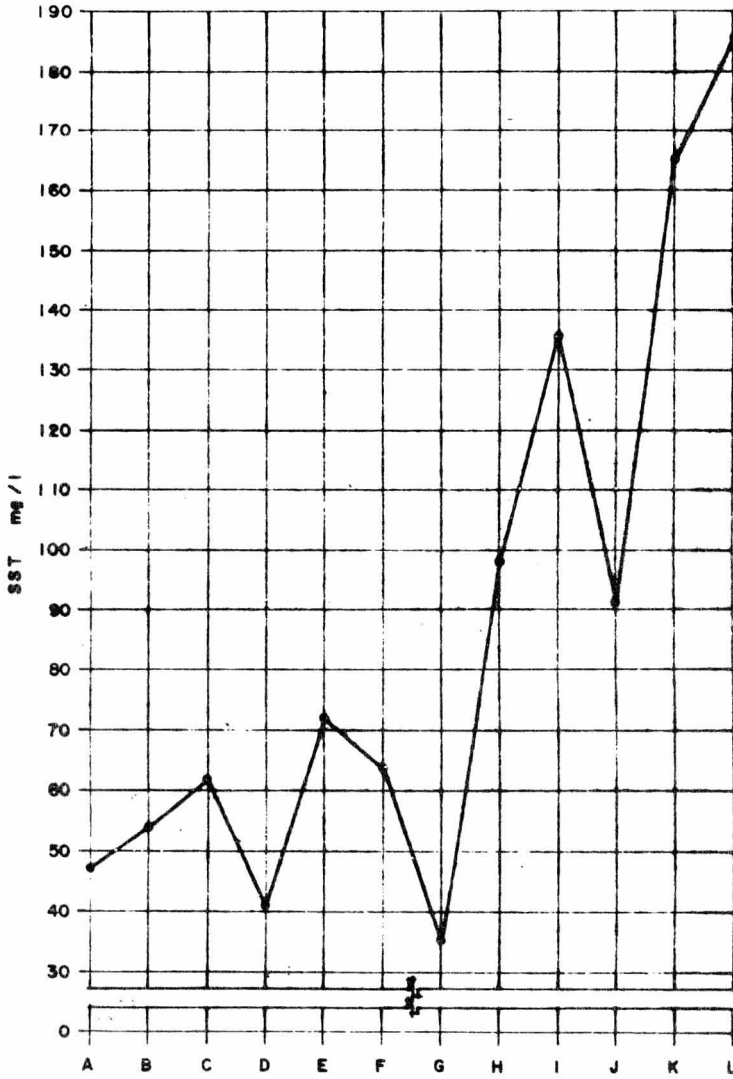
RELACION DE SOLIDOS TOTALES EN LOS LUGARES QUE SE SELECCIONARON PARA TOMAR LAS MUESTRAS EN EL RIO BRAVO



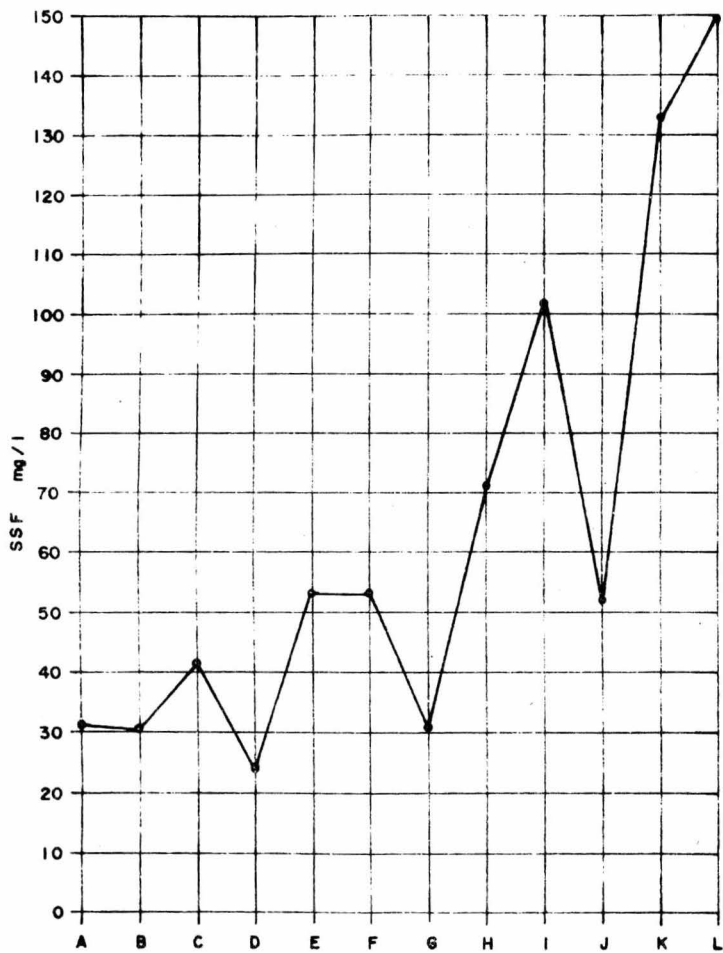
VARIACION DE LOS SOLIDOS TOTALES FIJOS  
EN EL RIO BRAVO



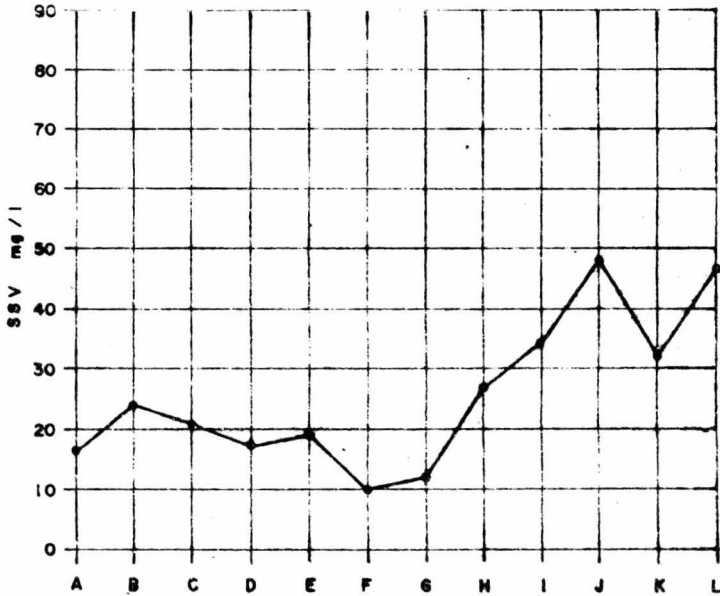
VARIACION DE LOS SOLIDOS TOTALES VOLATILES  
EN EL RIO BRAVO



FLUCTUACIONES DE LOS SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES  
A LO LARGO DEL RIO BRAVO

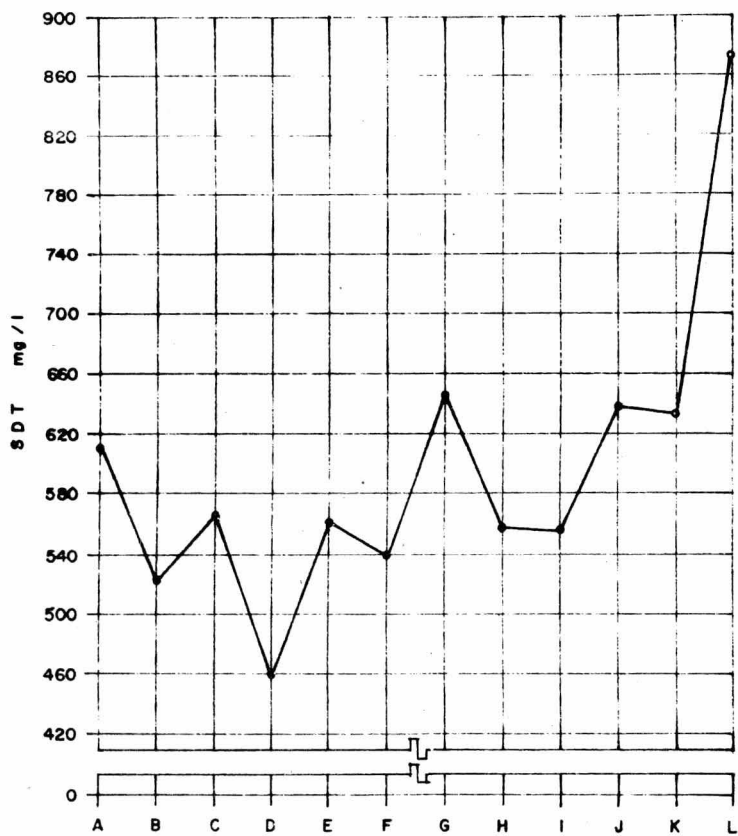


FLUCTUACION DE LOS SOLIDOS SUSPENDIDOS FIJOS  
EN EL RIO BRAVO

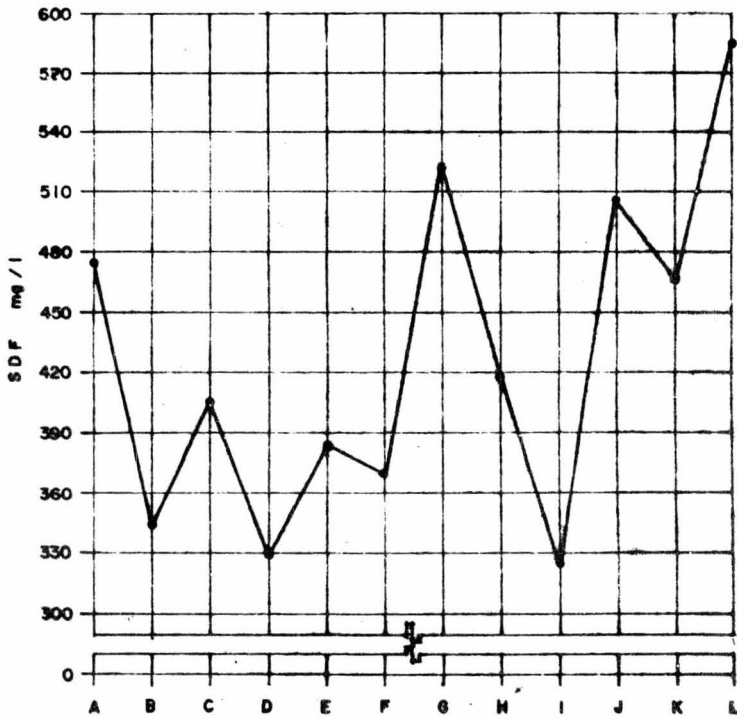


**VARIACION DE LOS SOLIDOS SUSPENDIDOS VOLATILES**

**EN EL RIO BRAVO**

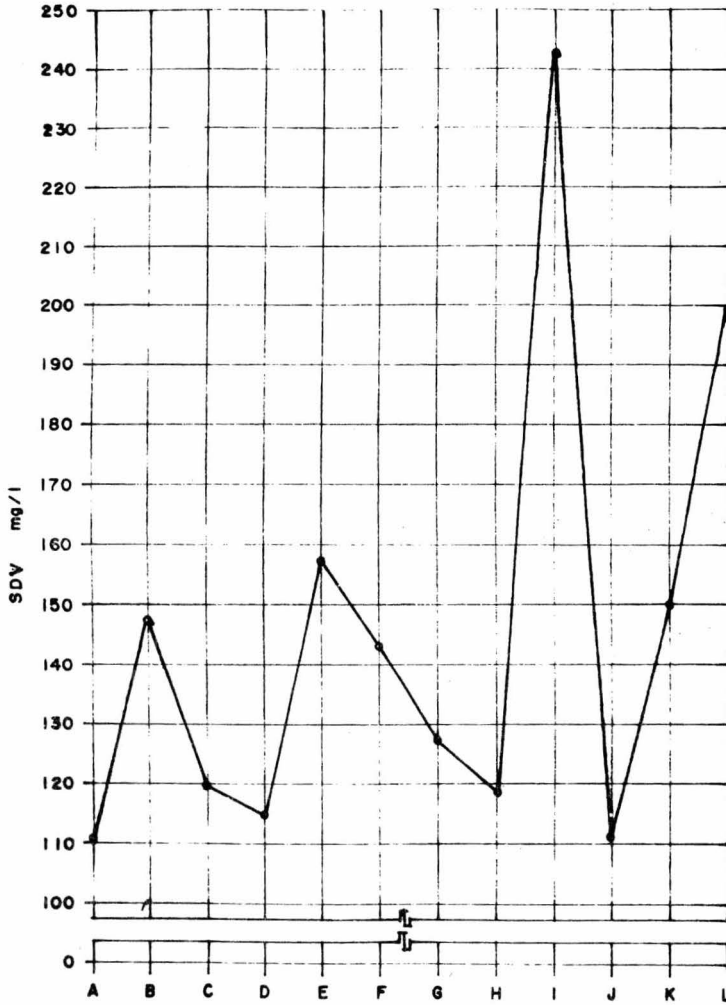


VARIACION DE LOS SOLIDOS DISUELTOS TOTALES  
EN EL RIO BRAVO

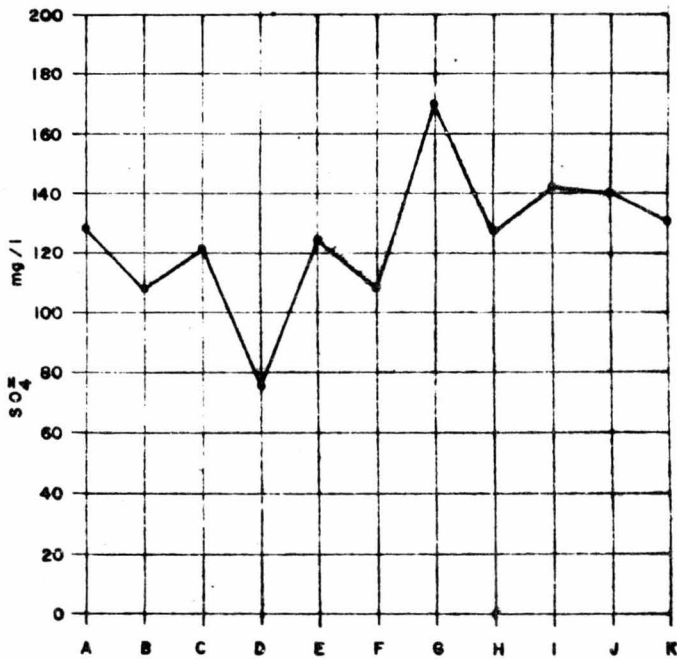


FLUCTUACIONES DE LOS SOLIDOS DISUELTOS FIJOS  
EN EL AGUA DEL RIO BRAVO

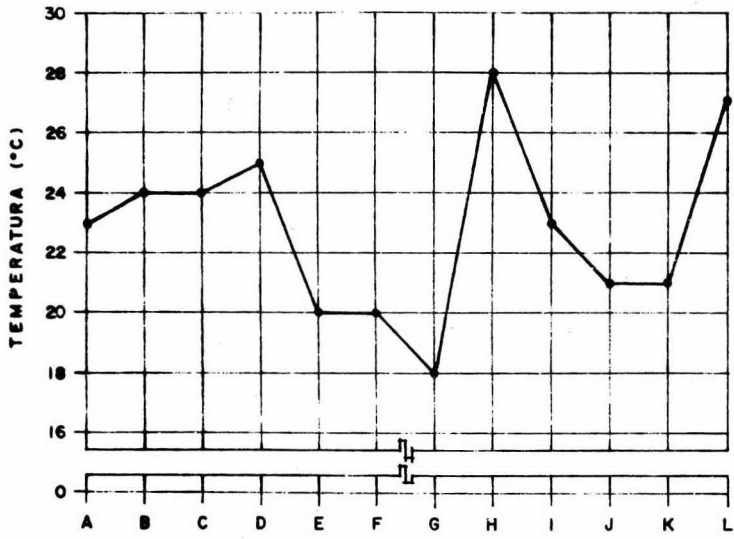




FLUCTUACION DE LOS SOLIDOS DISUELTOS VOLATILES  
EN LAS AGUAS DEL RIO BRAVO



VARIACION DEL AZUFRE COMO SULFATO  
EN LAS AGUAS DEL RIO BRAVO



## C A P I T U L O V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De una manera general y desde el punto de vista biológico, la calidad de las aguas del Rio Bravo es aceptable, afirmación basada en los factores que ayudan a mantener dicha calidad y que son los siguientes:

- A\_ En el Rio Bravo fluye tal cantidad de agua, que su calidad en nada se afecta por la recepción de las -- descargas industriales, domésticas, municipales y -- otro tipo, aún cuando tales descargas tengan sus características físico-químicas muy deterioradas.
- B\_ Los vasos de almacenamiento, como son las Presas de la Amistad y la Falcón y también la represa Anzaldúas, hacen las veces de típicas fosas sépticas, ayudando grandemente en la purificación de las aguas; -- aunque ésta situación podría crear problemas en los usos de almacenamiento, los que podrían destruir el sistema biótico.
- C\_ La topografía del Rio Bravo es tal, que permite una buena reaereación ayudando grandemente a la capacidad de autopurificación.
- D\_ A medida que las aguas del Rio Bravo se acercan al -- Golfo de México, los escurrimientos naturales incrementan la calidad de los compuestos inorgánicos.
- E\_ Se recomienda dar un tratamiento a las descargas de -- la beneficiadora de fluorita La Domincia, lo que evitaría la desembocadura al Rio Bravo de altas concentraciones de metales.
- F\_ En la descarga de Altos Hornos, de México, no debe -- permitirse la elevada concentración de aceites y la -- de sólidos suspendidos provenientes del Alto Horno.
- G\_ Se debe hacer un estudio profundo, para poder detec-- tar los compuestos que están interfiriendo en el tratamiento.
- H\_ En el tramo de Ojinaga, Chihuahua, hasta Nuevo Laredo,

Tamaulipas, se deben eliminar nueve lugares para sacar muestras en el Rio y diez en manantiales; en cambio se deben tomar dos lugares más para recolectar -- las muestras; uno a la altura de la desembocadura -- del Rio Bravo a la Presa La Amistad y el otro en Villa Hidalgo, Coah. ciudad que se localiza entre Piedras Negras, Coah. y Nuevo Laredo, Tamps.

I\_ Se recomienda que en las aguas del Rio Bravo se analicen pesticidas, carbón orgánico total y algunos -- metales pesados, como plomo, cobre, mercurio, cromo hexavalente, fierro, manganeso y boro.

Además, hacer estudios sobre benton, plancton y necton para poder observar el grado de deterioro del sistema biótico.

## C A P I T U L O VI

### B I B L I O G R A F I A

1. S.R.H. C.I.C.C.A. Informe General sobre los Resultados-Obtenidos en la Primera Etapa del Estudio sobre el Río Bravo. 1975.
2. APHA.AWWA.WPCF Standar Methods for Examination of Water and Wastewater. treceava edición. 1971.
3. SAWYER.CLAIR N Chemistry for Sanitary Engineers. McGraw-Hill Series in Sanitary Engineering and Science. 1967.
4. S.R.H C.I.E.C.C.A. Manual del Curso de Análisis de Aguas y Aguas de desecho. Vol. I. 1974.
5. S.R.H C.I.E.C.C.A Manual del Curso de Análisis de Aguas y Aguas de Desecho. Vol. II. 1974.
6. S.R.H DIRECCION GENERAL DE USOS DEL AGUA Y PREVENCION DE LA CONTAMINACION. Reglamento para la Prevención y - Control de la Contaminación.
7. SANCHA ANA MARIA. Manual de Muestreo de Aguas Superficiales y Análisis en Terreno con Descripción de un Laboratorio Portátil Económico. Publicación 0-7. Santiago-Chile.
8. S.S.A Subsecretaria de Mejoramiento del Ambiente. Legisla ción para Prevenir y Controlar la Contaminación Ambiental. 1973.
9. S.R.H C.I.E.C.C.A Manual del Curso de Técnicas de Muestreo y Análisis de Campo. 1974.
10. S.R.H. COLEGIO DE INGENIEROS CIVILES DEL ESTADO DE JALISCO Primer Seminario Regional " Influencia de la Conta-minación del Agua en el Desarrollo Nacional. 1974.
11. PROTECCION DE LA CALIDAD DEL AGUA. Revista de la Asociación Nacional de Ciencia y Tecnología de la Calidad del Agua. 1975.

12. J. FICINI LUMBROSO/ BADER. Estructura de la Materia Orgánica Elementos de Química-Física. Ediciones Omega. Bar  
celona 1975.
13. FISHMAN MARVIN AND SCARBIO Diazotization Method for Nitrate  
and Nitrite. 1960.