

85
291



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA



"ESTUDIOS DE CALIDAD DEL AGUA"

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
I N G E N I E R O • C I V I L
P R E S E N T A
F L O R A • M U Ñ I Z • A R C I L A

ASESOR
ING. ALBA B. VAZQUEZ GONZALEZ

MEXICO, D.F.

1997

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



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.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
60-1-039/96

Señorita
FLORA MUÑIZ ARCILA
Presente.

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso la profesora **ING. ALBA B. VAZQUEZ GONZALEZ**, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de **INGENIERO CIVIL**.


"ESTUDIOS DE CALIDAD DEL AGUA"

- I. INTRODUCCION
- II. TECNICAS Y SITIOS DE MUESTREO
- III. ANALISIS DE LABORATORIO
- IV. EVALUACION DE LA CONTAMINACION Y DETERMINACION DE LA CALIDAD DEL CUERPO DE AGUA
- V. LEGISLACION NACIONAL RELATIVA A LA PROTECCION DE LA CALIDAD DEL AGUA
- VI. CALIDAD DEL AGUA REQUERIDA EN DIVERSOS USOS
- VII. CONCLUSIONES

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria, 18 de marzo de 1996.
EL DIRECTOR.


ING. JOSÉ MANUEL COVARRUBIAS SOLIS

JMCS/GMP*nl

AGRADECIMIENTOS

A mis papás Jorge y Esperanza las personas más importantes en mi vida. Contaré siempre con ellos como padres y amigos; les agradezco la confianza depositada en mí, así como todo el cariño y apoyo que me han brindado siempre.

A los cuatro mejores amigos de la infancia con quienes he compartido tantas vivencias únicas e inolvidables les agradezco su compañía, apoyo y cariño. Mis hermanos Geo, Chepa, Alex y Charo.

Gracias a toda mi familia por su apoyo y cariño, pero en especial a mis tíos Jorge y Gisela; Víctor y Conchita.

A mis amigos y compañeros de la facultad les agradezco los momentos felices que hemos vivido así como su amistad; en especial a Adriana Alba, Alejandro, Angel, Anelía, Caty, Cristina, Gina, Lupita, Marina, Maty y Rosy.

A mis mejores amigas Cynthia y Elida, las cuales me han enseñado lo grandioso que es tener una amistad como la de nosotras. Gracias por su apoyo y amistad.

Paco

A ti, con quien he compartido momentos inolvidables y difíciles, quien me ha enseñado que a pesar de lo difícil o lejano que parezca un sueño, la única forma de llegar a realizarlo es por medio de la perseverancia y el esfuerzo. Gracias por todo el amor y apoyo que me has dado siempre.

A la Ingeniera Alba B. Vázquez González que con su apoyo y confianza terminé este material que significa tanto para mí. Gracias por su amistad

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN

CAPITULO UNO TÉCNICAS Y SITIOS DE MUESTREO

		1
1.1	Tipos de muestreo	1
1.1.1	Muestra simple instantánea o aislada	1
1.1.2	Muestras compuestas	1
1.2	Criterios para la toma de muestras	1
1.3	Técnicas generales y específicas de muestreo	3
1.3.1	Técnicas generales	3
1.3.2	Técnicas específicas de muestreo	4
1.4	Manejo y transporte de las muestras	8
1.4.1	Equipo de muestreo	8
1.4.2	Preparación de los envases e identificación de las muestras	13
1.4.3	Transporte de las muestras	13
1.4.4	Manejo de las muestras	14
1.4.5	Preservación de las muestras	14
1.4.5	Efecto del tiempo en el almacenamiento	15
1.5	Localización de las fuentes de contaminación y establecimiento de estaciones de aforo y muestreo	17
1.5.1	Programa de muestreo en una planta de tratamiento	18
1.5.2	Programa de muestreo de los desechos industriales	19
1.5.3	Programa de muestreo de las aguas receptoras	19
1.6	Dispositivos de aforo	20
1.6.1	Aforo de corrientes superficiales	20
1.6.1.1	Método de sección y velocidad	20
1.6.1.2	Método sección y pendiente hidráulica	23
1.6.1.3	Mediciones del gasto por medio del aforador Parshall	25
1.6.1.4	Método volumétrico	26
1.6.1.5	Método por formulas	26

CAPITULO DOS ANÁLISIS DE LABORATORIO

		28
2.1	Análisis físicos	28
2.1.1	Color	28
2.1.2	Conductancia específica	30
2.1.3	Potencial de hidrogeno pH	31
2.1.4	Sólidos	33
2.1.5	Temperatura	37
2.1.6	Turbiedad	39
2.2	Análisis químicos	42
2.2.1	Espectrofotometría de Absorción Atomica	42
2.2.2	Arsénico	53
2.2.3	Cromo	54
2.2.4	Dureza	54
2.2.5	Hierro y Manganeseo	56
2.2.6	Mercurio	57
2.2.7	Piomo	57
2.2.8	Acidez	58
2.2.9	Alcalinidad	60
2.2.10	Boro	61

2.2.11	Cloruros	62
2.2.12	Cloro Residual	64
2.2.13	Cianuros	65
2.2.14	Fluoruros	67
2.2.15	Nitrógeno Amoniacal	68
2.2.16	Nitrógeno de Nitratos	71
2.2.17	Nitrógeno de Nitratos	73
2.2.18	Nitrógeno Orgánico	74
2.2.19	Oxígeno Disuelto	76
2.2.20	Fosfatos	79
2.2.21	Silice	81
2.2.22	Sulfatos	82
2.2.23	Sulfuros	84
2.3	Análisis Biológicos	85
2.3.1	Demanda Bioquímica de Oxígeno	85
2.3.2	Bacteriología	90

CAPITULO TRES

EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN Y DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL CUERPO DE AGUA

3.1	Evaluación de la contaminación	95
3.2	Índice de calidad	95
3.2.1	Técnicas multiparámetros	96
3.2.2	Técnicas analíticas	100

CAPITULO CUATRO

LEGISLACIÓN NACIONAL RELATIVA A LA PROTECCIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA

4.1	Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente	103
4.2	Ley de Aguas Nacionales	106
4.2.1	Norma NOM-001	107
4.2.2	Norma NOM-002	109
4.3	Ley General de Salud	112

CAPITULO CINCO

USOS DEL AGUA Y SU CALIDAD

5.1	Uso doméstico	116
5.2	Uso industrial	117
5.3	Agua para riego agrícola	118
5.4	Propagación de peces y vida acuática	120
5.5	Agua para natación	120
5.6	canotaje y disfrute estético	121
5.7	Energía y navegación	121

CONCLUSIONES

BIBLIOGRAFÍA

GLOSARIO

INTRODUCCIÓN

El agua es un elemento indispensable para la vida, cubre casi cuatro quintas partes de la superficie terrestre y en el hombre, representa aproximadamente el 70% del peso total de su cuerpo.

El hombre la utiliza como elemento para su nutrición, sea como bebida o como integrante de alimentos; así como otros diferentes usos. La salud humana, depende no sólo de la cantidad, sino también de la calidad del agua que se utiliza.

México, con una extensión cercana a los dos millones de km^2 que aloja a poco más de 82 millones de habitantes recibe una precipitación pluvial promedio anual cercana a 777mm, lo cual se traduce en un volumen de 1522 km^3 de agua. De este volumen, el 27% (alrededor de 450 km^3) escurre por corrientes superficiales en las 37 regiones hidrológicas que conforma el territorio nacional, lo que se traduce en una capacidad de almacenamiento del orden de 120 km^3 , lo que significa una capacidad de regulación del orden de 82 km^3 . Otra parte de la lluvia se infiltra y recarga los acuíferos, cuyo volumen de renovación anual se estima en 48 km^3 .

La fuente del agua determina su calidad inherente. El agua de lluvia absorbe los gases y vapores que se encuentran normalmente presentes en la atmósfera: oxígeno, nitrógeno, dióxido de carbono y gases raros, y barre las partículas del aire cuando se forman gotas en su derredor. Los núcleos de sal (en particular de cloruros) llegan a la atmósfera procedentes del rocío marino y de las cataratas de agua dulce. La precipitación radioactiva contribuye con residuos de esta naturaleza. Sin embargo, cuando la lluvia humedece la superficie de la tierra, el agua empieza a adquirir las propiedades del escurrimiento superficial. Con el tiempo el agua superficial, en la misma forma que el escurrimiento de la lluvia, penetra en estanques, lagos, ríos y mares.

Las partículas, tanto minerales como orgánicas, pueden ser arrastradas por la erosión, junto con las bacterias del suelo y otros organismos, al mismo tiempo que se solubilizan las sales y otras sustancias. Los fertilizantes naturales y sintéticos llegan al agua junto con los residuos de biocidas, aún cuando la fuerza aglomerante de los suelos es sumamente poderosa.

La forma en que el agua es valorada, asignada y utilizada requiere de cambios para lograr que el aprovechamiento del recurso sea más eficiente, sustentable y ecológicamente equilibrada, de tal forma que es necesario asegurar una disponibilidad suficiente del recurso para satisfacer las necesidades de consumo agrícola, doméstico e industrial, así como agua potable de calidad adecuada. Así mismo, se debe tener un manejo adecuado de las descargas de aguas residuales así como controlar, tanto como sea posible, la contaminación de fuentes difusas. Por último, se requiere que el uso recreacional del agua esté en armonía con los otros usos.

El presente trabajo cuenta con cinco capítulos:

Capítulo uno "Técnicas y sitios de muestreo"

En este capítulo se menciona lo que es el muestreo, sus tipos, los criterios y técnicas para asegurar un buen muestreo, el equipo a utilizar, tanto para agua potable como residuales; explica la forma como se debe preparar los envases antes y después de realizar el muestreo, su transporte al laboratorio, preservación y efectos del tiempo en el almacenamiento.

Se mencionan algunos puntos en donde se localizan las fuentes de contaminación y estaciones de aforo y muestreo; por último se explica los diferentes métodos para el aforo en corrientes superficiales.

Capítulo dos "Análisis de laboratorio"

Una vez que se tienen las muestras listas para su análisis se procede a la realización de éstos, dependiendo del tipo de análisis que se realice se preparará la muestra, pudiendo ser físicos, químicos y biológicos.

Se mencionan los parámetros de mayor uso, su importancia sanitaria y una técnica de análisis para cada parámetro.

El criterio de selección de la técnica de análisis se realizó considerando dos aspectos: conocimiento personal de la técnica y técnica más usada actualmente.

Capítulo tres "Evaluación de la Contaminación y Determinación de la Calidad del Cuerpo de Agua"
En este capítulo se explica de forma muy breve la importancia que tiene la evaluación de la contaminación, ya que da una idea acerca del estado que guarda el agua respecto a su calidad. Se menciona la importancia del uso de un índice de calidad del agua ICA, se explica las técnicas para definir el ICA, sus diferencias y métodos utilizados en función de los parámetros de mayor importancia y de los usos del agua; cómo se logra una evaluación utilizando el ICA.

Capítulo cuatro "Legislación Nacional Relativa a la Protección de la Calidad del Agua"
Este capítulo está integrado por tres principales leyes: La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente; Ley de Aguas Nacionales; y Ley General de Salud; éstas se encuentran en forma resumida dando relevancia a la calidad del agua, medio ambiente y saneamiento; también se muestra el objetivo y estructura de cada ley.

Capítulo cinco "Usos del Agua"
Este capítulo menciona los diferentes usos para los que se destina el agua en nuestro país; éstos son: doméstico, industrial, riego agrícola, propagación de peces y vida acuática, natación, canotaje y disfrute estético y energía y navegación, así como la calidad requerida para cada uso.

I TÉCNICAS Y SITIOS DE MUESTREO

1.1 TIPOS DE MUESTREO

Muestreo es el proceso de separar una pequeña porción del total, de tal manera que la muestra represente el carácter y calidad de la masa de la cual se tomó. Los puntos de colección de las muestras deberán ser seleccionados, tomando en cuenta, las fuentes de contaminación, caudal y velocidad de la corriente, dilución por corrientes ramificadas y cambios en la topografía.

El objetivo de los muestreos es obtener muestras que representen verdaderamente la calidad del cuerpo muestreado. Los objetivos de los programas de muestreo y la variabilidad en cuanto cantidad y composición en los cuerpos de agua gobiernan la duración del periodo de muestreo y los métodos por los cuales se obtienen las muestras.

El éxito o fracaso del estudio del muestreo se apoya principalmente en el personal que lo realizará. Es imperativo que se le den instrucciones explícitas. Las instrucciones deben ser sistemáticas, concisas y completas. El mal entendimiento se reduce al mínimo y se logra un alto nivel de ejecución cuando el muestreador conoce el equipo y las técnicas y procedimientos a ser empleados.

1.1.1 MUESTRA SIMPLE INSTANTÁNEA O AISLADA

Consiste en tomar una sola muestra, por lo que únicamente representará la concentración de constituyentes en el agua en el momento en que se tomó la muestra. Para que este tipo de muestra pueda considerarse representativa de una gran masa de agua, deben tomarse en cuenta factores como homogeneidad del cuerpo de agua, número de lugares muestreados, tamaño de la muestra y método de recolección. Los resultados analíticos de una muestra simple serán de un valor limitado en la estimación promedio.

En agua cuya composición sea poco variable, una toma de muestra simple proporciona información, tanto como una muestra compuesta para un periodo de tiempo.

1.1.2 MUESTRAS COMPUESTAS

Consiste en mezclar varias muestras simples instantáneas a intervalos de tiempo previamente seleccionados para un mismo muestreo, en volúmenes iguales o proporcionales al gasto. Una muestra compuesta puede estar tomada por porciones tomadas periódicamente en un mismo sitio durante 24 horas. El volumen de agua por muestra está en función del tipo y número de análisis a que se someterá; en general basta con 4 litros pero debe determinarse un volumen de antemano. En lugares en donde no se pueda medir el gasto, como en el caso de cuerpos de agua cerrados (lagos, lagunas, presas) la muestra compuesta se hará tomando volúmenes iguales a intervalos fijos.

1.2 CRITERIOS PARA LA TOMA DE MUESTRAS

Las técnicas de muestreo se deben aplicar para cada problema específico según las siguientes finalidades:

Objetivo	Clase de muestreo
1. Para conocer los problemas en los tratamientos y las características generales del agua.	1. Muestra simple tomada antes y después de cada tratamiento.

Objetivo	Clase de muestreo
2. Para conocer las características de un agua de calidad variable.	2. Muestras simples y además promedio de muestras simples o muestras compuestas.
3. Para conocer la calidad de aguas de desecho industrial o aguas negras	3. Muestras simples(promedio) o muestras compuestas
4. Para diseño preliminar de equipo de tratamiento de agua.	4. Serie de muestras simples y medición de gasto para recuperación de aguas.
5. Para diseño final de equipo de tratamiento de agua.	5. Muestras compuestas, mediciones de flujo, determinaciones continuas de pH u otro parámetro.

Por regla general, se deberá tomar las muestras de agua en donde exista un flujo turbulento que asegure la calidad uniforme en la muestra. Se sugiere tomar en cuenta las siguientes consideraciones para el muestreo.

1. Para el caso de pozos y tanques elevados se deja fluir el agua de 5 a 10 minutos, con el fin de desalojar el agua estacionada en la tubería.
2. Para el caso de recipientes diversos, tales como tanques la muestra de agua se deberá tomar en línea de salida del tanque para que sea representativo del volumen total, así como cuidar de que sea tomada abajo del nivel del agua para evitar contaminaciones.
3. Para canales colectores, la toma de la muestra será a la mitad del área de flujo para evitar contaminaciones, procurando que el sitio de muestreo sea garantice un buen muestreo.
4. Para el caso de ríos, se toman varias senas a diferentes profundidades y distancias entre las orillas, ya que es diferente por ejemplo el grado de salinidad de un río tierra adentro que en la desembocadura. En muchas ocasiones habrá que hacer el muestreo de acuerdo con la hidrografía del río.
5. En el caso de lagos y lagunas se sigue una técnica semejante a la anterior sobre todo cuando se encuentran cerca del mar, pero para el caso de lagunas pequeñas o pantanos, la técnica es diferente, principalmente si se trata de muestras con gas metano para lo cual debe llenarse el frasco bajo la superficie del agua invirtiéndolo y tapándolo ahí mismo, para proceder a determinar el metano por el método ORSAT.
6. Usualmente en la operación de una planta de tratamiento el procedimiento de muestreo recomendado es el de la muestra compuesta tomada cada hora, esto es, una muestra se toma en un frasco de boca ancha de 125 ml cada hora y se vierte a otro frasco mayor para refrigerarse a 4 - 10 °C. Un volumen final de 2 a 3 litros es suficiente.

Cuando no es posible tomar muestras cada hora, un procedimiento de muestreo cada 2 o 3 horas es bueno.

En plantas pequeñas donde los operadores están presentes solo en el turno diurno, se prefieren las muestras manuales. En este caso el mejor método es tomar las muestras en los periodos de flujo máximo recolectando las muestras a diferentes horas dentro del mismo turno diurno. De esta manera, las muestras se toman cuando la operación de la planta está al máximo, en lugar del promedio diario.

Los muestreos de las aguas de desecho de operaciones continuas normalmente son compuestas ya sea por turno de 8 horas o de 24 horas. Ocasionalmente las muestras compuestas sobre periodos de 4 horas pueden ser representativas. Muchos procesos son suficientemente uniformes para dar un gasto constante de descarga del desecho.

El uso del equipo automático hace posible obtener las muestras en intervalos regulares y lugares en donde la práctica del muestreo no puede practicarse. Sin embargo, es necesario garantizar al principio y posteriormente que durante el programa de muestreo la muestra obtenida sea realmente representativa del flujo del cual ha sido tomada.

1.3 TÉCNICAS GENERALES Y ESPECÍFICAS DE MUESTREO

1.3.1 TÉCNICAS GENERALES

Extracción directa

Se refiere a la toma de la muestra con un muestreador Kemmerer (ver equipo de muestreo, figura 1.4), u otro similar. El cual consiste en un cilindro de material resistente a la corrosión como lo es el acero inoxidable, o plástico con tapón de hule por ambos lados atado por uno de los extremos a un cable resistente en el cual va insertado una pequeña plomada llamada mensajero, este muestreador se introduce al cuerpo de agua abierto en ambos lados y una vez que se encuentra a la profundidad deseada, se impulsa el mensajero con fuerza desde la superficie, el cual al golpear la tapa superior acciona un mecanismo que cierra ambas tapas del muestreador. Este muestreador sirve para tomar muestras a profundidad.

Cuando la profundidad del cuerpo de agua es muy pequeña y no se puede tomar la muestra con el muestreador antes descrito, se recomienda tomar la muestra directamente en el frasco donde se va a almacenar la muestra. Es muy conveniente enjuagar el frasco dos o tres veces con el agua que se va a muestrear, en el caso de muestras para oxígeno disuelto, bacteriología y grasas y aceites, nunca se debe hacer este tipo de enjuague.

Muestreadores Automáticos

El uso de equipo automático para el muestreo de aguas de desecho, hace posible el obtener económicamente las muestras en intervalos y lugares en donde la práctica del muestreo no puede realizarse.

Existen diferentes tipos de muestreadores, dependiendo del tipo y forma del muestreo para el cual se destinen. Estos equipos están contruidos de materiales resistentes a la corrosión y que no interfieren con los análisis que se van a efectuar. La mayoría de ellos succionan el agua mediante una pequeña bomba y la depositan en uno o varios envases. Algunos de estos muestreadores disponen de controles que permiten regular la velocidad y frecuencia de la extracción de muestras, otros toman muestras simples a profundidad o muestras compuestas, ya sean estas superficiales o profundas. (figura 1.1)

Los muestreadores automáticos comerciales varían considerablemente en su principio de operación y en sus características particulares y capacidades. Puede clasificarse en dos tipos: los que producen tomas múltiples de muestras de recipientes separados y aquellos que obtienen una muestra compuesta formada por pequeñas porciones tomadas sobre un ciclo de operación. Un muestreador que prepara porciones de volúmenes en intervalos regulares, ofrece la mayor simplicidad en diseño y operación, si el caudal y la composición son constantes la muestra compuesta representa adecuadamente el promedio cualitativo del flujo. Si el flujo varía, el tamaño individual de la muestra o la frecuencia del muestreo también varía, en proporción al flujo, de tal manera que se obtenga una muestra compuesta representativa.

Problemas particularmente difíciles se encuentran en el desecho crudo de la corriente, ya que los tamaños de las partículas y sus propiedades pueden variar ampliamente. Algunos componentes en la corriente de las aguas de desecho son estratificadas (materia aceitosa y sólidos densos cerca de la superficie), los tubos de muestreo se usan intermitentemente por un muestreador por lo que debe permitirsele que se drenen.

Muestreadores Múltiples y Compuestas

Los muestreadores múltiples proporcionan un número de tomas separadas de muestras en recipientes separados. Estas muestras se toman a intervalos regulares o en tiempos determinados según el flujo, siendo examinados por separado o combinados para formar una muestra compuesta. Si la variación de la corriente se conoce, la composición es hecha proporcionalmente permitiendo que un compuesto verdadero sea obtenido de una muestra de volumen.

Los muestreadores compuestos proporcionan una muestra simple, formada por un gran número de incrementos, tomados a intervalos de pre-cronometraje o en determinados intervalos del flujo. La

muestra representa idealmente el promedio de composición sobre el período de muestreo pero no da información sobre la extensión de la variación que pueda ocurrir. La muestra puede extraerse de una corriente principal por medio de una bomba. Las bombas de desplazamiento constantes simples de tipo peristáltico (fig.1.2) son ampliamente usadas pero se usan también pequeñas bombas de combustible automático. Las muestras pueden acumularse como una muestra compuesta o puede desviarse para separar a los recipientes por válvulas selenoides (figura 1.3) operadas continuamente por un distribuidor de movimiento rotatorio longitudinal o moviendo las botellas de muestras en una tabla rotatoria

- **Selección y localización del muestreador**

La localización del muestreador estando próximo al punto en donde la muestra representativa se obtiene, debe estar accesible al personal. Cuando la corriente a ser muestreada no es físicamente accesible es conveniente bombear de un lado de la corriente de tamaño considerable a la localización del muestreador.

- **Ventajas con respecto a los métodos manuales:**

1. Reducción de personal en el uso del equipo
2. Permite muestreos más frecuentes
3. Elimina los errores manuales

- **Desventajas**

1. La tendencia a taparse los conductos cuando se muestrean líquidos con altas concentraciones de sólidos
2. En muestras compuestas, por lo general las porciones individuales que se mezclan son muy pequeñas, lo cual en algunos casos puede ser desventajoso
3. Los puntos de muestreo son fijos
4. El equipo no puede utilizarse para todo tipo de muestreo como es el caso de bacteriológicos y grasas y aceites
5. El costo de mantenimiento de equipo

Registadores Continuos

Como resultado de los avances recientes en instrumentación, muchos parámetros de importancia en el tratamiento de aguas de desecho, se miden y se registran continuamente. Tales observaciones continuas demuestran a menudo ventajas suficientes sobre muestras recolectadas para garantizar el costo de la instalación.

Continuamente el mecanismo para medir una actividad es el equivalente de examinar series infinitas de muestras, e impide la posibilidad de anomalías en periodos cortos de tiempo.

Los registros continuos pueden equiparse con alarmas altas y bajas que pueden activar al personal cuando ocurran anomalías en la entrada del desecho crudo durante el proceso de la planta.

1.3.2 TÉCNICAS ESPECÍFICAS DE MUESTREO.

Por lo general se divide el muestreo según la técnica para tomar la muestra y el tipo de preparación previa del recipiente; así tenemos:

Oxígeno Disuelto

El muestreador de oxígeno disuelto, contiene en su interior una botella de 300 ml, se sumerge en el punto de muestreo. Al llenarse el muestreador (sece del burbujeo), se saca del cuerpo de agua y se extrae la botella, previa colocación del tapón. Inmediatamente se procede a medir la temperatura y la fijación de oxígeno en el campo para evitar pérdidas por acción biológica.

MUESTREADOR AUTOMÁTICO "NEUMÁTICO"

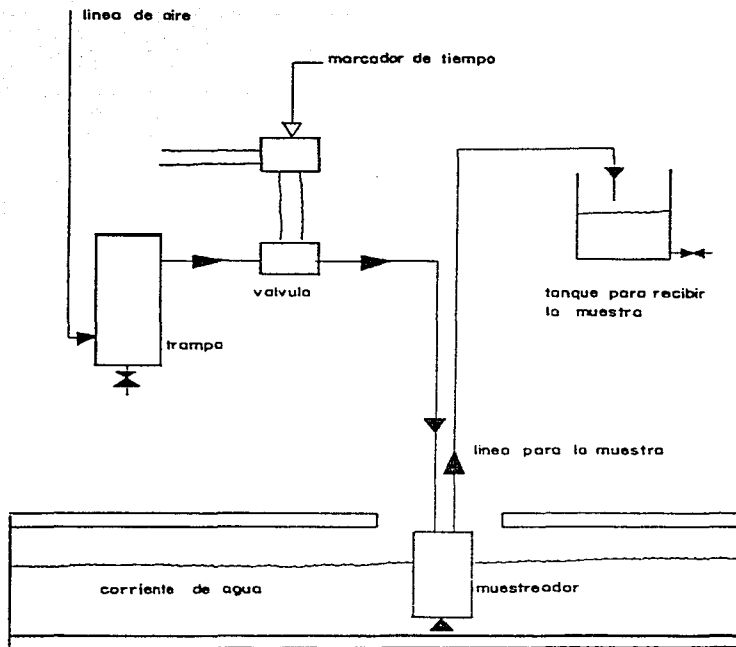
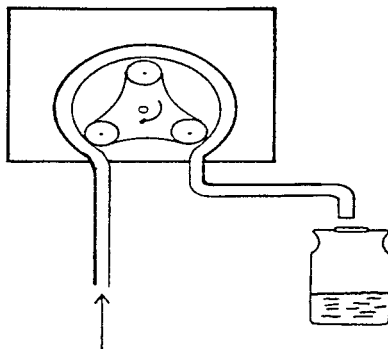
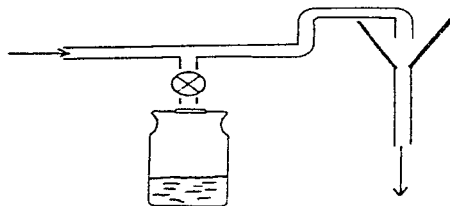


FIGURA 1.1

BOMBAS DE TIPO PERISTATICO



Muestreo con bomba peristáltica
FIG. 1.2



Muestreo con válvula solenoide
FIG. 1.3

Fisicoquímicos.

Según sean las condiciones del lugar, se podrá tomar la muestra ya sea sumergiendo el recipiente (por lo general de polietileno de 2 litros de capacidad) tomando la muestra en forma directa o utilizando el muestreador Kemmerer, llenando posteriormente las botellas.

Grasas y aceites.

Las muestras deben ser en frascos de vidrio de boca ancha completamente limpios, con tapón esmerilado previamente lavados con un solvente y sacados al aire. Durante el muestreo no se debe llenar el frasco, para evitar que al taparlo se derrame la muestra y se pierda el aceite flotante.

Las muestras de películas de aceite tomadas en la superficie de una corriente o de otro cuerpo de agua, serán casi imposibles valorar en comparación al volumen total del agua o al área total de la película.

Fosfatos.

Se emplea el mismo método que para el muestreo de fisicoquímicos, solo que el recipiente lleva una preparación previa que consiste en lavarlo con ácido clorhídrico diluido caliente y posteriormente con agua destilada. Debe evitarse el uso de detergentes que contengan fosfatos, en la limpieza del material.

Detergentes. (substancias activas al azul de metileno).

Los surfactantes tienden a concentrarse en la superficie por lo que deberán tomarse ciertas precauciones al muestrear. La dificultad para obtener muestras representativas es manifiesta, por que deben evitarse condiciones espumosas o por lo menos despejar las áreas antes de muestrear. No se debe usar detergentes en la limpieza del material porque puede ocurrir la adsorción del detergente en el equipo de vidrio causando errores en las determinaciones. Para limpiar el material se puede lavar con mezcla crómica y una vez limpio enjuagarlo con agua acidulada y posteriormente con agua destilada. Se debe tener cuidado que el material usado para esta determinación no se utilice en otros parámetros.

Metales Pesados.

Se debe tomar una muestra especial para la determinación de cationes como : aluminio, cadmio, mercurio, arsénico, cobre, cromo, plomo, plata y zinc, es decir, para éstos la muestra debe ser tomada en botellas perfectamente limpias, pudiendo ser de plástico o vidrio llevando un tapón del mismo material, acidularla con ácido clorhídrico o nítrico concentrado hasta un pH aproximado de 2.0 para reducir la precipitación y adsorción sobre las paredes del envase.

Los cationes hierro y manganeso pueden formar compuestos solubles en sus más bajos estados de valencia (reduciéndose) y compuestos relativamente insolubles en sus estados de valencia más altos (oxidándose). Por consiguiente puede precipitarse o disolverse como un sedimento dependiendo del potencial de óxido-reducción de la muestra, por lo que deberán ser colectados en una botella de vidrio enjuagada con ácido y después con agua destilada, pudiéndose presentar casos de fierro coloidal el cual se adhiere a las paredes de la botella, este problema se agudiza más con botellas de plástico. Cuando se toma una alícuota de la muestra, se deberá agitar vigorosamente para obtener una suspensión uniforme del precipitado de fierro.

Bacteriológicos.

Se requiere un frasco de 125 ml. de capacidad de boca ancha de vidrio resistente al calor y que sea bacteriológicamente inerte. Se le debe añadir 0.1 ml. de solución de tiosulfato de sodio al 10 % con el fin de contrarrestar la acción del cloro que pudiera contener el agua. Se le coloca un capuchón de papel aluminio para proteger la tapa del frasco, pues al muestrear se debe evitar que el cuello o tapón del frasco se ponga en contacto con los dedos o cualquier otro equipo. Además, sirve como garantía de esterilidad.

Los recipientes de vidrio o plástico se pueden esterilizar en autoclave a 121°C durante 10 minutos.

La esterilización en estufa de aire caliente, a 170°C, por una hora, puede usarse para botellas de vidrio.

Al muestrear se debe llenar el recipiente a 3/4 partes de su capacidad, pues una cantidad menor sería insuficiente y una mayor disminuiría el espacio de aire necesario para homogeneizar la muestra y preservar las condiciones microbiológicas reales.

El examen de la muestra colectada debe realizarse lo más pronto posible para evitar una proliferación bacteriana.

Cuando el examen se inicia 6 horas después de tomar la muestra los resultados empiezan a ser inciertos.

El procedimiento para recolección de las muestras bacteriológicas es el siguiente:

- a) Introducir el frasco aproximadamente 30 cm. bajo la superficie de la corriente.
- b) Destapar el frasco dentro del agua; la boca del envase deberá quedar en sentido contrario de la corriente, para evitar que el agua toque primero las manos del muestreador y después entre a la botella.
- c) Una vez que ocupó el volumen correspondiente del frasco (2/3 partes), taparlo dentro del agua.
- d) Si se trata de tomar una muestra de un grifo del sistema de servicio, el grifo se ha de abrir completamente y se deja que el agua fluya por 2 o 3 minutos, o por el tiempo suficiente para permitir purgar la línea. El momento del muestreo se restringe al flujo de la llave para que se pueda llenar el frasco sin salpicar el agua.

1.4 MANEJO Y TRANSPORTE DE LAS MUESTRAS

1.4.1 EQUIPO DE MUESTREO

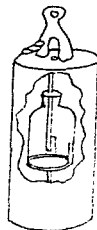
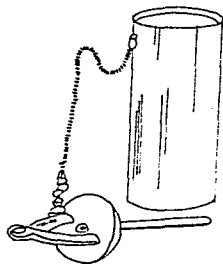
- a) Muestreador Kemmerer
- b) Muestreador para oxígeno disuelto
- c) Caja de madera para reactivos.
- d) Medidor electrométrico de oxígeno disuelto.
- e) Reactivos para oxígeno disuelto.
- f) 3 pipetas graduadas de 10 ml.
- g) 2 pipetas volumétricas de 100 ml.
- h) Botella para oxígeno disuelto.
- i) Botellas de plástico de 2 l.
- j) Embudos de plástico
- k) Termómetro con cubierta metálica.
- l) Cubetas de plástico.
- m) Cable para los muestreadores.
- n) Hielera.
- o) Frasco de vidrio de 125 ml. estériles con tapón esmerilado.
- p) Frascos de vidrio de boca ancha de 1 l. de capacidad para muestras de grasas y aceites.
- q) Bureta de 125 ml.
- r) Soporte universal.
- s) 3 Matraces Erlenmeyer de 250 ml.
- t) Potenciómetro de campo o papel PH.
- u) Conductímetro de campo.
- v) Piceta con agua destilada.
- w) Guantes y botas de hule.
- x) Preservativos específicos.

En la figura 1.4 se muestra en forma esquemática parte del equipo mencionado.

EQUIPO UTILIZADO EN EL MUESTREO



Muestreador Kemmerer (a)



Muestreador para oxígeno disuelto (b)

FIGURA 1.4



Frasco para DBO



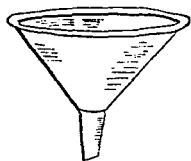
Frasco de muestreo para
análisis fisicoquímicos



Frasco de muestreo para
bacteriología

FIGURA 1.4

EQUIPO UTILIZADO EN EL MUESTREO



Embudo de plástico



Bureta



Vaso de precipitado



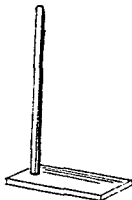
Piceta

FIGURA 1.4

EQUIPO UTILIZADO EN EL MUESTREO



Frasco para grasas



Soporte universal



Pinzas para bureta



Matraz Erlenmeyer

FIGURA 1.4

EQUIPO UTILIZADO EN EL MUESTREO

1.4.2 PREPARACIÓN DE LOS ENVASES E IDENTIFICACIÓN DE LAS MUESTRAS

Los envases deben estar limpios en su interior y debidamente identificados. La limpieza de ellos puede hacerse con mezcla crómica o con un buen detergente, cuidando de enjuagarlos bien. Si no se cuenta con estos elementos bastará con lavar los envases numerosas veces con agua limpia y luego enjuagarlos con el agua que se va a muestrear. Esto sólo para el caso de muestras para análisis fisicoquímicos.

Para grasas y aceites, el frasco una vez limpio, se debe enjuagar con un solvente y secarlo al aire; para fosfatos, el frasco debe enjuagarse con agua acidulada caliente y , posteriormente con agua destilada; para bacteriológicos, el frasco debe estar estéril; si las aguas de muestreo están cloradas, añadir al frasco, antes de esterilizar, 0,1 ml. de tiosulfato de sodio al 10%.

Identificación de la muestra

En la etiqueta y en la hoja de datos, deberán especificarse lo siguientes datos.

- **En la etiqueta**
 - a) Lugar de muestreo
 - b) Fecha y hora
 - c) Número de estación.
 - d) Análisis requeridos

- **En el Registro de Campo**

Además de los datos anteriores

 - a) pH
 - b) Temperatura del cuerpo de agua.
 - c) Temperatura ambiental
 - d) Oxígeno disuelto
 - e) Métodos de muestreo
 - f) Gasto
 - g) Nubosidad
 - h) Nombre del muestreador
 - i) Observaciones.

1.4.3 TRANSPORTE DE LAS MUESTRAS

a) Muestras de oxígeno disuelto. Después de fijarlas, evitar una exposición a la luz solar y transportarlas en cajas adecuadas para evitar pérdidas de muestra por movimientos. Mantenerlas en refrigeración.

b) Muestras para análisis fisicoquímicos. Cuidar de que las botellas estén perfectamente cerradas para evitar pérdida de muestra y refrigeradas adecuadamente (mantener las muestras en recipientes con bastante hielo, el tiempo que dure su transporte al laboratorio).

c) Muestras para análisis bacteriológicos. Para evitar los cambios producidos por la proliferación de organismos, las muestras se deberán mantener en la obscuridad (envueltas en papel aluminio) y a baja temperatura (refrigeración) hasta que se analicen. Estas precauciones también se aplican a muestras de DBO

El tiempo de transporte de las muestras al laboratorio no deberá exceder de 12 horas.

Intervalo de tiempo entre el muestreo y el análisis

Es posible establecer qué lapso debe permitirse entre el muestreo y el análisis; esto depende de las características de la muestra, del análisis que se haga y de las condiciones de almacenamiento. Los siguientes límites máximos se sugieren para análisis fisico-químicos:

Aguas no contaminadas..... 72 hrs.
 Aguas ligeramente contaminadas..... 48 hrs.
 Aguas contaminadas..... 12 hrs.

En el informe de laboratorio se deberá indicar el tiempo transcurrido entre el muestreo y el análisis y el tipo de agente preservativo empleado.

1.4.4 MANEJO DE LAS MUESTRAS

Antes de tomar una muestra se debe pensar en el tipo de análisis que se va a realizar, ya sea metales disueltos, metales suspendidos, metales totales o solubilizables.

Esta decisión determinará si la muestra tiene que ser acidulada filtrada o digerida.

Las muestras se acidulan para disolver los metales y para minimizar su adsorción sobre las paredes del recipiente.

Si queremos analizar metales disueltos filtramos la muestra a través de un filtro que tenga un poro de 0.45 μ antes de acidularla; si es posible se realiza esta operación in situ.

Cuando se quiere conocer la concentración de los metales solubilizables o totales no se filtra la muestra sino que se acidula con HNO₃ concentrado hasta obtener un pH de 2.0 o menor.

1.4.5 PRESERVACIÓN DE LAS MUESTRAS

Es prácticamente imposible una preservación completa de las muestras, ya sean aguas naturales, residuos domésticos o industriales.

Las técnicas de preservación sólo pueden retardar los cambios químicos y biológicos que inevitablemente, se producen después de que se toma la muestra.

En general mientras más corto sea el tiempo transcurrido entre la toma de la muestra y su análisis, más seguros serán los resultados obtenidos.

Las orientaciones típicas usadas para preservar las muestras son: refrigeración, congelación, adaptación de pH, estabilización química de sustancias específicas y el uso de bactericidas. El Cuadro 1.1 muestra la acción y aplicación de algunos tipos de preservativos usados más comúnmente.

CUADRO 1.1
 ACCIÓN Y APLICACIÓN DE ALGUNOS TIPOS DE PRESERVATIVOS USADOS MÁS COMÚNMENTE

Preservativo	Acción	Aplicable a:
HgCl ₂	Inhibidor bacteriano	Nitrógeno y fósforo en todas sus formas.
Ácido (HNO ₃)	Solvente de metales, prevenir la precipitación.	Metales
Ácido (H ₂ SO ₄)	Inhibidor bacteriano	Muestras orgánicas
Alcali (NaOH)	Formación de sales con compuestos volátiles	Cianuro, ácidos orgánicos
Refrigeración o congelamiento.	Inhibidor bacteriano	Acidez, alcalinidad, material orgánico, color, microorganismos.

Efecto de la temperatura

Pueden ocurrir cambios considerables en la DBO durante 24 horas almacenadas o a una temperatura ordinaria, la cual debe reducirse al mínimo por medio de depósitos apropiados para las bajas temperaturas. Para los periodos largos de depósitos contando días o semanas, es posible congelar muestras. El deterioramiento de la muestra congelada no debe realizarse a

temperaturas más altas que el ambiente. Si la muestra congelada y redertida se usa para otras determinaciones que para la DBO, deberá demostrar que el congelamiento y derretimiento no afectará a los análisis.

1.4.6 EFECTO DEL TIEMPO EN EL ALMACENAMIENTO

La mayoría de las reacciones químicas y bioquímicas son reacciones de velocidad, el intervalo entre el muestreo y el análisis debe ser tan corto como sea posible.

Las pruebas para pH, alcalinidad, olor, DBO, DCO, y fenoles deben ejecutarse tan pronto como sea posible. El dióxido de carbono, sulfuro de hidrógeno, cloro, y OD, deben realizarse inmediatamente y preservar las muestras químicamente.

Durante el almacenamiento, algunos cationes tales como el cadmio, hierro, manganeso, mercurio, plata, zinc, cobre, y aniones tales como el fosfato, son absorbidos en las paredes del recipiente de la muestra. Los errores de estas fuentes son de particular importancia si los iones absorbidos se presentan inicialmente en cantidades demostradas.

Cuando la velocidad de absorción es conocida, estos análisis deben hacerse tan pronto como sea posible. El Cuadro 1.2 muestra algunas recomendaciones para el muestreo de aguas y aguas de desecho.

CUADRO 1.2
RECOMENDACIONES PARA EL MUESTREO DE AGUAS Y AGUAS DE DESECHO

PARAMETROS	VOLUMEN REQUERIDO (ml)	TIPO DE ENVASE:	PRESERVATIVO	TIEMPO MAXIMO DE ALMACENAMIENTO
Acidez	100	P,V (1)	refrigeración a 4°C	24 horas
Alcalinidad	100	P,V	refrigeración a 4°C	24 horas
Arsénico	100	P,V	HNO ₃ a pH 2	6 meses
DBO	1000	P,V	refrigeración a 4°C	6 horas
Bromuro	100	P,V	refrigeración a 4°C	24 horas
DCO	50	P,V	H ₂ SO ₄ a pH 2	7 días
Cloruros	50	P,V	No requiere	7 días
Cloro residual	150	P,V	refrigeración a 4°C	24 horas
Color	50	P,V	refrigeración a 4°C	24 horas
Cianuro	500	P,V	refrigeración a 4°C	24 horas
OD	300	V	Determinar en el lugar de muestreo	No almacenar
Fluoruro	300	P,V	refrigeración a 4°C	7 días
Dureza	100	P,V	refrigeración a 4°C	7 días
Ioduros	100	P,V	refrigeración a 4°C	24 horas
Fósforo total	100	P,V	refrigeración a 4°C	24 horas
Fósforo total disuelto	100	P,V	Filtrar "in situ" refrigeración a 4 °C	24 horas
Sólidos todas formas	200	P,V	refrigeración a 4°C	7 días

PARÁMETROS	VOLUMEN REQUERIDO (ml)	TIPO DE ENVASE:	PRESERVATIVO	TIEMPO MÁXIMO DE ALMACENAMIENTO
Selenio	50	P.V	HNO ₃ a pH 2	6 meses
Silíce	50	P	refrigeración a 4°C	7 días
Sulfato	100	P.V	refrigeración a 4°C	7 días
Sulfuros	500	P.V	2 ml. acetato de Zinc	24 horas
Sulfitos	50	P.V	refrigeración a 4°C	24 horas
Temperatura	1000	P.V	Determinar "in situ"	No almacenar
Olor	200	V	refrigeración a 4°C	24 horas
Turbiedad	100	P.V	refrigeración a 4°C	7 días
Análisis Bacteriológicos	100	P.V	refrigeración a 4°C	6 horas
Sustancias activas al azul de metileno	250	P.V	refrigeración a 4°C	24 horas
Metales disueltos	200	P.V	Filtrar "in situ" HNO ₃ a pH 2	6 meses
Metales suspendidos	200	P.V	Filtrar "in situ"	6 meses
Metales totales	100	P.V	HNO ₃ a pH 2	6 meses
Mercurio disuelto	200	P.V	Filtrar "in situ" HNO ₃ a pH 2	38 días (vidrio) 13 días (plástico)
Mercurio total	100	P.V	HNO ₃ a pH 2	38 días (vidrio) 13 días (plástico)
Nitrógeno Amoniacal	400	P.V	refrigeración a 4°C	24 horas
Nitratos	100	P.V	refrigeración a 4°C	24 horas
Nitritos	50	P.V	refrigeración a 4°C	
Aceites y grasas	1000	V	refrigeración a 4°C	24 horas
Carbón orgánico	25	P.V	refrigeración a 4°C H ₂ SO ₄ a pH 2	24 horas
pH	25	P.V	refrigeración a 4°C determinar "in situ"	6 horas
Fenoles	500	V	refrigeración a 4°C H ₃ PO ₄ a pH 4	24 horas

CONTINUACIÓN DEL CUADRO 1.2

El Cuadro 1.3 muestra algunos efectos y recursos en el almacenamiento de muestras.

CUADRO 1.3
EFECTO DEL ALMACENAMIENTO DE LAS MUESTRAS

Elemento	Efecto	Recurso
Alcalinidad	CO ₂ en el aire afecta a la alcalinidad.	Impedir la exposición prolongada al aire.
Amoniaco	Las muestras altas en pH pueden perder amoniaco por volatilización.	Estabilizar por acidificación a pH 2-3
Elementos Bacteriológicos	Cambio en masas bacteriológicas	La muestra debe refrigerarse y examinarse tan pronto sea posible.
Demanda Biológica de Oxígeno	Degradación Bioquímica	Las pruebas deben disponerse inmediatamente, el análisis debe hacerse dentro de las 24 horas.
Dióxido de Carbono	Emisión del Dióxido de Carbono que resulta en la solución.	Las medidas de alcalinidad y pH, deben hacerse inmediatamente en el momento del muestreo
Demanda Bioquímica de Oxígeno	Degradación Bioquímica	La muestra puede preservarse acidificando el pH de 2-3 con H ₂ SO ₄
Cloro	La exposición del sol, reduce la presencia del cloro.	Las determinaciones deben empezarse inmediatamente después del muestreo.
Oxígeno Disuelto	Refrigeración de la muestra	Impedir la exposición al aire.
Dureza	Posible precipitación de carbonatos	Evitar una prolongada exposición al aire.
Hierro (Férrico y Ferroso)	Hierro ferroso oxidado a un estado férrico	Separar el hierro, acidificarlo para prevenir la precipitación del hidróxido férrico
Nitritos	Oxidación a Nitratos	La determinación debe hacerse rápidamente
Balace del Nitrogeno	La actividad microbologica cambia el balance de nitrato-nitrato amoniaco	El balance del nitrogeno puede preservarse por 24 horas, acidificando a un pH de 2-3 con H ₂ SO ₄ .
pH	Las muestras con un pH mayor que 4 absorberá dióxido de carbono.	Análisis simultaneamente
Fenoles	Degradación Bioquímica	La suma de CuSO ₄ inhibira la degradación bioquímica.
Sulfuros, Hidrogeno, Sulfato, Sulfitos, y dióxido de sulfuro	Pérdidas por volatilización oxidación de compuestos de sulfuro	Las muestras deben estabilizarse dentro de los primeros minutos de coleccion y se adiciona acetato de zinc
Grado de intensidad de color	La volatilización de sustancias produce olor	La prueba de olor puede lograrse el mismo día en que se recibe la muestra

1.5 LOCALIZACIÓN DE LAS FUENTES DE CONTAMINACIÓN Y ESTABLECIMIENTO DE ESTACIONES DE AFORO Y MUESTREO.

A partir del conocimiento general de la zona y la recopilación de toda la información existente, es necesario realizar un recorrido de la corriente, con el fin de verificar en el campo la información obtenida.

Durante el recorrido se deben realizar las siguientes actividades:

1. Hacer anotaciones en los planos recabados y elaborar croquis complementarios de las descargas municipales, industriales, canales de retorno de riego y de retorno de hidroeléctricas, anotando su acceso al sitio de vertido en el cuerpo de agua receptor y dimensiones del canal o tubería.
2. Anotar los efluentes que recibe la corriente o lago en estudio, así como el acceso a la confluencia y las características principales de la misma.
3. Hacer croquis y anotaciones de los canales de salida, así como su ubicación y acceso al sitio de su localización.
4. Anotar las presas o represas que se localizan en la corriente, cambios de morfología considerables como: rápidos, zonas de meandros y cambios de sección.

Las estaciones de muestreo y aforo se fijarán de acuerdo al siguiente criterio:

- a) Se muestrearán todas las descargas de aguas residuales y efluentes que lleguen al cuerpo de estudio.
- b) Sobre la corriente se fijarán las estaciones de muestreo, antes y después de cada una de las situaciones siguientes:
 - 1) Descarga de agua residual.
 - 2) Entrada de corrientes tributarias.
 - 3) Salida de canal.
 - 4) Presa, represa, mar o sitio de descarga.
 - 5) Cambios fuertes de sección.
 - 6) Caídas o cascadas.
 - 7) Zonas cubiertas de lino.

Además, se deberá instalar, a juicio de la persona encargada, estaciones intermedias en los tramos de longitudes muy largas, donde no suceda ningún fenómeno de los antes descritos.

Se deberá aforar en todas las estaciones de muestreo seleccionadas, ya que el grado de contaminación está íntimamente ligado con los volúmenes de agua por el factor de dilución. Para tal fin se seleccionarán puntos cercanos a la estación de muestreo, de tal manera que tenga las características siguientes:

- Que el tramo sea recto y de sección uniforme.
- Donde exista una estructura que ayude a realizar el aforo.
- Donde se pueda vadear el río para su mejor aforo.

1.5.1 PROGRAMA DE MUESTREO EN UNA PLANTA DE TRATAMIENTO

El estudio del muestreo en una planta de tratamiento se desvía en dos categorías, una que es la del tiempo de rutina continua y la otra de corta duración e investigación especial.

Localización de las estaciones de muestreo

La localización de los puntos apropiados del muestreo deben establecerse independientemente para cada planta de tratamiento como las condiciones que variarían de una planta a otra. Ciertos principios generales son comunes en todas las inspecciones del muestreo de la planta y algunas de estas se enumeran como sigue.

1. Las muestras deben tomarse en donde el desecho está bien mezclado. (flujo turbulento)
2. Las partículas grandes, aquellas en exceso de un cuarto de pulgada en el diámetro, se deben excluir.
3. Los depósitos, las crecientes o el material flotante que se ha acumulado en el punto de muestreo, no debe incluirse en la muestra.

4. Las muestras mantenidas más de una hora después del análisis, se deben enfriar.
5. La colección de las muestras debe hacerse lo más fácil que sea posible.
6. La ubicación de las estaciones de muestreo deben ser accesibles y contar con el equipo apropiado para que continúe con el programa de muestreo.

Frecuencia de muestreo

La frecuencia del muestreo depende de las variaciones asociadas con el desecho individual de la corriente, así como las limitaciones prácticas asociadas con la medida de la planta de tratamiento, la carga del personal y horas de supervisión.

Haciendo caso omiso del tamaño de la planta de tratamiento o de las facilidades disponibles del laboratorio, cualquier esfuerzo debe hacerse para mantener una prueba de rutina en una base. Es demasiado fácil cometer errores en el desarrollo de las pruebas en el laboratorio y sólo por comparación de los resultados analíticos, dichos errores son descubiertos. Es importante hacer notar que el tamaño de la planta de tratamiento no indica necesariamente el número y la frecuencia de las pruebas y los análisis desarrollados. En general, se recomienda que los análisis para las muestras de DBO₅ y los sólidos suspendidos sean colectados un día por semana como mínimo. Estas muestras deben ser compuestas las cuales son proporcionales a la corriente.

1.5.2 PROGRAMA DE MUESTREO DE LOS DESECHOS INDUSTRIALES

El muestreo de las descargas de los desechos industriales a los sistemas municipales de alcantarillado, son llevados a cabo por uno o más propósitos:

1. Investigar el potencial actual de contaminación del desecho.
2. Para un examen general de descarga de desecho industrial para asegurar el rendimiento con el uso de alcantarillado por las leyes.
3. Determinar las cargas de los desechos en terminos de kilogramos (libras) DBO₅ sólidos suspendidos, etc.
4. Para anticipar las cargas de choque o las descargas de desechos de gran fuerza.

Localización de las estaciones de muestreo

Lo mejor es seleccionar la ubicación de muestreo que represente las descargas del desecho industrial antes de que entre en el alcantarillado municipal.

Frecuencia de muestreo

En casos en donde se muestrea una corriente de desechos que varía ampliamente, se debe obtener volúmenes de muestra que sean representativos a la corriente de desecho. Esto se logra por medio del muestreador automático.

Las muestras obtenidas se toman con suficiente frecuencia para acomodar todas las variaciones de la corriente. Las características promedio del desecho son calculadas del análisis subsecuente de la toma de muestras individuales y el flujo de desecho apropiado al tiempo de que la muestra sea tomada.

1.5.3 PROGRAMA DE MUESTREO DE LAS AGUAS RECEPTORAS

El muestreo para los efectos de las aguas de desecho no termina necesariamente en el perímetro de la planta de tratamiento, sino que puede extenderse muchas millas dentro del agua que recibe la descarga de la planta. Dicho muestreo puede recorrer, de un programa rudimentario a un programa complicado. Las razones para el muestreo son múltiples, sin embargo, las razones siguientes son probablemente las mayores.

1. Las facilidades de disposición de las aguas de desecho pueden operarse sobre un permiso de un cuerpo gubernamental
2. La demostración en conformidad con la calidad estándar del agua para efecto del agua receptora.
3. La determinación de la calidad del agua receptora se considera necesaria para la auto protección en el acontecimiento de peticiones, quejas, etc.

Los departamentos gubernamentales requieren el muestreo del agua receptora para proteger a la fauna y la flora.

Localización de las estaciones de muestreo

El muestreo en las aguas receptoras puede distribuirse como sigue:

Arroyos pequeños, estanques, ríos, lagos, bahías, playas con marea, estuarios con marea y océanos.

Cuando la corriente es baja y el mezclado es el desecho ligero, puede correr adyacente a los bancos y puede equivocarse el curso de una corriente de muestreo. Los estanques se muestrean en la superficie, en el centro y con varias estaciones alrededor del perímetro de él. Los ríos, dependiendo dependiendo de su ancho requieren el trazado de una polígona de tres cabidas, una en medio de la corriente y una a cada lado de la orilla de ella. Puede requerirse un número de dichas poligonales a través del río, dependiendo de la extensión de la inspección. Los lagos pequeños pueden muestrearse alrededor del perímetro y con cada muestra que ha sido dada para representar cierta área. Las bahías pueden ser parte de un lago, pero pueden diferir.

Es útil un acercamiento estadístico para evaluar el número de muestras, sin embargo, la limitación real para el número de muestras, son los fondos disponibles.

Frecuencia de muestreo

Los arroyos pueden muestrearse en la estación más baja de la corriente, así como en una corriente abundante algunas aguas receptoras pueden ser muestreadas extensivamente durante los meses de verano y muestrear en una reducida escala en los meses de invierno.

1.6 DISPOSITIVOS DE AFORO

1.6.1 AFORO DE CORRIENTES SUPERFICIALES:

Se llama aforo a las mediciones u operaciones que se realizan para conocer el gasto o volumen de agua que pasa por la sección transversal de una corriente por la unidad de tiempo.

Los métodos para la medición de gastos (aforos) en Corrientes de agua superficiales dependen del volumen de la corriente, de las condiciones físicas del lugar donde se va a hacer la medición y del grado de exactitud deseado.

Los métodos más comunes empleados son los siguientes:

- I. Método de sección y velocidad.
- II. Método de sección y pendiente hidráulica.
- III. Aforador Parshall.
- IV. Método volumétrico.
- V. Método por fórmulas.

I Método de Sección y Velocidad.

El método consiste en calcular separadamente la sección transversal de la corriente (por sondeo o algún otro procedimiento topográfico) y la velocidad del agua.

• Medición de la sección Transversal de la Corriente.

El perfil de la sección transversal del cauce en el sitio de aforo, se determina por sondeos o por medio de una nivelación, una forma práctica es por sondeos de la siguiente manera.

♦ *Por l'adeo.*

Cuando el río se puede vadear (70 cm. de tirante de agua y $V = 1.0$ m/s) se efectúan los pasos siguientes:

- a) Se tiende un cable o cuerda resistente a lo ancho del río, perpendicular al sentido de la corriente.
- b) Se marcan sobre el cable los márgenes de la corriente y se mide el ancho del río.
- c) Segmento el ancho del río en un número de partes seleccionadas a criterio (comúnmente 10), procurando que sean medidas cerradas y marque la cuerda en esos puntos.
- d) Se miden las profundidades en cada punto empleando una sonda ya sea rígida o flexible, o bien, con las vanillas de molinete, colocando en el extremo de la primera vanilla, la zapata de asiento, para que no se hunda cuando esté el suelo fangoso.
- e) Anotar cada profundidad para que posteriormente pueda calcular las áreas parciales de los segmentos seleccionados.

♦ *En Puentes.*

Para medir la sección se seguirán los siguientes pasos:

- a) Marcar las márgenes de la corriente sobre la estructura del puente mediante una plomada ó utilizando la sonda.
- b) Se mide el ancho del río y se segmenta a criterio, procurando que sean medidas cerradas. Marque los segmentos sobre la estructura del puente.
- c) En cada punto marcado se mide la profundidad, empleando una sonda flexible. Para lo anterior se baja la sonda hasta que se pose suavemente en el fondo, marcar sobre el cable flexible el punto que coincide con el piso de la plataforma del puente, elevar la sonda con cuidado hasta que quede sobre el espejo del agua; marcar otra vez el cable tomando la misma referencia. La distancia entre las marcas señaladas es la profundidad del tirante del agua.
- d) Anotar la profundidad para que posteriormente calcular las áreas de los segmentos. El área total es la suma de todas las áreas parciales.

♦ *Por Nivelación Topográfica.*

Se elige un banco de nivel en una piedra o tronco que se encuentre completamente fijo, con el objeto de que se conserve. El procedimiento de segmentación es el mismo que en los casos anteriores. La profundidad se conoce midiendo la diferencia de niveles por medio de un estadal.

• Medición de Velocidades

La velocidad de la corriente en la sección transversal seleccionada se puede medir por medio de:

- a) Flotadores
- b) Molinetes

c) Tubos de pitot.

• *Flotadores*

Son cuerpos más ligeros que el agua y que conducidos en suspensión por la corriente, adquieren una velocidad que resulta según la clase de flotadores empleados (superficiales o sumergidos), mas o menos igual a dicha corriente.

Los flotadores superficiales son los que se desplazan en la superficie del agua, y por lo mismo, con ellos se obtiene la velocidad superficial. Pueden emplearse entre otras cosas recortes de maderas, algunos frutos, procurando que la parte no sumergida presente la menor superficie a la acción del viento.

Los flotadores sumergidos o bastones tienen forma de barra y al ser puestos en la corriente, toman una posición vertical, que se extienden desde la superficie hasta cerca del fondo, y proporcionan, por lo tanto, un promedio de las velocidades de la corriente en el tramo que recorren pero sólo pueden usarse en cauces de sección muy uniforme.

El procedimiento para calcular la velocidad con cualquiera de los flotadores descritos es la siguiente:

- a) Se escoge un tramo de la corriente que presente la sección más uniforme.
- b) Se mide una distancia sobre cualquiera de las márgenes de la corriente, señalando sus puntos extremos.
- c) Se arroja el flotador en uno de los puntos y se empieza a medir el tiempo.
- d) Se mide el tiempo en el cual el flotador recorrió la distancia conocida.
- e) Se repite el procedimiento tres veces; se promedia el tiempo medido y se calcula la velocidad con la fórmula siguiente:

$$V = \frac{D}{T}$$

donde:

V = Velocidad en m/s
D = Distancia en m
T = Tiempo en seg.

• *Molinete*

Es un aparato provisto de una hélice o una rueda de copas que accionada por corriente gira alrededor de un eje montado en un dispositivo de suspensión, que trasmite su movimiento a un sistema registrador, que permite conocer el número de vueltas que da la hélice en un tiempo determinado.

En cada aparato la relación entre el número de revoluciones que da la hélice en un tiempo determinado y la velocidad que lleva la corriente, se conoce por observaciones de laboratorio hechas con anterioridad. Las fábricas de molinetes presentan tablas que relacionan el número de revoluciones de la hélice, el tiempo y la velocidad.

Para medir la velocidad con el molinete se procede de la siguiente manera:

- a) Observar al girar la hélice, el número de revoluciones que da para mandar la señal al audífono.

- b) Se coloca el molinete a la profundidad deseada y se mide con un cronómetro el tiempo que tarda en mandar un determinado número de señales o sonidos.
- c) El método más comúnmente empleado consiste en colocar el molinete a los 6/10 de la profundidad, contados a partir de la superficie del agua hacia el fondo y en el centro de cada una de las fracciones o segmentos seleccionados en la sección.
- d) Con el tiempo medido y el número de revoluciones contadas se observa la tabla para calcular la velocidad.

♦ *Tubo de Pitot.*

Un tubo de pitot es un dispositivo que mide la velocidad en un punto. Normalmente consiste en dos tubos concéntricos colocados paralelamente al flujo. El tubo exterior está perforado con pequeños orificios que comunican con el espacio anular y son perpendiculares a la dirección del flujo. El espacio anular se encuentra sellado en sus demás partes excepto en su conexión con la rama de un manómetro. El tubo interior tiene una pequeña abertura frente a la dirección del flujo. Este tubo está conectado con la otra rama del manómetro.

No existe un movimiento dentro del tubo de pitot; el espacio anular sirve para transmitir la presión estática. El fluido queda en reposo a la entrada del tubo interior y ese tubo trasmite una presión de impacto equivalente a la energía cinética del fluido.

• Cálculo del gasto.

Con el área transversal previamente medida y con la velocidad medida por alguno de los métodos descritos se procede a calcular el gasto por medio de las fórmulas siguientes:

Gasto con flotadores Superficiales.

Cuando la velocidad se mide por medio de flotadores superficiales, la velocidad promedio se supone que se ve afectada por un coeficiente que varía de 0.8 a 0.9 (promedio 0.85):

$$V_s = D / T \quad \text{Velocidad Superficial.}$$

$$V_p = 0.85 V_s \quad \text{Velocidad promedio.}$$

Al obtener la velocidad promedio se calcula el gasto con la fórmula siguiente:

$$Q = A \times V$$

donde:

Q = Gasto de la corriente, m³ / seg

A = Área total transversal. m²

V = Velocidad promedio m / seg

Gasto por Medición con Molinetes.

Cuando se ha medido la velocidad por medio del molinete, el gasto total es igual a la suma de los gastos parciales medidos para cada segmento.

A_i = área transversal del segmento.

V_i = Velocidad medida en el centro del segmento.

II **Método de Sección y Pendiente Hidráulica.**

El método de sección y pendiente hidráulica para medir el gasto de una corriente, consiste en determinar.

- a) El área de la sección transversal medida de la corriente, en el tramo considerado para el aforo.
- b) El radio hidráulico de dicha sección.
- c) La pendiente hidráulica a lo largo del tramo considerado para el aforo
- d) Las características del cauce y el estado en que se encuentra, a fin de elegir el coeficiente de rugosidad apropiado

Con los datos anteriores se determina la velocidad media de la corriente mediante la aplicación de la fórmula de Manning:

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$

donde:

- V = Velocidad media de la corriente.
- n = Coeficiente de rugosidad que depende de la naturaleza y condiciones particulares del cauce.
- R = Radio Hidráulico = A / P
- A = Área de la sección transversal de la corriente.
- P = Perímetro mojado (perímetro de la sección transversal en contacto con el agua)
- S = Pendiente Hidráulica.

Los valores de R, y consecuentemente de A y P, son funciones de la sección transversal y de la altura del agua en un momento dado. El valor de S (aunque no es riguroso) puede tomarse de la pendiente que se observa en la superficie del agua, y de n, en las tablas existentes, donde se dan para cada clase de cauce y para las distintas condiciones de cada uno. Siempre que sea posible, deben hacerse comprobaciones del valor de n, mediante la práctica de aforos con molinetes o cualquier otro tipo método directo, de los cuales se obtiene el valor de la velocidad medio (V); conocido este y los de R y S se determina n, mediante la aplicación de la fórmula:

$$n = \frac{1}{V} R^{2/3} S^{1/2}$$

• Aforo por vertedores.

Generalmente el tipo de vertedores más usado, es aquel en donde se han suprimido las contracciones laterales del chorro, por ser la longitud de la cresta igual al ancho del canal de llegada con sus paredes laterales paralelas.

Un vertedor en general es un dispositivo hidráulico que consiste en una escotadura a través de la cual se hace circular el agua. Hay diferentes clases de vertedores, según la forma que se obliga a adoptar a la vena líquida que circula por la escotadura, de modo que puede ser rectangular, trapecial, triangular o circular.

• Cálculo de gasto por vertedores.

El gasto a través de vertedores se calcula por medio de :

- a) fórmulas generales
- b) fórmulas empíricas.

fórmulas generales

- Para vertedores triangulares

$$Q = Ch^{3/2}$$

- Para todo tipo de vertedores (excepto triangulares).

$$Q = CLh^{3/2} \dots\dots\dots 1$$

donde:

C = Coeficiente del vertedor.

L = Longitud de la cresta del vertedor, m.

h = altura del vertedor

$$Q = A v \dots\dots\dots 2$$

donde:

A = área del vertedor

v = Velocidad (se calcula por medio del molinete).

Para obtener C, se iguala 1 con 2

$$CLh^{3/2} = A v$$

de donde

$$C = A v / Lh^{3/2}$$

fórmulas empíricas.

- Para vertedores rectangulares con contracciones:

$$Q = 8.84 (L - 0.1 n h) h^{3/2}$$

- Para vertedores triangulares sin contracciones: (Francis)

$$Q = 1.84 L h^{3/2}$$

- Para vertedores triangulares con ángulo de 90°

$$Q = 1.40 h^{5/2}$$

- Para vertedores triangulares con ángulo de 60°

$$Q = 0.775 h^{2.47} \quad \text{ó} \quad Q = 0.809 h^{5/2}$$

- Para vertedores trapeziales

$$Q = 1.84 (L - 0.1 n h) h^{3/2} + 8/15 \tan \alpha C (2g)^{1/2} h^{5/2}$$

- Para vertedores Cipolletti (vertedor trapecial con inclinación en sus paredes de 1 horizontal por 4 vertical).

$$Q = 1.859 L h^{3/2}$$

donde :

Q = gasto volumétrico, m³ / seg.

n = constante que depende del tamaño del vertedor

g = constante de la gravedad, m/seg²

h = altura del vertedor, m

L = Longitud de la cresta del vertedor, m

III Mediciones de gasto por medio del aforador Parshall.

El medidor Parshall está constituido por 3 partes fundamentales que son: la entrada, la garganta y la salida. La primera está formada por dos paredes verticales simétricas y convergentes y de un fondo o plantilla que es horizontal; la garganta está formada por dos partes verticales, paralelas y el fondo es inclinado hacia abajo con una pendiente de 2.67 : 1; la salida, está formada por dos paredes verticales divergentes y el fondo es ligeramente inclinado hacia arriba.

Las paredes como el fondo son planos y la arista que forma por la unión del fondo de la entrada y el de la garganta se le llama Cresta del medidor, y su ancho se le llama Tamaño del medidor y se le designa por la letra W.

e. Funcionamiento del aforador Parshall.

Los muros convergentes de la entrada guían los filetes de la vena líquida hasta la cresta, que es propiamente la sección de control, en donde debido al cambio brusco de pendiente del piso en la garganta el agua escurre con un mínimo de energía, es decir, con la profundidad crítica, cuando el escurrimiento es libre; otro de los escurrimientos es el de escurrimiento con sumersión o ahogado. Al entrar el agua en el medidor, debido a que la sección va reduciéndose, su velocidad va en continuo aumento, pues al llegar a la cresta del medidor, se precipita siguiendo el piso descendente de la garganta, hasta que al salir de ella empieza a perder velocidad y como ésta es menor en el canal aguas abajo, resulta que debe producirse un salto hidráulico cerca del extremo inferior de la garganta, la localización de este salto, es variable según el gasto.

Es recomendable que un medidor trabaje con descarga libre porque entonces para calcular el gasto, será suficiente conocer solamente la lectura de la Carga Ha para substituir en la expresión general.

$$Q = m H_a^n \dots\dots\dots 1$$

donde:

m y n varían con el tamaño del medidor.

⇒ Para W comprendido entre 0.30 y 2.50 m. $Q = 0.372 W (3.281 Ha)^{1.57} w^{0.026}$

⇒ Para W comprendido entre 2.50 y 15.0 m. $Q = (2.293 + 0.474) Ha^{1.6}$

IV Método Volumétrico

Este método se emplea cuando a la corriente que se va aforar, descargan gastos pequeños de tuberías y canales y para ello se procede de la siguiente manera:

1. Se mide la capacidad o volumen de un cubo o recipiente
2. Se coloca el cubo o recipiente bajo el tubo o canal que se quiere aforar para que se llene.
3. Se mide el tiempo que tarda la descarga en llenar el cubo.
4. Con los datos de tiempo (t) y volumen (V) determinados, se calcula el gasto aplicando la fórmula siguiente:

$$Q = \frac{V}{t}$$

donde :

- Q = gasto en l/seg.
- V = volumen, en litros.
- t = tiempo, en segundos.

5. Se repite el proceso 3 veces y se saca el promedio de los gastos obtenidos.

V Método por fórmulas

Este método es conveniente usarlo en los siguientes casos:

- a) Cuando no es posible calcular la pendiente de la tubería.
- b) Cuando la descarga se hace mediante bombeo.

c) Cuando la tubería está enterrada, y se aprecia únicamente el chorro del agua.

- 1.- $e = vt$; espacio = velocidad por tiempo
2.- $h = \frac{1}{2} gt^2$ altura = gravedad por tiempo al cuadrado.

De la ecuación 1 se despeja t, se eleva todos los términos al cuadrado

$$t = \frac{e}{v} \dots\dots\dots 3$$

$$t^2 = \frac{e^2}{v^2} \dots\dots\dots 4$$

De la ecuación 2 se despeja t^2

$$t^2 = \frac{2h}{g} \dots\dots\dots 5$$

$$\frac{2h}{9.81} = \frac{h}{4.9} \dots\dots\dots 6$$

Se iguala 4 con 6, y se despeja v $v^2 = 4.9 \frac{e^2}{h}$

$$v = \left(\frac{4.9 e^2}{h} \right)^{1/2}$$

como el área de salida de un orificio circular es : A; y como $Q = VA$, se tiene:

$$Q = \left(\frac{2.2e}{h^{1/2}} \right) A$$

cuando se trate de una tubería, se sugiere utilizar las siguientes fórmulas:

$$A = \frac{\pi D^2}{4} = 0.785 D^2$$

$$Q = \frac{1.74 e D^2}{h^{1/2}}$$

2 ANÁLISIS DE LABORATORIO

La calidad a través de los contenidos de elementos y sustancias en el agua, se puede conocer si se llevan a cabo exámenes minuciosos que den resultados cualitativos y cuantitativos de cada uno de ellos. De aquí que la evaluación de la contaminación solo se concibe si se especifica el uso o destino del agua y se llevan a cabo los análisis necesarios para conocer sus contenidos. Entre los diferentes análisis existentes para determinar los parámetros que definen el grado de contaminación se encuentran los físicos, químicos y biológicos. Es importante que al analizar las aguas contaminadas se determinen los constituyentes que puedan dificultar su tratamiento así como los que faciliten la elección del proceso más conveniente. Se deben hacer análisis de muestras del líquido en estudio, para comprobar el grado de contaminación y posteriormente análisis para ver el progreso, ya sea de contaminación o de depuración.

La importancia de las pruebas de laboratorio, está en ayudar a formar una opinión acerca de lo adecuado que pudiera resultar el agua de una fuente de abastecimiento para un uso determinado. El análisis de agua comprende además un examen microscópico, considerado tan importante y preciso como las determinaciones químicas. Por lo tanto se observa que para una correcta interpretación y valoración del grado de contaminación de una agua, es necesario hacer una serie de análisis de tipo físico, químico y biológico durante un tiempo que incluya los cambios climatológicos extremos.

2.1 ANÁLISIS FÍSICOS

2.1.1 COLOR

Generalidades

El agua de uso doméstico e industrial tiene aceptación como incolora; pero en la actualidad, gran cantidad de agua disponible tiene color y se presenta el problema de que no es aceptada hasta no haber sido tratada para la remoción de la coloración.

El color natural del agua se debe a la presencia de iones metálicos (hierro y manganeso) humus, plantas y extractos vegetales como los compuestos taninos y humatos provenientes de la descomposición de la lignina.

El color causado por la materia suspendida se denomina "color aparente", el cual se determina sin filtrar la muestra. Al color ocasionado por las partículas coloidales y pseudocoloidales se les conoce como "color verdadero" y se determina después que la muestra ha sido filtrada.

Significado sanitario.

Las aguas naturales que contienen coloración debida a sustancias naturales en descomposición no son consideradas tóxicas o perjudiciales. La intensidad de luz donde son iguales la producción de oxígeno en la fotosíntesis y el consumo de oxígeno por la respiración de las plantas se conoce como punto de compensación, y a la profundidad a la que ocurre dicho punto se le llama profundidad de compensación. El efecto combinado de color y turbiedad no deben cambiar el punto de compensación en más de 10% de sus condiciones estacionales normales y de la biomasa de organismos fotosintéticos. Las aguas coloreadas por los desechos industriales son resistentes al ataque biológico, los procesos biológicos acentúan el nivel de color en el tratamiento, por lo tanto, los procesos de tratamiento fisicoquímicos son preferibles para la remoción de color; sin embargo, no existe ningún método económico para la decoloración.

Entre los métodos utilizados para la decoloración de desechos se encuentran:

- Decoloración con carbón activado en forma granular
- Floculación con la ayuda de agentes floculantes.
- Decoloración por medio de compuestos químicos

Métodos de Análisis.

- Método de comparación visual
- Método espectrofotométrico

Método de comparación visual

Principio.

El color es medido por una comparación visual de la muestra con soluciones coloridas, patrones o discos de cristal de color calibrados previamente.

Se ha definido la unidad de color, como la producida por 1mg/l de platino en forma de ion cloroplatinato.

Interferencias.

La turbiedad, aún en concentraciones pequeñas, ocasiona que el color sea mayor que el color verdadero.

El método es dependiente del pH; al aumentar éste aumenta la coloración.

Equipo.

- a) Comparador visual con discos calibrados conforme a la escala platino-cobalto
- b) Tubos Nessler de 50 ml
- c) Potenciómetro

Reactivos.

- a) Solución de cloroplatino

Procedimiento.

a) Por comparadores visuales.- Compare el color de la muestra con el disco de vidrio calibrado. Compare el color de cada disco con las soluciones patrón de cloro-platinato de potasio.

b) Comparación con tubos nessler.-

1) Color aparente. Observe el color de la muestra llenando un tubo nessler hasta la marca, compare el color con las soluciones patrón. La comparación debe realizarse mirando verticalmente en el fondo de los tubos una superficie blanca o brillante, colocada en una forma tal que la luz sea reflejada hacia arriba a través de las columnas del líquido.

2) Color verdadero. Por medio de una centrifuga separe la turbiedad presente en la muestra. Compare la muestra centrifugada con agua destilada para asegurarse que la turbiedad ha sido removida. Compare la muestra clarificada con las soluciones patrón de la misma manera que el procedimiento del color aparente.

Cálculos.

Calcule las unidades de color utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Unidades de color} = \frac{A \times 50}{V}$$

donde:

A = Unidades de color de la muestra diluida

V = ml de muestra tomados para la dilución.

Reporte los resultados de acuerdo al cuadro 2.1

CUADRO 2.1
PRECISIÓN EN LAS UNIDADES DE COLOR

Unidades de color	Aproximación
1-50	1
51-100	5
101-250	10
251-500	20

Reporte el pH de la muestra.

2.1.2 CONDUCTANCIA ESPECIFICA

Generalidades.

La conductividad eléctrica es una expresión numérica que representa la habilidad de una solución para conducir la corriente eléctrica. La conductividad eléctrica de las soluciones se determina transmitiendo una corriente eléctrica a través de la solución problema. La resistencia al paso de la corriente eléctrica que es medida, depende de la concentración iónica, la temperatura de la solución y las características de los electrodos (área superficial y espaciamiento entre los mismos).

Importancia sanitaria

Para comprobar la pureza de un agua destilada o desionizada, se ha aceptado un alto grado de pureza de agua destilada la que contenga una resistencia específica de 500,000 ohms es decir 2.0 micromhos/cm a 25 °C.

Para trabajos de mayor calidad el cuadro muestra los valores sugeridos para expresar el grado de pureza.

CUADRO 2.2
GRADO DE PUREZA DEL AGUA

Grado de Pureza	Conductividad Maxima micromhos/cm a 25 °C
Pura	10
Muy Pura	1
Ultra Pura	0.1
Teóricamente Pura	0.055

La conductividad representa las concentraciones de los minerales disueltos en las aguas de desecho. La conductancia depende del tamaño, número de iones, carga de los mismos y la viscosidad, no es posible comparar dos resultados iguales de diferentes desechos.

Para encontrar el factor de los sólidos disueltos de un desecho de composición constante es necesario efectuar un mínimo de 10 determinaciones en un período de dos semanas.

El factor que multiplica el valor de la conductancia específica para obtener los sólidos disueltos varían de 0.56 a 0.9 dependiendo de los componentes solubles de determinada agua y la temperatura de la muestra.

Método de Análisis

Principio

La conductividad, es el recíproco de la resistividad, se reporta en siemens por unidad de longitud. La conductancia específica se define como la conductancia de un conductor de 1 cm de largo y de 1 cm² de área transversal.

En los análisis de agua, los siemens/cm son unidades demasiado grandes, por lo que los resultados se reportan en microsiemens/cm (1 microsiemens = 1×10^6 siemens) o en micromhos/cm.

Para medir la conductividad se utiliza una celda con un puente Wheastone. Este aparato mide la resistencia eléctrica de la muestra. El puente de Wheastone trabaja con corrientes alternas para evitar cambios en la composición de los electrodos.

Equipo.

- Equipo para medir conductividad
- Termómetro con graduaciones de un décimo de grado C. en un ámbito de 23 a 27°C
- Celda de conductividad.

Reactivos.

- Agua de conductividad conocida
- Solución patrón de cloruro de potasio

Procedimiento.

a) Determinación de la constante de la celda
b) Medición de la conductividad. Añadir aproximadamente 50 ml de agua destilada a un vaso. Introducir la celda y agite perfectamente. Añadir la muestra al vaso hasta un volumen suficiente para tapar casi la totalidad del electrodo. Medir la temperatura de la muestra y llevar la aguja del instrumento a este valor. Si el aparato cuenta con un compensador automático, asegurarse que el electrodo se encuentre bien sumergido y esperar unos segundos para lograr la estabilización de la lectura. Encender el aparato y girar el botón de lectura, posteriormente leer la escala correspondiente. Multiplicar el valor leído en el aparato en micromhos/cm por la constante (k) de la celda para obtener la conductividad real.

Cálculos.

La siguiente ecuación se aplica en los conductímetros con puente de Wheastone que pueden calibrarse para leer la conductividad directamente. La conductividad G, en $\mu\text{mhos/cm}$ está dada por la siguiente ecuación.

$$G = \frac{1,000,000 k}{R [1 + 0.0200 (t - 25)]}$$

donde: R = Resistencia medida en la muestra, en ohms.
k = Constante de la celda
t = Temperatura en °C

2.1.3 POTENCIAL DE HIDROGENO (pH)

Generalidades

La acidez, alcalinidad y la concentración de iones de hidrógeno en una solución, están dados en términos de pH. La escala pH provee un sistema donde la acidez de una solución puede ser medida con números enteros pequeños; prácticamente la escala se extiende de 0 a 14 con un punto neutro a la mitad, sin embargo puede haber soluciones muy ácidas con valores de pH negativos o muy alcalinas con valores mayores a 14.

El Cuadro 2.3 muestra las concentraciones de los iones H^+ e OH^- ; así como los valores de pH

CUADRO 2.3
VALORES DE pH

Diagnóstico	H^+ moles/litro	H^+	OH^- moles/litro	pH	pOH
Ácido fuerte	1	10^{-1}	10^{-14}	0	14
Ácido Débil	0.000 01	10^{-4}	10^{-10}	5	9
Solución Neutra	0.000 0001	10^{-7}	10^{-7}	7	7
Base Débil	0.000 000 001	10^{-10}	10^{-4}	9	5
Base Fuerte	0.000 000 000 000 01	10^{-14}	10^{-1}	14	0

Importancia Sanitaria.

La determinación de la concentración de iones hidrógeno a través del conocimiento del pH, es una práctica muy valiosa en el campo de la ingeniería sanitaria. En sistemas de abastecimiento de agua, el pH influye en los procesos de coagulación química, desinfección, ablandamiento y control de la corrosión; en los procesos biológicos de tratamiento de aguas residuales, debe ser admitidos dentro de un cierto ámbito que sea favorable a los organismos comprendidos en el sistema; la alteración del pH en un ecosistema puede causar la muerte de peces y esterilizar una corriente acuosa natural; las aguas de pH bajo pueden aumentar la corrosión de las estructuras de acero o de concreto; los procesos químicos para secar lodos o para oxidar ciertas sustancias como el ion cianuro, requieren un control estrecho del pH.

Métodos de Análisis.

- Medición colorimétrica
- Método electrométrico
- Método del electrodo combinado.

• Método Electrométrico.

Principio.

Se han sugerido varios tipos de electrodos para la determinación electrométrica del pH. Aunque se reconoce al electrodo de hidrógeno como patrón primario, actualmente se utiliza ampliamente el potenciómetro con un electrodo de vidrio y otro de calomel como electrodo de referencia.

El electrodo de referencia asume un potencial constante, en tanto que el de medición (electrodo de vidrio), genera un potencial que depende del pH de la muestra. Esta diferencia de potencial sensible al pH, es amplificada y medida sobre una escala preparada, tanto para medir el pH como la fuerza electromotriz en milivolts, producida en la cadena electroquímica respectiva.

Interferencias.

El electrodo de vidrio está relativamente libre de interferencias debidas al color, turbiedad, materia coloidal, oxidantes, reductores, pero son afectados por el error alcalino producido a pH altos.

Equipo.

- a) Electrodo de vidrio
- b) Electrodo de referencia
- c) Electrodo combinado
- d) Potenciómetro

Reactivos.

- 1.- Solución general patrón
- 2.- Solución saturada de ácido de potasio
- 3.- Solución saturada de hidróxido de calcio

Medición del pH

Se lleva el corrector manual térmico al valor de temperatura que corresponde a la muestra. La temperatura tiene dos efectos importantes; varía el potencial de los electrodos y modifica el grado de ionización de la muestra. El primer efecto se compensa por un ajuste del que disponen los mejores aparatos comerciales; el segundo es inherente a la muestra y se toma en consideración al anotar en conjunto el pH y la temperatura de la muestra. Se introduce el electrodo en la muestra y se pone el botón de comando operacional en la posición de pH.

Leer el pH de la muestra; esperando a que el electrodo de vidrio alcance el equilibrio (30 seg)
Regresar el botón de comando operacional a la posición de apagado.
Enjuagar el electrodo con agua destilada.

Mantenimiento.

La frecuencia de mantenimiento depende de un gran número de factores controlables y accidentales, los cuales pueden ser solamente determinados merced a la experiencia adquirida en el manejo de los aparatos por un período largo de prueba.

En las determinaciones potenciométricas para la determinación del pH, tanto el electrodo de vidrio como el de referencia se deben encontrar escrupulosamente limpios, lo que es particularmente necesario en aguas negras y de desechos industriales.

Precisión y Exactitud.

La precisión y exactitud que se pueden lograr con un potenciómetro, depende del tipo y condición del instrumento empleado y de la técnica de normalización y operación. Con un cuidado

adecuado, se puede lograr una precisión de ± 0.02 unidades de pH y una exactitud de ± 0.05 unidades de pH.

2.1.4 SÓLIDOS

Generalidades

Debido a la amplia variedad de materiales inorgánicos y orgánicos encontrados en los análisis para sólidos, las pruebas son de carácter empírico y relativamente simples para efectuarse. Las determinaciones de sólidos no están sujetas a los criterios usuales de exactitud.

La temperatura a la cual se seca el residuo tiene una relación importante en los resultados, puesto que la pérdida de peso debida a la volatilización de la materia orgánica, el agua mecánicamente absorbida, el agua de cristalización y los gases de la descomposición química producen por el calor, así como el peso ganado debido a la oxidación, dependen de la temperatura y del periodo de calentamiento.

Las principales determinaciones están encaminadas a obtener información sobre la cantidad de sólidos totales, suspendidos (evaluando las fracciones fija y volátil en cada caso), disueltos y sedimentables, como se muestra en el esquema siguiente:

- 1) Sólidos Totales
 - a) Fijos
 - b) Volátiles
- 2) Sólidos Suspendidos
 - a) Fijos
 - b) Volátiles
- 3) Sólidos Disueltos.
- 4) Sólidos Sedimentables

Significado Sanitario

Las determinaciones de sólidos totales son ordinariamente de poco valor en los análisis de aguas contaminadas y aguas residuales domésticas, debido a que son difíciles de interpretar con exactitud.

Sin embargo es importante conocer los sólidos totales volátiles y fijos, pues proporciona una medida de la cantidad de materia orgánica que está presente en la fracción sólida de las aguas residuales domésticas e industriales y en muestras de lodos.

La evaluación de sólidos suspendidos es extremadamente valiosa en los análisis de aguas contaminadas y de aguas residuales. Es uno de los mejores parámetros para valorar la concentración de las aguas residuales domésticas y para determinar la eficiencia de las unidades de tratamiento en el trabajo de control de la contaminación de corrientes, se considera que todos los sólidos suspendidos son sedimentables, no siendo el tiempo un factor limitante.

Selección de la temperatura de secado

Los residuos secados a $103 - 105^{\circ}\text{C}$ se cree que retienen no sólo el agua de cristalización sino también agua mecánicamente absorbida. La pérdida de materia orgánica por volatilización es muy poca a esta temperatura.

Los residuos secados a $179 - 181^{\circ}\text{C}$, pierden casi toda el agua mecánicamente absorbida, pero puede permanecer poca agua de cristalización, especialmente si hay sulfatos.

La temperatura de calcinación es de $550 \pm 50^{\circ}\text{C}$, a esta temperatura se pierde el agua de cristalización de ciertos complejos orgánicos y la descomposición de sales minerales.

• **Sólidos Totales**

Principio

El método consiste en colocar una muestra en un crisol previamente tarado y evaporarla a 103 - 104 °C. El aumento en el peso del crisol presentará a los sólidos totales.

Interferencias

Provocarán resultados no reproducibles la presencia de partículas grandes, materia flotante, precipitados o muestras no homogéneas. También afectará la presencia de películas de grasa en la superficie.

Equipo

- a) Cápsula de porcelana de 100 ml. de 90 mm de diámetro.
- b) Mufla eléctrica para calcinar (550° C ± 50° C)
- c) Probetas graduadas de 100 ml.
- d) Estufa de secado (180 °C ± 2 °C) y baño maría
- e) Desecador y agente desecante
- f) balanza analítica

Procedimiento

Si las muestras tienen un pH inferior a 4.3, agregar NaOH hasta ese pH y mantenerlo durante la evaporación; el peso de NaOH que se adicione se reduce del peso del residuo.

- a) Calcinar la cápsula de porcelana durante una hora en la mufla a una temperatura de 550 ± 50 °C.
- b) Enfriar y pesar la cápsula (al enfriar, es conveniente hacerlo primero al aire y finalmente en un desecador para completar el enfriamiento en una atmósfera seca).
- c) Medir 100 ml. de la muestra en una probeta graduada y transferirlas a una cápsula de porcelana (el tamaño de muestra debe ser tal que de un residuo mínimo de 25 a 250 mg., se estima el volumen mediante el valor de la conductividad).
- d) Evaporar la muestra a sequedad; primero en baño maría hasta que se consuma todo el líquido y luego en la estufa a 103 °C para completar el proceso.
- e) Secar la cápsula en un desecador (una hora es suficiente).
- f) Pesar la cápsula
- g) Repetir el ciclo de secado a 103 - 105 °C, enfriar y pesar la cápsula hasta obtener un peso constante o hasta que la pérdida de peso sea menor del 4% del peso anterior ó 0.5 mg.

Cálculos

$$\frac{\text{mg}}{\text{l}} \text{ de sólidos totales} = \frac{(B - A) \times 1000}{\text{ml de muestra}}$$

A = Peso de la cápsula (mg)

B = Peso de la muestra más el peso de la cápsula (mg)

• **Sólidos Totales volátiles y fijos**

Principio

La prueba consiste en un procedimiento de combustión en el cual la materia orgánica es convertida en CO₂ y H₂O. La temperatura se controla para prevenir la descomposición y volatilización de las sustancias inorgánicas; la pérdida de peso se interpreta en términos de materia orgánica.

El procedimiento consiste en una calcinación a 550 °C aproximadamente. A temperaturas relativamente menores a la materia orgánica, particularmente los residuos de carbón que resultan de la pirólisis de carbohidratos, se oxida a una velocidad razonable.

Equipo

El mismo equipo que se necesita para la determinación de sólidos totales.

Procedimiento

- Determinar los sólidos totales
- Calcular el residuo de la evaporación obtenida en el análisis de sólidos totales. Para ello se introduce la cápsula en la mufla a 550 ± 50 °C hasta que se obtenga un peso constante.
- Dejar enfriar parcialmente la cápsula en el aire hasta que casi todo el calor haya sido disipado y colocarla dentro de un desecador durante una hora, para que termine de enfriarse en una atmósfera seca.
- Pesar la cápsula

Cálculos

Reportar la pérdida de peso en la calcinación como sólidos volátiles y el remanente como sólidos fijos.

$$\frac{\text{mg}}{\text{l}} \text{ de sólidos volátiles} = \frac{(B - C) \times 1000}{\text{ml de muestra}}$$

$$\frac{\text{mg}}{\text{l}} \text{ de sólidos fijos} = \frac{(C - A) \times 1000}{\text{ml de muestra}}$$

donde:

A = Peso de la cápsula (mg)

B = Peso de los residuos sólidos + peso de la cápsula antes de la calcinación (mg).

C = Peso de los residuos sólidos + peso de la cápsula después de la calcinación (mg)

• Sólidos Suspendidos

Principio

Los sólidos suspendidos están constituidos por la materia suspendida que permanece sobre un filtro de fibra de vidrio, cuando filtramos una muestra de agua residual previamente agitada.

Es muy importante que los crisoles gooch estén cuidadosamente preparados y llevados a peso constante antes de usarse.

Para obtener una mayor exactitud en la determinación es necesario filtrar una mayor cantidad de muestra en aguas tratadas biológicamente o ligeramente contaminadas, a menudo se requiere filtrar 500 ml. de muestra para poder producir un aumento de peso de 10 mg de sólidos.

Equipo

El mismo que para sólidos totales, además se necesita lo siguiente:

- Crísolos Gooch

- b) Matraz Kitasato para filtrar al vacío con accesorios
- c) Bomba de vacío
- d) Discos de fibra de vidrio para filtrar de 2.1 ó 2.4 cm.

Procedimiento

- a) Colocar un disco de fibra de vidrio para filtrar en un crisol gooch, con la superficie rugosa hacia arriba, colocar el crisol con el filtro en un aparato de filtración y aplique vacío.
 - b) Con el vacío aplicado, lavar el disco con tres porciones de 20 ml. de agua destilada, después de que el agua se ha filtrado, desconectar el vacío.
 - c) Colocar el crisol con el filtro en una estufa de 103 °C por una hora
 - d) Dejar enfriar el crisol en un desecador
 - e) Una vez que el crisol ha alcanzado la temperatura ambiente, se seca y se pesa.
 - f) Repetir el ciclo hasta obtener un peso constante.
 - g) Colocar el crisol con el disco en el aparato de filtración, con el vacío aplicado, humedecer el disco con agua destilada para colocarlo contra el crisol gooch.
- Medir el volumen de muestra bien mezclada. Filtrar la muestra a través del disco, usando succión. Dejando la succión, lavar el filtro 3 veces con porciones de 10 ml. de agua destilada, permitiendo un drenado completo entre los lavados.
- h) Intemupir la succión, remover el crisol gooch y secarlo en una estufa a 103°C por una hora
 - i) Pesar el crisol y el filtro en una balanza analítica
 - j) Repetir el ciclo anterior hasta obtener un peso constante o hasta que la pérdida de peso sea menor de 0.5 mg.

Cálculos

$$\frac{mg}{l} \text{ de sólidos suspendidos} = \frac{(D) - E \times 1000}{ml \text{ de muestra}}$$

D = Peso del crisol con el filtro + el peso de los sólidos retenidos.

E = Peso del crisol con el filtro

• Sólidos suspendidos volátiles

Principio

Partir del residuo obtenido en los sólidos suspendidos, y calcinarlos a 550°C. La diferencia en el peso del gooch representa los sólidos suspendidos volátiles.

Equipo

Se necesita el mismo equipo anterior.

Procedimiento

- a) Calcinar el crisol gooch con el disco y los sólidos suspendidos por 15 minutos a 550 °C.
- b) Enfriar el crisol parcialmente en el aire hasta que casi todo el calor haya sido disipado y completar el enfriamiento en un desecador.
- c) Después que se haya enfriado pesar el crisol inmediatamente en una balanza analítica.

Cálculos

$$\frac{mg}{l} \text{ de sólidos suspendidos volátiles} = \frac{(D - F) \times 1000}{ml \text{ de muestra}}$$

D = Peso del crisol con el filtro + el peso de los sólidos antes de calcinarse.

F = Peso del crisol con el filtro + el peso de los sólidos después de calcinarse.

La diferencia entre los sólidos suspendidos y los sólidos suspendidos volátiles nos da la cantidad de sólidos suspendidos fijos.

• **Sólidos disueltos**

Principio

Los sólidos disueltos pueden ser obtenidos, además de usar las medidas de conductividad específica, por diferencia entre los sólidos totales y los sólidos suspendidos totales o por evaporación de una muestra filtrada, siguiendo la misma técnica que en la determinación de sólidos totales.

• **Sólidos sedimentables**

Principio

La materia que se sedimenta en los cuerpos de agua o en los sistemas que conducen aguas residuales domésticas e industriales, puede ser analizada y reportada en peso mg/l, o en volumen ml/l.

Equipo

Para la prueba volumétrica, se requiere un cono Imhoff

Procedimiento

- Vertir un litro de agua residual cruda en un cono Imhoff y dejar que los sólidos sedimenten durante 45 minutos.
- Agitar suavemente el líquido contenido en el cono con un agitador o mediante una rotación del cono, para que se desprendan y sedimenten los sólidos de la pared del recipiente.
- Dejar sedimentar los sólidos durante otros 15 minutos.
- Leer la cantidad de sólidos sedimentables directamente en ml/l, tomar como referencia la línea de separación entre la materia flotante y la no flotante como se muestra en la figura 2.1

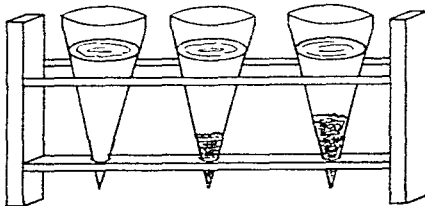


FIG. 2.1

2.1.5 TEMPERATURA

Generalidades

Esta propiedad termodinámica influye notablemente en las características físicas, químicas y biológicas de los cuerpos de agua. Por esto es importante su determinación en cualquier intento por evaluar la calidad de las aguas.

Importancia Sanitaria

- La temperatura en el cuerpo de agua influye en los procesos de evaporación, transpiración y condensación que forman parte del ciclo hidrológico.

- b) En estudios limnológicos es de suma importancia el conocer la temperatura del agua a diferentes profundidades, pues al aumentar la temperatura en el verano, la diferencia entre las aguas superficiales y las de fondo aumenta, lo que crea una zona intermedia llamada termoclina. El agua superior caliente circulante, es el epilimnio (lago superficial) y el agua inferior fría es el hipolimnio (lago inferior). Si la termoclina está por debajo del alcance de la penetración eficaz de la luz, como ocurre con frecuencia, la reserva de oxígeno se agota en el hipolimnio.
- c) Parámetros físicos, químicos de importancia sanitaria tales como densidad y conductividad se ven afectados por variaciones de temperatura.
- d) En general la velocidad de las reacciones químicas aumentan con la temperatura.
- e) Efecto de la temperatura en los microorganismos encargados de la degradación de la materia orgánica.
Los cambios de temperatura en el medio acuático afectan los procesos de purificación natural.
- f) Efecto de la temperatura a nivel de saturación del OD
El oxígeno disuelto es el elemento más importante en las reacciones químicas que suceden en una corriente de agua. A presión atmosférica constante, el nivel de saturación del oxígeno disuelto disminuye al aumentar la temperatura, pero como también se incrementa la DBO, la capacidad de autopurificación del agua se ve seriamente obstaculizada.
Además de la temperatura existen otros factores químicos que afectan el valor de la saturación, tal como la concentración de sales. En aguas salinas la solubilidad del oxígeno es menor que en aguas dulces.
- g) Efecto de la temperatura en la rapidez de aereación. La aereación es el mecanismo por el cual los cuerpos de agua pueden dotarse de oxígeno tomándolo de la atmósfera. Los mecanismos que gobiernan el proceso de aereación son la disolución y la difusión.
La rapidez de disolución del oxígeno de la atmósfera es proporcional a la diferencia entre la concentración de saturación (C_s) y la concentración real (C_{rea}).
El efecto de la temperatura en la rapidez de disolución es evidente a mayor temperatura existirá una menor concentración de saturación de oxígeno disuelto.
- h) Efectos del aumento de la temperatura en peces de agua dulce.
Los peces que viven en agua caliente pueden sobrevivir algún tiempo en aguas calentadas artificialmente hasta 34°C; en épocas de frío, las temperaturas de las corrientes deben permanecer por debajo de los 34°C, para prevenir la mortalidad de los peces cuando éstos se mueven a través de gradientes de temperatura excesivos.
Los efectos tóxicos producidos por ciertos metales en los peces aumentan con la temperatura.
- i) Efectos de la temperatura en peces marinos.
Al aumentar la temperatura en los cuerpos de agua puede bloquearse la migración de ciertos peces marinos, los cuales van a desovar en los estuarios, y aumentar los efectos de las enfermedades en estos peces.
- j) Efecto de la temperatura en las plantas acuáticas y en los bentos.
El número y la distribución de los organismos del fondo disminuyen cuando aumentan la temperatura por arriba de 32°C, que es el límite de tolerancia máxima para una población "balanceada".
- k) Efecto de la temperatura en el tratamiento de agua.
Generalmente es deseada el agua potable con una temperatura superior a 15°C. La temperatura ideal del agua potable es de 10°C o menor.
Al aumentar la temperatura, disminuye la velocidad de floculación; y filtración.

En la claración del agua el cloro aumenta su velocidad de reacción cuando aumenta la temperatura. En los lugares fríos es necesario aumentar el tiempo de contacto durante el invierno.

- 1) Efecto de la temperatura en las aguas de irrigación. Las temperaturas altas en las aguas de irrigación pueden afectar los cultivos. El ámbito deseable de temperatura se encuentra entre 13 y 29°C.

Métodos para determinar la temperatura

Equipo

La determinación de temperatura se puede efectuar por:

- Un cambio de volumen
- Un cambio en una resistencia eléctrica
- Un voltaje creado en la unión de dos materiales diferentes
- La intensidad de una radiación emitida
- Termómetros de vidrio, termopares, termistores,
- Termómetros digitales.

La mayoría de las determinaciones de temperatura en el agua se realizan con termómetros de vidrio, con termopares, termistores o termómetros de resistencia. El termómetro de mercurio se emplea para mediciones separadas, mientras que los termistores y los termómetros de resistencia se utilizan para trabajos continuos o de monitoreo.

Procedimiento.

Los termómetros se calibran ya sea para "inmersión total" o para "inmersión parcial". Los termómetros de inmersión total deben sumergirse completamente en el agua para registrar la temperatura correcta. Los termómetros de inmersión parcial, por otro lado, deben sumergirse en el agua hasta la profundidad del círculo grabado o bastará sumergir el termómetro uno centímetro arriba del bulbo de mercurio. Deben hacerse las lecturas cuando el termómetro sumergido en el agua, de preferencia en movimiento, después de un tiempo suficiente hasta lograr que sean constantes las lecturas.

Para observaciones a grandes profundidades se emplean aparatos especiales que pueden ser de dos tipos: termómetro integrado al muestreador y el termómetro de reversión.

Los termistores se preparan con materiales semiconductores, como son los óxidos de manganeso, níquel o cobalto. En estos materiales la resistencia varía con la temperatura en una forma inversa. La ventaja de los termistores es su alta velocidad de respuesta a los cambios de temperatura; sin embargo con el tiempo fallan bastante.

Los termopares se basan en la diferencia de potencial producida en los metales por medios térmicos cuando sus uniones se encuentran a diferentes temperaturas.

Los termómetros digitales usan sensores convencionales con convertidores análogos y digitales para mostrar los resultados en forma numérica. Estos instrumentos se utilizan cuando se requiere de exactitudes mayores de 1%.

2.1.6 TURBIEDAD

Generalidades

La turbiedad en el agua se debe a la presencia de partículas de material suspendido como arcilla, iodo, materia orgánica o inorgánica finamente dividida, plancton u otros microorganismos.

En el aspecto inorgánico, los tamaños de las partículas que causan la turbiedad en el agua varían de diámetro entre 0.2 y 0.5 micras o mayores. Las partículas que exceden a 1 micra de diámetro generalmente sedimentan rápido. Las partículas menores se clasifican como coloidales y pueden permanecer suspendidas mucho tiempo.

Las principales fuentes de contaminación originadas por el hombre que incrementa la turbiedad en los cuerpos de agua son: los cienos de las granjas, los residuos de construcciones, la operación de minas, los polvos provenientes de caminos sin asfaltar, los desechos humanos y los efluentes de tratamiento.

Significado Sanitario

- a) La turbiedad excesiva reduce la penetración de la luz en los cuerpos de agua. Al disminuir ésta, se afecta la fotosíntesis que realizan los organismos fitoplanctónicos y los vegetales que se encuentran sumergidos, evitando así la producción de oxígeno.
- b) Cuando los valores de turbiedad llegan a 200 unidades o más, se pone en peligro el sistema ecológico.
- c) En el agua potable las turbiedades mayores de 5 unidades son detectables visualmente, lo que produce en el consumidor pocos deseos de ingerirla y utilizarla en sus alimentos.
- d) Al aumentar la turbiedad aumenta el costo de tratamiento de las aguas. La turbiedad en el agua se remueve por una combinación de coagulación, sedimentación y filtración. El agua tratada tiene turbiedades entre 0 y 5 unidades.
- e) Las columnas de intercambio iónico utilizadas para el ablandamiento de agua, pierden su capacidad intercambiadora al aumentar la turbiedad. Las partículas pueden interferir el contacto del agua con la superficie de los lechos de los cambiadores iónicos.

Para ser efectiva la desinfección en las aguas de abastecimiento público, el agente desinfectante debe estar en contacto con el organismo a eliminar; sin embargo, en aguas que contengan desechos sólidos, muchos de los organismos patógenos quedan ocluidos en estas partículas protegiéndose del desinfectante.

Métodos de análisis

- Método del Turbidímetro de campo (Disco Secchi)
- Método (Bujía de Jackson)
- Turbidímetro Hach ó Nefelométrico

• Método Nefelométrico

Este método se aplica en aguas potables, superficiales y salinas en un ámbito de 0 a 40 Unidades Nefelométricas de turbiedad.

Principio

Este método se basa en la comparación de la intensidad de la luz desviada por la muestra y la de suspensión patrón de referencia bajo las mismas condiciones. Entre mayor sea la intensidad de la luz desviada, mayor será la turbiedad de la muestra. Para calibración del aparato se utiliza una suspensión patrón de turbiedad formada por un polímero de formacina similar a la empleada en la industria cervecera.

Una suspensión de cierta concentración del polímero de formacina se define como 40 Unidades Nefelométricas de Turbiedad.

Interferencias

La presencia de partículas que sedimentan rápidamente producen bajas lecturas. Material de vidrio sucio, vibraciones y burbujas de aire afectan los resultados. El color verdadero del agua debido a las sustancias disueltas que absorben luz provocarán una pequeña turbiedad.

Equipo

- a) Turbidímetro.

b) Tubos para las muestras

Reactivos.

- a) Agua destilada exenta de turbiedad
- b) Suspensión madre de turbiedad
- c) Suspensión patrón de turbiedad

Procedimiento

1.-Calibración del turbidímetro.- Seguir las instrucciones de operación del fabricante; si el instrumento está calibrado, calcular la exactitud de las escalas de calibración corriendo un patrón que se encuentra dentro del ámbito utilizado. Si el instrumento no cuenta con escalas precalibradas, se deben preparar las curvas de calibración para cada ámbito, con las suspensiones patrón. En los instrumentos que cuentan con un botón de sensibilidad, no se debe confiar en los patrones de turbiedad vendidos por los fabricantes para su calibración.

2.-Medición de turbiedades menores de 40 unidades. Agitar la muestra para dispersar los sólidos presentes. Esperar hasta que las burbujas de aire desaparezcan. Verter la muestra en el tubo del turbidímetro. Leer el valor de la turbiedad en la escala directamente o en la curva de calibración.

3.-Medición de turbiedades mayores de 40 unidades. Diluir la muestra con uno o más volúmenes de agua destilada exenta de turbiedad hasta que el valor se encuentre en un ámbito de 30 a 40 unidades. Calcular la turbiedad de la muestra original a partir del valor de la muestra diluida y el factor de dilución.

Cálculos

$$\text{Unidades Nefelométricas de turbiedad (UNT)} = \frac{A \times (B - C)}{C}$$

donde:

- A = Unidades nefelométricas de turbiedad (UNT) de la muestra diluida.
- B = Volumen del agua de dilución en ml.
- C = ml de muestra utilizados en la dilución.

El Cuadro 2.4 muestra el criterio de como se debe de reportar los resultados

CUADRO 2.4

Ámbito de Turbiedad (UNT)	Aproximación (UNT)
0.0 - 1.0	0.05
1 - 10	0.1
10 - 40	1
40 - 100	5
100 - 400	10
400 - 1000	50
> 1000	100

2.2 ANALISIS QUIMICOS

El análisis químico proporciona datos útiles y específicos respecto al estado de descomposición y fuerza de las aguas negras o en commentes contaminadas; son de gran utilidad para fines de tratamiento, evacuación y prevención de la contaminación por efluentes.

2.2.1 ESPECTROFOTOMETRIA DE ABSORCION ATOMICA

Generalidades

Debido a que los requerimientos necesarios para la determinación de metales por espectrofotometría de absorción atómica (fig.2.2) varían con respecto al metal y su concentración en la muestra, se dividió el método en siete secciones:

1. Pretratamiento de la muestra
2. Determinación de cadmio, calcio, cromo, cobalto, cobre, fierro, plomo, magnesio, manganeso, níquel, plata y zinc por medio de una flama de aire y acetileno.
3. Determinación de bajas concentraciones de cadmio, cromo y plomo mediante una quelación con ditiocarbomato de pirrolidina y amonio, su extracción con metil isobutil cetona y su detección mediante una flama de aire y acetileno.
4. Determinación de aluminio, bario, berilio, silicio, calcio y vanadio con una flama de óxido nitroso y acetileno.
5. Determinación de bajas concentraciones de aluminio y berilio mediante una quelación con 8 - hidroxiquinoleína; su extracción con metil isobutil cetona y su detección mediante una flama de óxido nitroso y acetileno.
6. Determinación de mercurio por absorción atómica sin flama.
7. Determinación del arsénico y selenio convirtiéndolos en sus hidruros y aspirándolos en una flama de argón e hidrógeno.

Principio

En fotometría de flama, se mide la cantidad de luz emitida, mientras que en absorción atómica, medimos la cantidad de luz absorbida por elemento atomizado en la flama. El haz luminoso pasa a través de la flama hacia el monocromador y de ahí al detector.

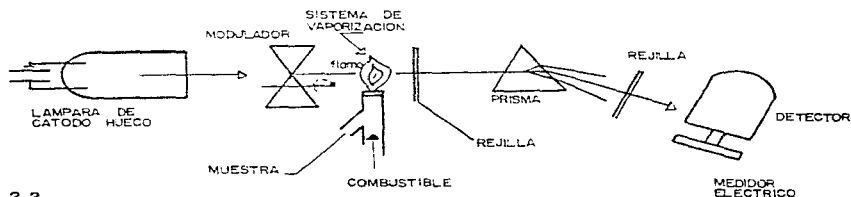


FIG. 2.2

Interferencias

La mayoría de los metales pueden determinarse directamente, aspirando la muestra en una flama de aire y acetileno. Las interferencias de naturaleza química causan el mayor problema y son debidas a una falla o disminución en la absorción de la luz por la combinación de los enlaces atómicos al formar moléculas.

La interferencia de los fosfatos al determinar magnesio, puede eliminarse adicionando tantano; en forma similar se elimina la interferencia provocada por la sílice, el aluminio, el bario, el berilio y el vanadio requieren una flama de óxido nitroso y acetileno que alcanza una temperatura mayor.

Equipo

- a) Espectrofotómetro de absorción atómica
- b) Quemador
- c) Registrador
- d) Lámpara de cátodo hueco
- e) Válvulas Reductoras de Presión.
- f) Extractor de gases

A. - Análisis de Metales Totales

Se transfieren de 50 a 100 ml de una muestra heterogénea que sea representativa a un vaso de precipitado y se añaden 5 ml de HNO_3 concentrado. Se coloca el vaso sobre una parrilla y se evapora casi a sequedad, teniendo la precaución de no dejar hervir la muestra. Se deja enfriar el recipiente y se añaden otros 5 ml de ácido. Cubrir el vaso de precipitado común vidno de reloj, colocarlo de nuevo sobre la parrilla e incrementar la temperatura hasta reflujo moderado.

Continuar con el calentamiento y añadir más ácido hasta complementar la digestión, indicada por la presencia de un residuo ligeramente coloreado. Añadir 1 a 2 ml de ácido nítrico y calentar ligeramente para disolver el residuo. Lavar el recipiente y el vidno de reloj con agua bidestilada.

B. - Análisis de Metales suspendidos

Si se mide la concentración de metales en sólidos suspendidos, se usa el mismo procedimiento de digestión, siempre y cuando se haya filtrado la muestra a través de una membrana filtrante con un poro de 0.45 μ . Digier el filtro y el material depositado y comer un testigo con otro filtro, con el fin de efectuar una comparación. Reportar los metales suspendidos en miligramos por litro; o pesar el residuo y reportar como miligramos por gramo.

C. - Análisis de Metales extractables

La prueba incluye a los metales solubles y a los que se absorben ligeramente en la matena suspendida. Los resultados obtenidos en el análisis están influenciados por el tipo de ácido usado en la digestión, su concentración y el tiempo de calentamiento.

Para conocer la concentración de los metales solubles en una mezcla de ácido clorhídrico caliente y ácido nítrico, es la siguiente: Calentar la solución durante 15 minutos en un baño de vapor, filtrar y ajustar el volumen a 100 ml.

Las concentraciones de metales en las muestras que contienen un poco de cieno serán substancialmente mayores a los obtenidos en la fracción soluble.

1.-Determinación de cadmio, calcio, cromo, cobalto, cobre, fierro, plomo, magnesio, manganeso, Níquel, plata y cinc por absorción directa en una flama de aire y acetileno.

Equipo

Además del equipo descrito anteriormente se necesita un quemador con un cabezal de tres ranuras.

Reactivos

- a) Aire limpio
- b) Acetileno, grado comercial
- c) Solución de calcio
- d) Agua desionizada
- e) Acido clorhídrico concentrado, HCL
- f) Solución de lantano
- g) Acido nítrico concentrado, HNO_3
- h) Soluciones patrón de los metales

- Cadmio- Disolver 1 gramo de cadmio metálico en la menor cantidad posible de HCL +1 y diluir a 1 litro con agua; 1.00 ml = 1.00 mg de Cd.
- Calcio- A 2.4972 g de carbonato de calcio añadir 50 ml de agua y una porción mínima de HCL concentrado (10 ml, aproximadamente) para solubilizar completamente el reactivo y diluir a 1 litro; 1.00 ml = 1.00 mg. de Ca.
- Cromo- Disolver 2.828 g. de dicromato de potasio anhidro, $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, en 200 ml de agua, añadir 1.5 ml de HNO_3 concentrado y diluir a 1 litro
- Cobalto- Disolver 1.407 g de óxido cobáltico, Co_2O_3 , en 20 ml de HCL caliente; enfriar y diluir a 1 litro
- Cobre- Disolver 1.000 g de cobre metálico en 15 ml de HNO_3 1+1 y diluir a 1 litro.
- Hierro- Disolver 1.00 g de alambre de hierro con 50 ml de HNO_3 1+1 y diluir a 1 litro.
- Plomo- Disolver 1.598 g de nitrato de plomo, $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$, en 200 ml de agua, añadir 1.5 ml de HNO_3 conc. y diluir a 1 litro.
- Magnesio- Disolver 10.0135 g de sulfato de magnesio heptahidratado, $\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$, en 200 ml de agua, añadir 1.5 ml de HNO_3 conc. y diluir a 1 litro.
- Manganeso- Disolver 3.076 g de sulfato manganeso monohidratado, $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, en 200 ml de agua, añadir 1.5 ml de HNO_3 conc. y diluir a 1 litro.
- Níquel- Disolver 4.953 g de nitrato níqueloso hexahidratado, $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$, en 200 ml de agua, añadir 1.5 ml de HNO_3 conc. y diluir a 1 litro.
- Plata- Disolver 1.575 g. de nitrato de plata anhidro, AgNO_3 , en agua bidestilada, añadir 1.5 ml de HNO_3 conc. y diluir a 1 litro.
- Zinc- Disolver 1.00 g de zinc metálico en 20 ml de Hcl 1+1 y diluir a un litro.

Procedimiento.

• Operación del instrumento:

- 1.- Instalar en el instrumento la lámpara de cátodo hueco especial para cada elemento que se analice; ajustar la longitud de onda de acuerdo con el cuadro 2.5 y alinear la lámpara de acuerdo con las instrucciones del fabricante.
- 2.- Ajustar la abertura de la rejilla de acuerdo con las sugerencias del fabricante.
- 3.- Encender el instrumento y aplicar una cierta intensidad de corriente a la lámpara.
- 4.- Esperar a que se normalice el instrumento, usualmente se requieren de 10 a 20 minutos.

- 5.- Instalar el cabezal del quemador.
- 6.- Alimentar aire y regular el flujo de acuerdo con las recomendaciones del fabricante.
- 7.- Abrir la válvula de acetileno y ajustar el flujo a un valor específico con el objeto de encender la flama.
- 8.- Atomizar el agua destilada-desionizada, previamente acidulada con 1.5 ml de HNO_3 conc. por litro, después calibrar a cero el instrumento.
- 9.- Atomizar una de las soluciones patrón (usualmente la de 0.5 mg/l) y ajustar el quemador hasta obtener la máxima respuesta.
- 10.- Una vez que se han efectuado los pasos anteriores, el instrumento queda listo para ser operado.

• **Normalización del Aparato.**

- 1) Seleccionar por lo menor 3 diferentes concentraciones de cada una de las soluciones del metal en la muestra. Aspirar cada una de ellas y registrar su absorbancia.
- 2) Para calibrar el instrumento cuando se analiza calcio y magnesio, mezclar 100 ml de las soluciones patrón con 25 ml de la solución de lantano antes de aspirar.
- 3) Para calibrar el instrumento cuando se analiza fierro y manganeso, mezclar 100 ml de la solución patrón con 25 ml. de la solución de calcio antes de aspirar.
- 4) En algunos instrumentos, podría ser necesario convertir el porcentaje de absorción o absorbancia usando una tabla que prevé el fabricante.
- 5) Preparar una curva de calibración, graficando absorbancia contra la concentración.
- 6) Las curvas de calibración útiles para analizar fierro y manganeso, deben estar basadas en las concentraciones originales de las soluciones patrón antes de haber añadido la solución de calcio.
- 7) Al igual que en el caso anterior, las curvas de calibración para el calcio y el magnesio deben estar basadas en las concentración original de la solución patrón.
- 8) Verificar la curva de calibración, aspirando por lo menos un patrón después de haber completado el análisis de una serie de muestras.

CUADRO 2.5
LONGITUDES DE ONDA Y SENSIBILIDADES EN EL ANALISIS DE METALES.

Metal	Longitud de onda (nm)	Sensibilidad para el 1% de absorción $\mu\text{g/l}$
Calcio	422.7	70
Cadmio	228.8	25
Cromo	357.9	100
Cobalto	240.7	150
Cobre	324.7	100
Fierro	248.3	100
Plomo	283.3	500
Magnesio	285.2	7
Manganeso	279.5	50
Niquel	232.0	100
Plata	328.1	60
Cinc	213.9	15

• **Análisis de Muestras.**

- 1.- Limpiar el atomizador aspirando agua bidestilada que contenga 1.5 ml de HNO_3 conc. por litro y ajustar el instrumento a cero.
- 2.- Atomizar la muestra y determinar su absorbancia.

3.- Cuando se determina calcio y magnesio, diluir y mezclar 100 ml de muestra con 25 ml de la solución de lantano antes de la atomización.

4.- Cuando se determina fierro y manganeso, diluir y mezclar 100 ml de muestra con 25 de solución de calcio antes de la atomización.

5.- Las diluciones se preparan de acuerdo con la concentración del elemento de la muestra.

Cálculos.

La concentración de cada ion metálico se expresa en microgramos por litro haciendo referencia a la curva de calibración apropiada.

$$\frac{\text{mg}}{\text{l}} \text{ del metal} = \frac{\text{mg}}{\text{l de la alícuota}} \times D$$

donde:

D = relación de dilución y se obtiene:
ml de muestra + ml de agua + ml de ácido / ml de muestra

2.- Determinación de bajas concentraciones de cadmio, cromo y plomo.

Equipo.

Además del mismo que al inicio del método, se necesita lo siguiente:

- Cabezal del quemador con una ranura de 7.6 cm de largo.
- Embudos de separación de 250 ml.

Reactivos.

- Acetileno, grado comercial
- Aire limpio y seco.
- Solución de ditiocarbamato de pirrolidina y amonio.
- Agua desionizada
- Métal isobutil cetono, grado reactivo.
- Acido nítrico conc., HNO₃.
- Permanganato de potasio 0.1 N.
- Solución patrón de metales para Cadmio, Cromo y Plomo.

Procedimiento.

• Operación del instrumento

- Ver sección anterior.
- Después de ajustar la posición del quemador (conforme al paso 9), aspirar una porción de metal isobutil cetona hacia la flama y reducir gradualmente el flujo del combustible hasta obtener una flama similar a la que había antes de aspirar el solvente.
- Ajustar la longitud de onda de acuerdo con el cuadro 2.6

CUADRO 2.6
LONGITUDES DE ONDA Y SENSIBILIDADES PARA EL ANALISIS DE METALES

Metal	Longitud de onda(nm)	Sensibilidad para el 1% de absorción en ug/l
Aluminio	309.3	900
Bario	553.6	300
Berilio	234.9	30
Silicio	251.6	2000
Vanadio	318.4	1500

- **Normalización del aparato.**

1) Seleccionar por lo menos 3 diferentes concentraciones de cada una de las soluciones del metal en la muestra. Ajustar el pH de 100 ml de cada solución patrón y de 100 ml de agua desionizada a un valor de 2.2-2.8, añadiendo HNO₃ 1N o NaOH 1N

2) Transferir cada una de las soluciones patrón y el testigo a un embudo de separación de 250 ml (en forma individual) añadir 1 ml de ditioicarbarnato de pirrolidina y amonio y agitar para homogeneizar las soluciones.

3) Añadir 10 ml de metil isobutil cetona y agitar los embudos vigorosamente durante 20 segundos.

4) Dejar que el contenido de cada embudo de separación se fraccione en una capa acuosa y otra orgánica.

5) Drenar por completo la capa acuosa y desecharla.

6) drenar la capa orgánica hacia una probeta graduada de 10 ml., con tapón.

7) Aspirar directamente los extremos orgánicos en la flama, y registrar sus absorbancias.

8) Preparar una curva de calibración graficando la absorbancia de las soluciones patrón después de haber efectuado la extracción, contra sus concentraciones antes de dicho proceso.

- **Análisis de las Muestras.**

1.- Enjuagar el atomizador aspirando la solución de metil isobutil cetona.

2.- Aspirar los extractos de las muestras tratadas tal como se indica en las secciones b) 1) a la 6) y registrar las absorbancias.

3.- La extracción es selectiva para el cromo VI.

Cálculos.

La concentración de cada ión metálico se expresa en microgramos por litro haciendo referencia a la curva de calibración apropiada.

3.- Determinación de aluminio, bario, berilio, vanadio, y silicio en una flama de óxido nítrico y acetileno.

Equipo.

Además del equipo mencionado, se necesita lo siguiente:

a) cabezal del quemador de óxido nítrico, con una ranura de 5.0 cm. una navaja de rasurar o su equivalente.

b) Una T de vidrio con una válvula.

Reactivos.

a) Acetileno, grado comercial

b) Aire limpio y seco.

c) Solución de cloruro de sodio.

d) Agua desionizada

e) Acido nítrico conc., HNO₃

f) Acido clorhídrico conc., HCL

g) Oxido nítrico, grado comercial

h) Solución patrón de metales para Aluminio, Bario, Berilio, Silicio y Vanadio

Procedimiento.

- **Operación del instrumento.**

1.- Colocar la lámpara de catodo hueco y mover el botón de la longitud de onda hasta la posición que recomienda en el cuadro 2.6.

2.- Ajustar la abertura de la rejilla, para el elemento metálico que se va a determinar.

3.- Encender el instrumento.

4.- Esperar a que la fuente de energía se estabilice.

5.- Instalar el cabezal del quemador especial para el óxido nítrico.

6.- Suministrar el acetileno (sin encender la flama) y ajustar el flujo al valor que recomiende el fabricante.

7.- Intermpir el suministro de acetileno.

8.- Introducir aire y óxido nítrico colocando la válvula en la posición adecuada, ajustar el flujo de óxido nítrico de acuerdo con las especificaciones del fabricante.

9.- Mover la válvula para dejar pasar el aire y verificar que el flujo sea igual al del óxido nítrico.

10.- Suministrar el acetileno y encender la flama, la cual debe tener un color amarillo brillante.

11.- Girar la válvula rápidamente para bloquear la entrada de aire y permitir el paso de óxido nítrico, obteniendo así una flama rosa-rojiza.

12.- Atomizar agua desionizada que contenga 1.5 ml de HNO₃ por cada litro y verificar la tasa de aspiración con el objeto de que el gasto oscile entre 3 y 5 ml/min.

13.- Atomizar la solución patrón de 1 mg/l y alinear el quemador horizontal y verticalmente en el trayecto de luz, hasta obtener una respuesta máxima.

14.- Después de los pasos anteriores, el instrumento ha quedado listo para analizar las soluciones patrón y las muestras.

• **Normalización del aparato.**

1) Seleccionar por lo menor 3 diferentes concentraciones de cada una de las soluciones del metal en la muestra. Aspirar cada una de ellas y registrar su absorbancia.

2) En el caso de baño, añadir 2 ml de una solución de cloruro de sodio por cada 100 ml de la solución patrón antes de aspirar el líquido.

3) En algunos instrumentos, podría ser necesario convertir el porciento de absorción o absorbancia usando una tabla que prevé el fabricante.

4) Preparar una curva de calibración, graficando absorbancia contra la concentración.

5) En el caso de baño, se gráfica las curvas de calibración mediante los valores de las concentraciones originales, es decir, antes de añadir el cloruro de sodio.

• **Análisis de las muestras.**

Se procede igual a los pasos (1 y 2) de los casos anteriores.

3.- Cuando se determina bario, añadir 2 ml de cloruro de sodio por cada 100 ml de muestra antes de atomizar.

Cálculos.

Se procede como en los casos anteriores.

4.-Determinación de bajas concentraciones de aluminio y berilio

Equipo.

Además del equipo que se menciona al principio del método, se necesitan embudos de separación de 250 ml con llaves de teflón.

Reactivos.

- a) Aire limpio
- b) Acetileno, grado comercial
- c) Solución amortiguadora
- d) Agua desionizada
- e) Acido nítrico conc., HNO₃
- f) Acido clorhídrico conc., HCL
- g) Solución de 8 -Hidroxiquinoleína-
- h) Metil isobutil cetona
- i) Oxido nítrico, grado comercial.

j) Solución patrón de metales para Aluminio y Berilio.

Procedimiento.

• **Operación del instrumento**

- 1.- Ver la sección uno.
- 2.- Después de ajustar la posición del quemador, aspirar una porción de metil isobutil cetona hacia la flama y reducir gradualmente el flujo del combustible hasta que la flama quede casi igual a la que se tenía antes de aspirar el solvente.
- 3.- Ajustar la longitud de onda de acuerdo con el cuadro 2.7

CUADRO 2.7
LONGITUDES DE ONDA Y SENSIBILIDADES PARA EL ANÁLISIS DE METALES.

Metal	Longitud de onda (nm)	Sensibilidad para el 1% de absorción en $\mu\text{g/l}$
Aluminio	309.3	90
Berilio	234.9	3

• **Normalización.**

- 1) Seleccionar por lo menor 3 diferentes concentraciones de cada una de las soluciones del metal en la muestra. Transferir 100 ml de cada una de las soluciones y 100 ml de agua desionizada a cuatro embudos de separación de 250 ml.
- 2) Añadir a cada embudo 2 ml de una solución de 8- hidroxiquinolina y agitar
- 3) Añadir 10 ml de la solución amortiguadora a cada recipiente y agitar de nuevo
- 4) Añadir 10 ml de metil isobutil cetona a cada embudo y agitar vigorosamente.
- 5) Dejar separar la capa orgánica de la capa acuosa.
- 6) Drenar y descartar la capa acuosa.
- 7) Transferir la capa orgánica hacia una probeta graduada de 10ml con tapón de vidrio.
- 8) Aspirar los extractos orgánicos directamente en la flama.
- 9) En algunos instrumentos, podría ser necesario convertir el porcentaje de absorción o absorbancia usando una tabla que prevé el fabricante.
- 10) Preparar una curva de calibración, graficando absorbancia contra la concentración.

• **Análisis de las muestras.**

Se procede como en los casos anteriores

Cálculos.

Se procede como en los casos anteriores.

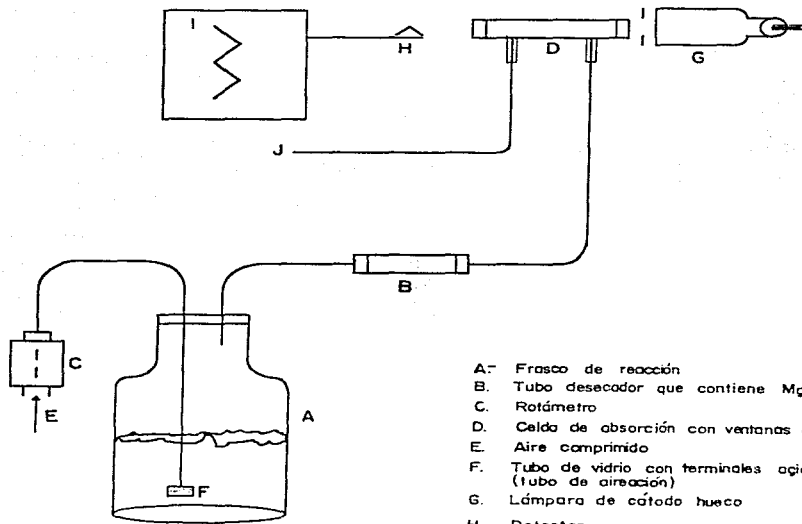
Determinación de mercurio

Equipo. Véase figura 2.3

Además del que se menciona al principio del método se necesita lo siguiente:

- a) Celda de absorción
- b) Soporte de la celda de absorción
- c) Bomba de aire.
- d) Un medidor de flujo para un gasto de 2 litros/min.
- e) Un tubo de aireación
- f) Frasco de reacción
- g) Un tubo de vidrio de 150 mm de largo por 18 mm de diámetro, que contenga 20 g de perclorato de magnesio (MgClO_4)
- h) Tubo desecador.
- i) Tubo de plástico flexible.

ARREGLO ESQUEMÁTICO DEL EQUIPO PARA DETERMINAR MERCURIO
 FIGURA 2.3



- A.- Frasco de reacción
- B. Tubo desecador que contiene $MgClO_4$
- C. Rotámetro
- D. Celda de absorción con ventanas de cuarzo
- E. Aire comprimido
- F. Tubo de vidrio con terminales aglomeradas (tubo de aireación)
- G. Lámpara de cátodo hueco
- H. Detector
- I. Registrador

Reactivos.

- a) Agua desionizada.
- b) Solución madre de mercurio.
- c) Soluciones patrón de mercurio.
- d) Acido nítrico conc. HNO_3
- e) Solución de permanganato de potasio.
- f) Solución de persulfato de potasio
- g) Solución de cloruro de sodio
- h) Solución de cloruro estanooso
- i) Acido sulfúrico conc. H_2SO_4

Procedimiento.

• Operación del instrumento.

- 1.- Instalar la lámpara de cátodo hueco, ajustar la longitud de onda y alinear
- 2.- Ajustar la abertura de la rejilla.
- 3.- Encender el aparato y aplicar la cantidad de corriente que necesita la lámpara.
- 4.- Esperar de 10 a 20 minutos
- 5.- Instalar la celda de absorción y alinear con respecto del haz de luz
- 6.- Instalar todos los dispositivos tal como se indica en la figura 2.3
- 7.- Alimentar aire al sistema y ajustar el gasto a 1 litro/min.

• Normalización del aparato.

- 1) Transferir 100 ml de cada una de las soluciones patrón que contengan 1.0, 2.0, y 5.0 $\mu\text{g/l}$ al frasco de reacción, verter la misma cantidad de agua desionizada a otro de los recipientes para usarse como testigo.
- 2) Añadir 5 ml de H_2SO_4 conc. y 2.5 ml de HNO_3 conc. a cada uno de los frascos.
- 3) Añadir 15 ml de una solución de permanganato de potasio a cada frasco y dejar reposar las soluciones durante 15 minutos.
- 4) Adicionar 8 ml de una solución de persulfato de potasio a cada frasco y calentar durante 2 horas a baño maría a 95°C .
- 5) Enfriar los recipientes, posteriormente añadir 6 ml de una solución de cloruro de sodio-sulfato de hidroxilamina.
- 6) Analizar cada muestra en forma individual añadiendo 5 ml de la solución de cloruro estanooso momentos antes de colocar el aparato de aireación.
- 7) Construir una curva de calibración, graficando el pico más alto contra los microgramos de mercurio.

• Análisis de las muestras.

Transferir 100 ml de muestra o una alícuota que no contenga más de 5.0 $\mu\text{g/l}$ a un frasco de reacción para tratarlo como se indica en los párrafos b) 2) al 6)

Cálculos.

Determinar la altura del pico de la muestra, obtenida de la carta del registrador y leer el valor del mercurio en la curva de calibración.

$$\frac{\mu\text{g Hg en la muestra}}{\text{ml de la muestra}} = \text{ppm} = \frac{\mu\text{g}}{\text{ml}}$$

$$\frac{\mu\text{g Hg} \times 1000 \frac{\text{ml}}{\text{l}}}{\text{ml de la muestra}} = \text{ppm} = \frac{\mu\text{g}}{\text{l}}$$

Determinación de Arsénico y Selenio

Equipo. Véase figura 2.4

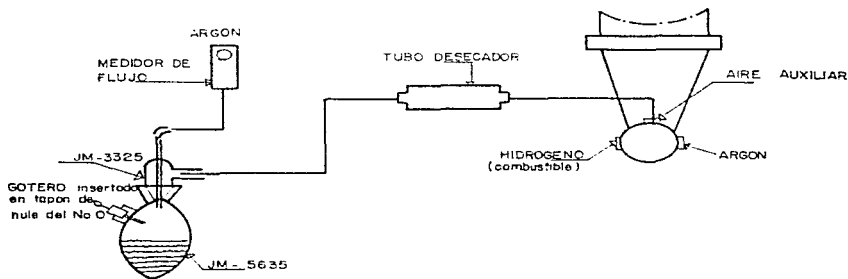
Además del equipo que se menciona al principio del método, se necesita lo siguiente:

- Un medidor de flujo capaz de medir 1 litro/min.
- Un gotero que vaya insertado en un tapón de hule del número cero.
- Un matraz de pera de 50 ml con dos bocas de 14/20
- Un tubo especial para que entre y salga gas.
- Un agitador magnético.
- Tubo de secado de 100 mm de largo

Reactivos.

- Solución de yoduro de potasio
- Solución de cloruro estannoso
- Lechada de cinc.
- Diluyente
- Soluciones de arsénico:
 - Solución madre de arsénico
 - Solución intermedia de arsénico
 - Solución patrón de arsénico
- Soluciones de selenio:
 - Solución madre de selenio
 - Solución intermedia de selenio
- Acido perclórico de 70 ó 72%

ARREGLO ESQUEMATICO DEL EQUIPO PARA DETERMINAR ARSENICO Y SELENIO
FIGURA 2.4



Procedimiento

Operación del instrumento.

- 1.- Instalar la lámpara de cátodo hueco con el elemento metálico que se desea analizar. Ajustar la longitud de onda de acuerdo con el Cuadro 2.8 y alinear la lámpara de acuerdo con las instrucciones del fabricante.
- 2.- Ajustar la abertura de la rejilla.
- 3.- Encender el aparato
- 4.- Dejar que el equipo se normalice
- 5.- Instalar el cabezal del quemador.
- 6.- Empezar a alimentar el argón
- 7.- Alimentar el hidrógeno y encender la flama
- 8.- Atomizar la solución patrón y ajustar el quemador hasta obtener la máxima respuesta.

CUADRO 2.8
LONGITUDES DE ONDA Y SENSIBILIDAD PARA EL ANÁLISIS DE METALES

Metal	Longitud de onda (nm)	Sensibilidad aprox. $\mu\text{g} / \text{l}$
arsénico	193.7	2.5
selenio	196.0	2.5

- Preparación de la muestra.
 - 1) Arsénico o selenio inorgánico
 - 2) Arsénico total (orgánico e inorgánico)
- Preparación de la solución patrón
- Tratamiento de las muestras y de las soluciones patrón.

Cálculos.

Trazar una curva de calibración graficando las diferentes alturas de los picos contra las concentraciones de las soluciones patrón.

Multiplicar los valores obtenidos por dos, debido a que las muestras se diluyeron con ácido 1+1

2.2.2 ARSENICO

Generalidades:

La presencia de arsénico en las aguas naturales se debe a la disolución de los minerales que lo contienen, contaminación por desechos industriales o por la aplicación de insecticidas a los campos agrícolas.

Significado Sanitario:

El arsénico está presente en forma natural en alimentos y bebidas y normalmente está presente en concentraciones altas en crustáceos y otros mariscos. La toxicidad del arsénico para algunos tipos de animales marinos aparece en el ámbito de 1 a 10 ppm en el agua. Como este valor es 1000 veces la concentración normal del agua de mar, es improbable que se produzca este efecto, a no ser que exista una fuerte contaminación de tipo industrial.

En el hombre, 100 mg de arsénico originan un envenenamiento severo, y se ha probado que 130 mg pueden ocasionar la muerte. Se ha comprobado que el arsénico es cancerígeno, conociéndose muchos casos de cáncer en la piel de personas que han consumido aguas contaminadas.

Selección del método de análisis:

Se pueden determinar huellas de arsénico por 3 métodos, que son:

- Método del Dietilditiocarbamato de plata
- Método del Bromuro mercuríco

- Método de Absorción atómica

Todos estos métodos se aplican, tanto en aguas naturales como para aguas negras y desechos industriales.

El método de Dietiltiocarbamato de plata, se recomienda cuando se necesite mayor precisión y exactitud. Aunque la concentración mínima detectable del método del bromuro mercuríco es de 0.01 mg de arsénico, este método debe limitarse a determinaciones cualitativas o semicualitativas (± 5 mg).

2.2.3 CROMO

Generalidades.

El cromo puede existir en suministros de agua en dos estados hexavalente y trivalente, aunque la forma trivalente rara vez está presente en el agua potable.

Significado Sanitario

La toxicidad del cromo en la vida acuática varía con el estado de valencia, forma, pH, efectos sinérgicos o antagonísticos de otros constituyentes y las especies de organismos involucrados. Sin embargo, se ha encontrado que la forma más tóxica es la hexavalente.

En agua de mar 31.8 mg de cromo por litro - como cromato de potasio - provocó el 100 % de mortalidad a una especie de salmón.

El cromo hexavalente también es tóxico para el hombre, llegando a crear tumores pulmonares cuando se inhala. Por ingestión el máximo permisible en suministros de agua potable es de 0.05 mg / l como cromo hexavalente.

Selección del método de análisis

El método colorimétrico de la difenilcarbazida es el aplicable en la determinación de cromo hexavalente en aguas naturales y tratadas. Para la determinación del cromo total en muestras de agua y aguas de desecho se usa el método de espectrofotometría de absorción atómica ó métodos colorimétricos.

2.2.4 DUREZA

Generalidades.

Químicamente la dureza es una característica del agua que representa principalmente la concentración total de los iones calcio y magnesio expresados como CaCO_3 , por lo cual, su clasificación en grados de dureza es la siguiente:

0 - 75 mg / l	CaCO_3	Agua Suave
75 - 150 mg / l	CaCO_3	Agua poco dura
150 - 300 mg / l	CaCO_3	Agua dura
más de 300 mg / l	CaCO_3	Agua muy dura

Los principales cationes que causan dureza son: calcio, magnesio, estroncio, fierro, y manganeso. La dureza en el agua se debe principalmente a la presencia de cationes metálicos divalentes que pueden reaccionar con el jabón para formar precipitados, y con los aniones para formar incrustaciones (o escamas).

La dureza se clasifica en dos formas: según el ion metálico y según los iones asociados a los iones metálicos. Los iones Ca^{++} y Mg^{++} causan la mayor parte de la dureza en aguas naturales. Para poder calcular la cantidad de cal requerida en el proceso de ablandamiento de cal-carbonato de sodio es necesario conocer la dureza de calcio y magnesio por separado, por lo que se puede recurrir a la medición de la dureza por Ca^{++} y restar ésta de la dureza total para obtener la dureza por Mg^{++} .

$$\text{Dureza total} - \text{Dureza } \text{Ca}^{++} = \text{Dureza } \text{Mg}^{++}$$

La dureza de carbonatos se precipita al hervir el agua y se puede renovar.

Significado Sanitario

Para el consumo humano las aguas duras son tan satisfactorias como las suaves. Cuando el agua se pone en contacto con el jabón, los iones calcio y magnesio reaccionan con los iones de los ácidos grasos para precipitar jabones de calcio y magnesio casi insolubles, destruyendo el jabón. En el tejido de textiles el agua blanda es de importancia para asegurar que todos los lotes queden libres de manchas o rayas. En la manufactura del rayón es de extrema importancia la dureza. El principal problema que ocasiona la dureza en las industrias es el de provocar incrustaciones en los equipos de contención y conducción de agua caliente.

Selección del método de análisis

Existen 3 métodos para la determinación de dureza.

- Determinación de la dureza por cálculo matemático
- Determinación de la dureza total por el método volumétrico con EDTA
- Determinación de la dureza obteniendo los iones Ca

A continuación se presenta el método volumétrico con EDTA para la dureza total

Principio:

Se emplea una solución valorada de ácido etilendiamino tetracético o sus sales de sodio (EDTA). El uso de este método depende de la presencia de un indicador que determine el EDTA en exceso o el momento en que todos los iones causantes de la dureza se han combinado. El colorante que sirve para este propósito es el Eriocromo Negro T (ENT). Cuando se añade una pequeña cantidad de ENT, de color azul, a un agua dura con un pH de 10, se combina con los iones Ca^{++} y Mg^{++} para formar un complejo débil de color rojo vino.

$\text{M}^{++} + \text{ENT} \xrightarrow{\text{pH } 10} (\text{M} \cdot \text{ENT})$ complejo débil rojo vino
Durante la titulación con EDTA, todos los iones de dureza que están libres forman un complejo y finalmente el EDTA con exceso destruye el complejo $\text{M} \cdot \text{ENT}$ pues forma el complejo $\text{M} \cdot \text{EDTA}$ que es más estable; esto libera al colorante que adquiere su color normal, azul.

$\text{M}^{++} + \text{M} \cdot \text{ENT} + \text{EDTA} \xrightarrow{\text{pH } 10} \text{M} \cdot \text{EDTA} + \text{ENT}$ color azul

Interferencias:

Algunos iones metálicos interfieren con este procedimiento dando resultado a la pérdida del vire o imprecisión en su apreciación; la interferencia se reduce añadiendo inhibidores a la muestra antes de la titulación con EDTA.

También puede interferir en el vire la materia orgánica suspendida o coloidal, la cual se elimina evaporando a sequedad en baño maría la porción alícuota y calentando el residuo a 550°C en una mufla hasta la oxidación completa de la materia orgánica. El residuo se disuelve en 20 ml de HCl 1N, se neutraliza a pH 7 con NaOH 1N y se diluye a 50 ml con agua destilada, se enfría y se continúa el procedimiento de titulación.

Reactivos.

1. Solución amortiguadora.
2. Inhibidores
3. Indicador
4. Solución valorada EDTA 0.01 M.
5. Solución valorada de Calcio

Procedimiento.

Seleccionar un volumen de muestra que requiera menos de 15 mililitros de solución EDTA. La duración de la titulación no debe exceder a 5 minutos, contados a partir de la adición amortiguadora. En una cápsula de porcelana u otro recipiente apropiado diluir 25 ml. de la muestra a unos 50 ml con agua destilada. Agregar 1 ó 2 ml de la solución amortiguadora para obtener un pH de 10.0 a 10.1. Si en la titulación no se obtiene un vire preciso de color, generalmente significa que se debe agregar un inhibidor o que el indicador se ha deteriorado. Agregar 1 ó 2 gotas de la solución del indicador o una cantidad apropiada del indicador de polvo. Agregar lentamente el titulante, agitando continuamente la muestra, hasta que desaparezca de la solución el último tinte rojizo; añadir las últimas gotas a intervalos de 3 a 5 segundos. En el vire el color de la solución es azul bajo condiciones normales.

Cálculos.

$$\text{Dureza (EDTA) en } \frac{\text{mg}}{\text{l}} \text{ de CaCO}_3 = \frac{\text{ml de EDTA} \times 1000 \times f}{\text{ml de la muestra}}$$

donde: $f = \text{mg de CaCO}_3 \text{ equivalente a 1 ml de EDTA}$

2.2.5 FIERRO Y MANGANESO

Generalidades

Tanto el hierro como el manganeso provocan serios problemas en los abastecimientos de agua potable. Los problemas son más extensos y críticos en las aguas subterráneas, pero también se presentan durante ciertas épocas del año en aguas provenientes de algunos ríos y presas.

El hierro existe en el suelo principalmente como óxido férrico que es insoluble. En algunas partes se encuentra como carbonato ferroso (siderita), que es ligeramente soluble. Como las aguas subterráneas frecuentemente contienen cantidades considerables de dióxido de carbono, puede disolver cantidades apreciables de carbonato ferroso.

Sin embargo, también existen problemas en sitios donde hay compuestos férricos insolubles. Siempre que se tenga oxígeno disuelto no sucederá la disolución de cantidades apreciables de hierro, aún en presencia de bióxido de carbono. En cambio bajo condiciones anaerobias (reducción), se reduce el hierro férrico a ferroso y la disolución se lleva a cabo fácilmente.

El manganeso existe en el suelo principalmente como bióxido de manganeso, que es muy insoluble en el agua que contiene bióxido de carbono. Bajo condiciones anaerobias, se reduce el bióxido de manganeso de valencia +4 a +2 y entra en solución.

En aguas superficiales, una parte del hierro y manganeso se encuentra en forma suspendida. En la capa superficial de la mayoría de los cuerpos de agua naturales, debido a su pH y concentración de oxígeno disuelto, el hierro y manganeso introducidos son rápidamente oxidados y convertidos a su forma insoluble. Sin embargo cuando penetra materia orgánica en el cuerpo de agua, ésta abate el oxígeno disuelto creando las condiciones propicias para la reducción de Fe^{3+} y Mn^{4+} , volviéndose solubles.

Significado Sanitario

Hasta la fecha no se conocen efectos perjudiciales a la salud por beber agua que contenga Fe y Mn. Este tipo de agua al entrar en contacto con el aire y absorber oxígeno se vuelve turbia e inaceptable desde el punto de vista estético, debido a la oxidación del hierro y manganeso a Fe^{3+} y Mn^{4+} que forman precipitados coloidales, además el hierro imparte sabor al agua, que se percibe aún a concentraciones muy bajas.

Selección del método para determinar Hierro

Existen muchos métodos para su determinación. Los métodos más comunes son los de precipitación cuando las concentraciones son muy altas; los métodos colorimétricos para concentraciones pequeñas, son altamente específicos y requieren un mínimo de pretratamiento, el

método más empleado es el de la Fenantrolina. También puede utilizarse el método de espectrofotometría de absorción atómica, el cual fue descrito en el apartado 2.2.1.

Selección del método para determinar Manganeseo

Los métodos más comúnmente usados son:

- a) Método de Espectrofotometría de absorción Atómica.
- b) Método del Persulfato.
- c) Método del Periodato.

2.2.6 MERCURIO

Generalidades

Bajo condiciones naturales la concentración promedio de mercurio en la vegetación terrestre no es más que una fracción de 1 parte por millón. Así, el ciclo natural de la circulación del mercurio en la tierra se dispersa ampliamente en las esferas habitables en proporciones que no son dañinas a la vida.

El único mineral con una concentración suficiente para hacer una extracción comercial es el sulfuro de mercurio (HgS) de color rojo. El uso de este mineral como agente colorante, y los compuestos de mercurio como fármacos, no introdujo ningún daño a la calidad del ambiente. Cuando se vuelve problema serio es con el desarrollo de otras aplicaciones, particularmente en la industria y la agricultura.

Significado Sanitario.

Para evaluar el daño del mercurio en el ambiente se debe examinar las formas en que se presenta y su toxicidad relativa. El mercurio líquido no es dañino al hombre; sin embargo, la inhalación del vapor de mercurio puede ser perjudicial.

Las sales solubles inorgánicas del mercurio también son tóxicas, como el dicloruro de mercurio; pero estos compuestos inorgánicos no son un importante factor en la contaminación del medio ambiente.

Las descargas de mercurio en la atmósfera no son problema serio, la principal amenaza a la que debemos poner atención son los desechos sólidos y líquidos que se introducen en los cuerpos de agua envenenando los peces y sus consumidores y en los compuestos de mercurio que se utilizan en agricultura que puedan contaminar la comida y ser arrastrados por las lluvias a los cuerpos de agua cercanos.

Así, es indispensable llevar un control por medio de análisis que detecten incrementos significativos de contaminación por mercurio en estos medios de vida que utiliza el hombre para su alimento, debido a que plantas y animales tienden a acumular el mercurio en el organismo.

Selección del método de análisis.

El método que se usa para agua potable es el de la Ditizona.

El método que se utiliza para todo tipo de muestras es el de absorción atómica el cual se discutió anteriormente.

2.2.7 PLOMO

Generalidades.

El plomo es un compuesto tóxico acumulativo en el cuerpo humano. Las aguas naturales rara vez contienen más de 20 mg/litro, sin embargo se han reportado valores tan altos como 400 mg/l. En los abastecimientos de agua, el plomo puede provenir de la industria, minas y descargas de fundidoras o de la disolución del plomo de las cañerías viejas, esta distribución del agua en tuberías de plomo ha sido responsable de intoxicaciones en diversas comunidades. En instalaciones de este tipo, se ha encontrado concentraciones de 0.5 mg/l y aún superiores.

El agua de llave o grifo que es ligeramente ácida, y no tratada adecuadamente puede contener plomo por ataque a las tuberías de servicio.

Significado Sanitario.

El plomo se acumula en el cuerpo humano pero a pesar de que prevalece en el medio ambiente del hombre, sólo una fracción de lo que se ingiere es absorbida. Actuando lenta y sutilmente, el plomo es poderoso y produce una variedad de síntomas en los tejidos vulnerables del cuerpo humano.

Los compuestos orgánicos del plomo, como el tetraetilo de plomo de la gasolina penetran rápidamente la piel. La absorción en los tejidos es más rápida con los compuestos orgánicos que los inorgánicos.

Cuando el agua está contaminada con sales de plomo, se les forma a los peces una película mucosa coagulante, primero sobre las agallas y posteriormente sobre todo el cuerpo causándoles sofocación.

Selección del método de análisis.

- Método de absorción atómica
- Método de la Ditzona.

2.2.8 ACIDEZ

Generalidades.

La acidez del agua se debe a ácidos minerales, ácidos débiles como carbónico y acético y sales de ácidos fuertes y bases débiles. En esta última categoría caen las sales de hierro y aluminio provenientes de las minas o de origen industrial.

El dióxido de carbono disuelto en el agua, es el compuesto ácido más común en las aguas naturales superficiales, ya que lo toman de la atmósfera cuando la presión parcial de CO_2 en el agua es menor que en la atmósfera. Otra fuente de dióxido de carbono es la oxidación biológica de la materia orgánica, particularmente en aguas contaminadas. En algunos casos, cuando la actividad fotosintética es limitada, la presión parcial de dióxido de carbono en el agua puede exceder a la atmósfera, por lo que escapará el dióxido de carbono del agua.

Significado Sanitario.

Las aguas ácidas poseen propiedades corrosivas por lo que atacan cualquier tipo de tubería utilizada. Además, alteran el pH del cuerpo de agua receptor provocando reacciones secundarias que rompen su ciclo ecológico.

Es muy importante controlar la acidez en el tratamiento del agua, principalmente en los procesos biológicos, donde se debe tener un pH de 6 a 9.5.

La mayoría de las aguas naturales y desechos industriales, se neutralizan por el sistema bióxido de carbono-bicarbonato.

Métodos de Análisis.

- Por titulación con hidróxido de sodio
- Por titulación con anaranjado de metilo.
- Por titulación a la fenolftaleína "acidez total"

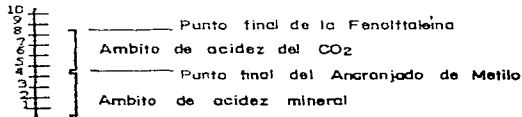


FIG. 2.5

Acidez al anaranjado de metilo y acidez total

Principio.

Los iones hidrógeno presentes en una muestra son el resultado de la disociación o hidrólisis de los solutos, los cuales se neutralizan por titulación con un compuesto básico.

Interferencias.

Los gases disueltos contribuyen a la acidez o alcalinidad, los cuales pueden aumentar o disminuir su concentración durante el muestreo, almacenamiento u titulación.

Las muestras que contienen iones oxidables o hidrolizables como hierro, aluminio o manganeso provocan imprecisión en el vire de la fenoltaleína a temperatura ambiente.

El cloro libre residual puede decolorar el anaranjado de metilo en un medio ácido.

Equipo.

- Potenciómetro
- Agitador magnético
- Pipetas volumétricas
- Matraces volumétricos
- Matraces Erlenmeyer de 250 ml
- Bureta de 25 y 50 ml.

Reactivos.

- Agua destilada exenta de CO₂
- Indicador de fenoltaleína
- Indicador de anaranjado de metilo
- Solución de tiosulfato de sodio 0.1N
- Solución de biftalato de potasio
- Solución de hidróxido de sodio
- Solución valorada de NaOH 0.02N
- Solución de peróxido de Hidrógeno 30%

Procedimiento.

Declarar la muestra.

a) Acidez al anaranjado de metilo.

En un matraz de 250 ml se toman de 50 a 100 ml de la muestra. Se agregan unas gotas del indicador de anaranjado de metilo y si la muestra se toma amarilla, se procede a titular con la solución de NaOH 0.02N hasta que el color vire a canela, característico de 3.7 de pH.

b) Acidez a la fenoltaleína o total.

Se toman 50 a 100 ml de la muestra. Se agregan unas gotas de fenoltaleína. Se titula con la solución de NaOH 0.02N hasta la aparición de un color rosa débil, característico de un pH de 8.3.

c) Titulación potenciométrica.

Se toman 50 a 100 ml de la muestra. Medir el pH de la muestra y añadir la solución de NaOH 0.02 N en incrementos de 0.5 ml o menores. Después de cada adición mezclar con el agitador magnético. Titular hasta los puntos de pH pre seleccionados (3.7 y 8.3) . Graficar los puntos observados de pH contra los ml gastados .

d) Tratamiento con peróxido caliente.

Cálculos

$$\text{Acidez en } \frac{\text{mg}}{\text{l}} \text{ CaCO}_3 = \frac{A \times B \times 50,000}{\text{ml de la muestra}}$$

donde:

A = ml de NaOH

B = Normalidad de NaOH

2.2.9 ALCALINIDAD

Generalidades.

La alcalinidad total de un agua es su capacidad cuantitativa para neutralizar un ácido, o la cantidad de ácido que se requiere por litro para disminuir el pH a un valor aproximado de 4.3.

La alcalinidad en el agua se debe principalmente a la presencia de sales de ácidos débiles, contribuyendo también a las bases débiles y fuertes.

Los bicarbonatos representan la principal forma de alcalinidad, éstos se forman por la acción del CO₂ sobre los materiales básicos del suelo.

Algunos ácidos orgánicos poco resistentes a la oxidación biológica forman sales que aumentan la alcalinidad del cuerpo de agua. En aguas contaminadas y en estado anaerobio se pueden producir sales de ácidos débiles como acético y propiónico, los cuales aportan alcalinidad como también los hidróxidos y el amoníaco a la alcalinidad total.

Significado Sanitario.

La alcalinidad en el agua es de poca importancia sanitaria. Sólo en el caso de aguas altamente alcalinas son rechazadas para el abastecimiento público, teniendo que someterse a algún tratamiento para su posible uso.

Métodos de Análisis.

Para muestras que tienen un pH arriba del 8.3, la titulación se realiza en 2 pasos:

- Por titulación con anaranjado de metilo.
- Por titulación a la fenolftaleína

Cuando el pH de la muestra sea menor de 8.3, se efectúa solamente por anaranjado de metilo.

• Alcalinidad al anaranjado de metilo y a la fenolftaleína.

Principio.

Los iones hidrógeno presentes en una muestra son el resultado de la disociación o hidrólisis de los solutos, los cuales se neutralizan por titulación con un compuesto ácido.

Interferencias.

Jabones, grasas, aceites, sólidos suspendidos o precipitados que cubran la pared del electrodo pueden causar respuestas erróneas.

Reactivos.

- a) Solución de Carbonato de sodio, 0.05N
- b) Ácido sulfúrico ó Clorhídrico valorado 0.1N
- c) Ácido sulfúrico ó Clorhídrico valorado 0.2N
- d) Solución del indicador mixto verde de bromocresol
- e) Solución del indicador anaranjado de metilo.
- f) Solución fenolftaleína
- g) Tiosulfato de sodio 0.1N

Procedimiento.

Se debe remover el cloro libre residual.

a) Alcalinidad a la fenolftaleína.

Se toman 50 a 100 ml de la muestra y se colocan en un matraz Erlenmeyer. Se agregan dos gotas de fenolftaleína. Se titula con ácido valorado 0.2N, hasta que la solución pierda la coloración, esto es característico de un pH de 8.3.

b) Alcalinidad total con el indicador de anaranjado de metilo

Se agregan unas gotas a la muestra en que se ha determinado la alcalinidad a la fenolftaleína. Se titula con ácido valorado 0.02N. El indicador cambia a color canela a un pH de 3.7 y a rosa a un pH de 3.1. El color canela indica la exacta neutralización alcanzada en la titulación y el color rosa determina una condición ácida.

c) Alcalinidad total en el indicador mixto verde de bromocresol rojo de metilo.

El método se recomienda para alcalinidades entre 30 y 500 mg/l como CaCO₃. El procedimiento es similar al anterior, solo que se usa el indicador mixto verde de bromocresol-rojo de metilo.

d) Alcalinidad total por titulación potonciométrica.

Se toman 50 a 100 ml de la muestra. Medir el pH de la muestra y añadir la solución de ácido 0.02 N en incrementos de 0.5 ml o menores. Después de cada adición mezclar con el agitador magnético. Titular hasta los puntos de pH preseleccionados (3.7 y 8.3) . Graficar los puntos observados de pH contra los ml gastados .

e) Titulación potenciométrica para alcalinidades bajas.

Cálculos.

$$\text{Acidez en } \frac{\text{mg}}{\text{l}} \text{ CaCO}_3 = \frac{A \times N \times 50,000}{\text{ml de la muestra}}$$

donde:

A = ml de ácido gastados

B = Normalidad de ácido

Cálculos de las formas de alcalinidad.

Se considera que toda la alcalinidad se debe a los iones bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos, suponiendo la ausencia de otros ácidos débiles de composición orgánica, como silicio, fosfórico y bórico.

Los resultados no representan un estricto sentido a las concentraciones de los iones.

El sistema se basa en los siguientes principios:

- 1.- Hay alcalinidad de carbonatos cuando la alcalinidad a la fenoltaleína no es nula; pero es menor que la mitad de la alcalinidad total.
- 2.- Hay alcalinidad de hidróxidos cuando la alcalinidad a la fenoltaleína es mayor que la mitad de la alcalinidad total.
- 3.- Hay alcalinidad de bicarbonatos cuando la alcalinidad a la fenoltaleína es menor de la mitad de la alcalinidad total.

2.2.10 BORO

Significado Sanitario:

La dosis letal para los animales varía de 1.5 a 3.45 g por kilogramo de peso seco, siendo los compuestos boranos (compuestos sintéticos) más perjudiciales que los compuestos naturales.

Ya que la toxicidad es menor en agua dura que en agua destilada, se supone que el ácido bórico y los boratos son menos tóxicos a la vida marina que a los organismos de agua dulce.

El boro es un elemento esencial en las plantas superiores, sin embargo, en concentraciones mayores de 0.5 mg/l pueden ser perjudicial a ciertos cultivos.

Las autoridades agrícolas están de acuerdo en que la concentración crítica de las aguas de irrigación sea de 0.4 a 0.5 mg/l, ya que las plantas varían en su sensibilidad al boro; las aguas deben clasificarse de acuerdo al contenido de boro, y de acuerdo a la tolerancia de los cultivos.

Los síntomas por daño por boro pueden distinguirse fácilmente de otro tipo de daño; sin embargo, a veces se puede confundir con el envenenamiento por el sulfato.

Métodos de Análisis

- Método de la Curcumina
- Método con ácido camínico
- Método de la Curcumina

Principio

Quando una muestra de agua que contiene Boro se acidifica y evapora en presencia de curcumina, se forma un producto de color rojo llamado resocianina. La resocianina se extrae con un solvente, y el color rojo se compara con soluciones patrón, ya sea visual o fotométricamente.

Interferencias

El nitrógeno en forma de nitratos es una interferencia si se encuentra en concentraciones superiores a 20 mg/l.

Quando la dureza total expresada como CaCO_3 excede a 300 mg/l, se pueden obtener resultados altos que son erróneos, esta interferencia se debe a la insolubilidad de las sales en etanol al 95% y a la turbiedad formada en la solución final. Si se filtra la muestra o la solución final a través de una columna de resinas de intercambio de cationes fuertemente acidificada, se elimina el problema.

Equipo

- a) Espectrofotómetro.- Para utilizarlo a 540 nm, con un paso mínimo de luz de 1 cm.
- b) Fotómetro de filtro equipado con un filtro verde y una transmitancia máxima cercana a 540 nm.
- c) Cápsula de porcelana de 100 a 150 ml.
- d) Baño maría colocado a una temperatura de $55 \pm 2^\circ\text{C}$
- e) Columna de intercambio de 50 cm de largo y 1.3 cm de diámetro.

Reactivos.

- a) Solución madre de Boro
- b) Solución patrón de boro
- c) Reactivo de Curcumina
- d) Alcohol etílico o isopropílico al 95%
- e) Reactivo para eliminar la dureza y la interferencia de cationes
 - 1) Resina de intercambio de cationes
 - 2) Acido clorhídrico, HCL 1 + 5

Procedimiento

- a) Precauciones:
- b) Preparación de la curva de calibración.
- c) Tratamiento de la muestra
- d) Método de la curcumina por comparación Visual: Este método se emplea para concentraciones de 50 a 200 $\mu\text{g/l}$ de Boro.

Procedimiento: Diluir la solución patrón de Boro de tal forma que 1.00 ml sea igual a 0.20 mg de Boro. Con una pipeta tome 0.00 (blanco), 0.10, 0.15, y 0.20 μg de Boro y vacíe cada una de las concentraciones anteriores en cápsulas de porcelana, continúe el análisis de la misma forma que para la preparación de las soluciones patrón para la curva de calibración. Al mismo tiempo añada un volumen apropiado de muestra (1.00 ml, o una alícuota diluida a 1.00 ml.) a una cápsula de porcelana. La concentración total de la muestra deberá encontrarse entre 0.5 y 0.20 μg . Continúe el análisis de la misma forma que para la preparación de soluciones patrón para la curva de calibración. Compare el color de las muestras con los patrones dentro de la primera hora después de haberse formado el color rojo en el alcohol.

- e) Eliminación de la dureza y la Interferencia de los Cationes.

2.2.11 CLORUROS

Generalidades.

Los cloruros son aniones que están presentes en el agua en diversas concentraciones, y normalmente se incrementan con el contenido mineral. El aumento de cloruros se lleva a cabo de

diferentes modos. El agua tiene un gran poder solvente, disolviendo los cloruros de los suelos y de las formaciones subterráneas. Si un yacimiento se bombea en exceso, produce una diferencia hidrostática en favor del agua de mar, favoreciendo una intrusión de agua salina.

La concentración de cloruros es mayor en las aguas de desecho, porque el cloruro de sodio es un artículo común en la dieta y pasa por el sistema digestivo sin sufrir cambio alguno. La excreta humana, particularmente la orina, contiene cloruros en cantidad aproximadamente igual a la consumida en la alimentación, la cantidad promedio es casi 6g por persona por día, incrementándose casi hasta 15 mg/l en las aguas residuales.

Significado Sanitario.

Los cloruros en proporciones razonables no son dañinos a la salud, en concentraciones superiores a 250 mg/l dan sabor salino al agua; por otro lado el sabor salino puede estar ausente en aguas que contengan 1000 mg/l cuando los cationes predominantes son el calcio y el magnesio.

Altas concentraciones de cloruros aceleran la corrosión en los reactores, calentadores, etc.

Para conocer posibles contaminaciones de las aguas subterráneas por aguas residuales, es necesario además de las pruebas bacteriológicas, contar con análisis de cloruros.

Métodos de Análisis.

- Método Argentométrico o de Mohr
- Método potenciométrico.

• Método Argentométrico o de Mohr

Principio.

En una solución neutra o ligeramente alcalina, se puede usar el cromato de potasio para indicar el vire en la valoración de cloruros con nitrato de plata. El cloruro de plata se precipita cuantitativamente antes de que se forme el cromato de plata rojo.

Cuando la concentración de iones cloruros tienden a agotarse, el exceso de iones plata empieza a combinarse con el ion cromato del indicador, hasta el punto en que es sobrepasado el valor de su producto de solubilidad, formándose así el precipitado café-rojizo.

El pH de la muestra al llevar a cabo la valoración, deberá estar dentro de un ámbito de 7 a 8.

Interferencias.

No interfieren las sustancias que comúnmente se encuentran en aguas potables. Interfieren los iones sulfuro, tiosulfato y sulfito.

Reactivos.

- a) Aguas exenta de cloruros
- b) Indicador de cromato de potasio
- c) Solución valorada de nitrato de plata: 0,014 N
- d) Solución valorada de cloruros de sodio, 0,0141 N
- e) Reactivos especiales para eliminar la interferencia

Procedimiento.

a) Preparación de la muestra.
b) Titulación: Las muestras se titulan en un ámbito de pH de 7 a 10 directamente. Se agrega 1,0 ml de la solución de K_2CrO_4 . Se titula con una solución valorada de nitrato de plata hasta un vire amarillo rosado.

Valore el nitrato de plata y establezca el valor del testigo por el método de titulación descrito anteriormente. Para este método es usual un testigo de 0.2 a 0.3 ml.

Cálculos.

$$\frac{mg}{l} CL = \frac{(A - B) \times N \times 35.450}{ml \text{ de muestra}}$$

donde:

- A = ml ocupados en la titulación
- B = ml utilizados para el testigo
- N = normalidad del $AgNO_3$

2.2.11 CLORO RESIDUAL

Generalidades.

El cloro es una sustancia sumamente activa que reacciona con muchos compuestos, dando productos muy diversos. En general si se agrega una cantidad muy pequeña de cloro, está se consumirá al reaccionar rápidamente con el ácido sulfhídrico, el hierro ferroso y los nitritos, lo que indica que no se logra ninguna desinfección; en cambio si se agrega una cantidad un poco mayor a la que se necesita para reaccionar con estas sustancias (compuestos reductores), el cloro restante reaccionará con la materia orgánica formando compuestos orgánicos clorados que tienen una ligera acción desinfectante.

Importancia Sanitaria.

La cantidad de cloro a administrarse para un propósito determinado, depende de la cantidad de sustancias orgánicas e inorgánicas presentes en el agua y agua residual. Por lo que la demanda de cloro se define como la cantidad de cloro que consumen las sustancias reductoras orgánicas e inorgánicas y es igual a la cantidad que se agrega menos la que permanece como cloro residual después de un periodo de contacto seleccionado que generalmente es de 10 minutos para el agua potable y 15 para el agua residual.

El cloro residual puede existir como compuestos clorados de materia orgánica y amoníaco, en cuyo caso se conoce como "cloro residual combinado"; puede estar presente como cloro libre el cual se conoce como "cloro residual libre"; puede estar al mismo tiempo como combinado y como cloro libre en este caso se conoce como "cloro residual total". Por lo que el cloro suficiente es la cantidad requerida para producir un residual deseado, ya sea combinado, libre o total, después del periodo de contacto definido.

Métodos de Análisis.

- Método iodométrico.
- Método de titulación amperométrica
- Método colorimétrico.

• Método Iodométrico

Principio.

A pH 8 o menor, el cloro libera al iodo libre de una solución de yoduro de potasio. El iodo liberado se titula con una solución valorada de tiosulfato de sodio, usando una solución de almidón como indicador. La reacción se efectúa preferentemente a pH de 3 a 4.

Interferencias.

La titulación neutral disminuye el efecto de los iones férrico, mangánico y nitrito, se prefiere la titulación ácida ya que es más exacta para la determinación del cloro residual total disponible.

Reactivos.

- a) Acido Acético concentrado (glacial)
- b) Yoduro de potasio, (cristales)
- c) Solución valorada de tiosulfato de sodio, 0.1N
- d) Solución valorada de tiosulfato de sodio, 0.01N ó 0.025 N

- e) Solución indicadora de almidón
- f) Solución valorada de iodo, 0.01N
- g) Solución valorada de iodo, 0.0282 N

Procedimiento.

a) Volumen de la muestra
 b) Preparación para la titulación
 c) Titulación: titule evitando la luz del sol directa. Añada tiosulfato de sodio 0.025N de una bureta hasta que casi desaparezca el color amarillo del ion liberado. Añada 1 ml de solución indicadora de almidón y titule hasta que desaparezca el color azul.

d) Titulación del blanco: corrija el resultado de la titulación de la muestra determinando la contribución, en blanco, de algunas impurezas en los reactivos, como son: 1) el iodo libre o iodatos en el ioduro de potasio, que liberan iodo extra o 2) las trazas de agentes reductores que pueden reducir algo de iodo liberado.

Cálculos.

Para valorar la solución de cloro para patrones temporales:

$$\frac{m \text{ g}}{m \text{ l}} C I = \frac{(A \pm B) \times N \times 35.450}{m \text{ l de la muestra}}$$

Para determinar el cloro residual disponible total en una muestra de agua:

- A = ml de titulación para la muestra
- B = ml de titulación para el blanco, (positivo o negativo)
- N = normalidad del $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$.

2.2.13 CIANUROS

Generalidades.

Los compuestos en cianuro en los cuales el cianuro puede obtenerse como CN⁻ se clasifican en cianuros simples y complejos.

Los cianuros simples, se representan por la fórmula A (CN)_x, donde "A" es un álcali (sodio, potasio, amonio) o un metal, y "X", la valencia de "A".

En desechos industriales, el cianuro libre incluye los cianuros simples y solubles presentes, más aquellos que se formen por cualquier descomposición de los cianuros complejos.

Los cianuros complejos tienen una variedad de fórmulas, pero normalmente los cianuros metálicos alcalinos se pueden representar por A₂Y M(CN)_x. En esta fórmula "A" representa el álcali, "Y" la cantidad, "M" el metal pesado (hierro ferroso o férrico, cadmio, cinc, cobre, níquel, y otros) y "X" el número de grupos CN.

Significado Sanitario.

El ion cianuro es muy tóxico, como los cianuros alcalinos simples forman CN⁻ cuando se disocian en soluciones acuosas, como consecuencia presentan una alta toxicidad. Muchos de los cianuros metálicos alcalinos son bastante estables en soluciones acuosas y por lo tanto, poseen escasa o nula toxicidad. Algunos complejos se descomponen y presentan varios grados de toxicidad, dependiendo del metal presente y de la proporción de grupos CN⁻ que se convierten a cianuros alcalinos simples con su CN⁻ tóxico.

Se ha encontrado que la toxicidad de cianuros complejos es debida a la formación del cianuro de hidrógeno no causado por la disociación de complejos de cianuro metálicos.

La disociación constante de diversos complejos metálicos es diferente y por lo tanto, existen grandes diferencias en los efectos tóxicos.

El cianuro en dosis razonable (10 mg o menos) es convertido rápidamente a tiocianato en el cuerpo humano y esta forma es mucho menos tóxica para el hombre.

También ha quedado bien establecido el efecto tóxico del cianuro, aún en concentraciones muy bajas, en la vida acuática.

La toxicidad de los CN varía gradualmente con la calidad del agua (pH, temperatura, O.D.) y por el tipo y tamaño de los organismos. El pH es esencialmente importante, ya que la toxicidad de algunos complejos de cianuro cambia según el grado de disociación encontrada en los cuerpos de agua.

Un contenido total de CN en soluciones no es un índice real de su toxicidad, la cual puede estar influenciada grandemente por los cambios de pH.

Numerosos investigadores han demostrado que la toxicidad de los cianuros libres se incrementa con la reducción de la concentración de oxígenos. La acción tóxica se acelera marcadamente, por el incremento de la temperatura .

Métodos de análisis.

- Método de titulación
- Método colorimétrico
- Método del electrodo de ion específico
- Cianuros susceptibles a la cloración después de la destilación.
- Cianuros totales después de efectuar la destilación.
- Cianuros susceptibles a la cloración sin la destilación
- Método para cloruro de cianógeno.
- Prueba rápida para muestras filtradas.
- Método para cianatos
- Método de tiocianato.

• Método Colorimétrico.

Principio.

El cianuro proveniente del destilado alcalino, se convierte en cloruro de cianógeno, CNCl, por la reacción con cloramina T a pH menor de 8, sin hidrolizarse a cianato. Después de la reacción se termina el cloruro de cianógeno que produce un color rojo-azul por la adición del reactivo ácido barbitúrico-piridina. Si este compuesto colorido se mantiene en solución acuosa, la absorbancia se lee a 578 nm.

Interferencias.

Todas las interferencias son eliminadas o reducidas a un mínimo, mediante la destilación.

Equipo.

- a) Espectrofotómetro para usarse a 578 nm.
- b) matraces volumétricos.

Reactivos.

- a) Solución de cloramina T.
- b) Solución madre de cianuros
- c) Solución patrón de cianuros
- d) Reactivo de ácido barbitúrico-piridina
- e) Fosfato dihidrogenado de sodio IM.
- f) Solución de hidróxido de sodio 0.25N.

Procedimiento.

Preparar la curva de calibración con la solución patrón de KCN; graficar la absorbancia contra las concentraciones de CN⁻ de los patrones en µg.

Con base en la primera curva de calibración, preparar una serie de patrones adicionales que contengan menos de 0.2 y más de 6 µg para determinar los límites detectables con el fotómetro que se use.

Desarrollo del color. Tomar una porción del destilado tal que la concentración de CN caiga en el ámbito de detección y diluir a 20 ml con NaOH 0.25 N. Colocar la porción en un matraz volumétrico de 50 ml. Adicionar 15 ml de la solución reguladora de fosfatos y mezclar. Adicionar 2

ml de la solución de cloramina T y mezclar. Adicionar inmediatamente 5 ml de la solución de ácido barbitúrico-piridina y mezclar bien por inversión. Dejar 8 minutos para que se desarrolle el color.

Medir la absorbancia del color desarrollado a 578 nm en una celda de 1 cm, dentro de los 15 minutos a partir del tiempo en que se adicionó el último reactivo. Usando la curva de calibración y la fórmula se determina la concentración de cianuros en la muestra original.

Cálculos

$$CN = \frac{mg}{l} = \frac{A \times B}{C \times D}$$

donde:

- A** = mg de CN- leídos en la curva de calibración
- B** = ml totales de la solución absorbente del destilado.
- C** = ml de muestra original usados en la destilación.
- D** = ml de solución absorbente usados.

2.2.14 FLUORUROS

Significado Sanitario.

El interés de la Ingeniería Sanitaria en la determinación del fluoruro está enfocado a su remoción de las aguas que lo contengan en exceso y a la necesidad de dosificarlo a niveles óptimos cuando exista su deficiencia.

El mejor procedimiento para asegurar un consumo adecuado de fluoruro es la fluoración del agua potable, medida de protección colectiva, de la que se benefician todos los usuarios que utilizan agua de una red central de abastecimiento para beber o cocinar:

La experiencia adquirida hasta la fecha indica que el agua potable es el mejor vehículo de que se dispone para la fluoración, ya que ningún otro asegura una ingestión de fluor óptima y permanente. Sin embargo, para considerar el nivel óptimo de fluor hay que tomar en cuenta diversos factores como son: variaciones estacionales, variaciones de la temperatura, tipo de zona (templada, tropical), suministros naturales que contengan fluoruro e ingestión de fluoruro de otras fuentes.

Métodos de Análisis

Existen diferentes métodos para la determinación de fluoruros, siendo los más empleados:

- Del electrodo (potenciométrico)
- De SPADNS
- Visual de Alizarina.
- Método de SPADNS (sal tiosódica del ácido 4,5 dihidroxi- 3- (para sulfoteniato)- 2,7 - naphalén disulfónico)

Principio.

Los iones circonio reaccionan con el SPADNS produciendo un complejo de color rojo intenso. Los iones fluoruro reaccionan con el circonio de este complejo, formando un compuesto más estable (ZrF₆), produciendo a su vez, una disminución en la intensidad del color, la cual es proporcional a la cantidad de fluoruros. La velocidad de reacción entre los iones fluoruro y los iones circonio, está influenciada principalmente por la acidez de la mezcla de reacción.

Interferencias.

El cloro residual debe removerse mediante la adición de 1 gota de solución de arsenito de sodio por cada 0,1 mg de cloro.

Si la interferencia es solo la alcalinidad, se puede neutralizar la muestra con ácido clorhídrico. Si la cantidad de sustancia que interfiere en la muestra es suficiente para causar un error de 0.1 mg/l, se debe hacer una destilación.

Equipo.

- a) Espectrofotómetro
- b) Fotómetro de filtro con un paso de luz de 1 cm equipado con un filtro amarillo verdoso con una transmitancia máxima de 550 a 580 nm.

Reactivos.

- a) Solución madre de fluoruros
- b) Solución patrón de fluoruros
- c) Solución de SPADNS
- d) Reactivo de ácido circónico
- e) Solución de referencia
- f) Solución de arsenito de sodio

Procedimiento.

Preparación de la curva de calibración mediante la solución patrón de fluoruros a 50 ml con agua destilada; solución de SPADNS y de ácido circónico.

Calibrar el espectrofotómetro a cero de absorbancia con la solución de referencia y obtener las lecturas de las absorbancias de los patrones, se traza una curva, graficando absorbancia contra concentración de fluoruro.

Preparar una curva cada vez que se preparen nuevos reactivos.

Usar 50 ml de la muestra, ajustar la temperatura de la muestra a la temperatura con la que se hizo la curva de calibración. Adicionar 5 ml de la solución de SPADNS y 5 ml del reactivo de ácido circónico, mezclar bien; leer inmediatamente la absorbancia a una longitud de onda de 570 nm, con el valor obtenido de absorbancia buscar la concentración de fluoruros en la curva de calibración.

Cálculos.

$$\frac{m\%}{l} F = \frac{A}{ml \text{ de muestra}} \times \frac{B}{C}$$

donde:

A = g de F⁻ obtenido en la curva de calibración.

B/C = Se aplica sólo cuando la muestra está diluida a un volumen B y se utiliza una porción C para desarrollar el color.

2.2.15 NITROGENO AMONICAL.

Generalidades

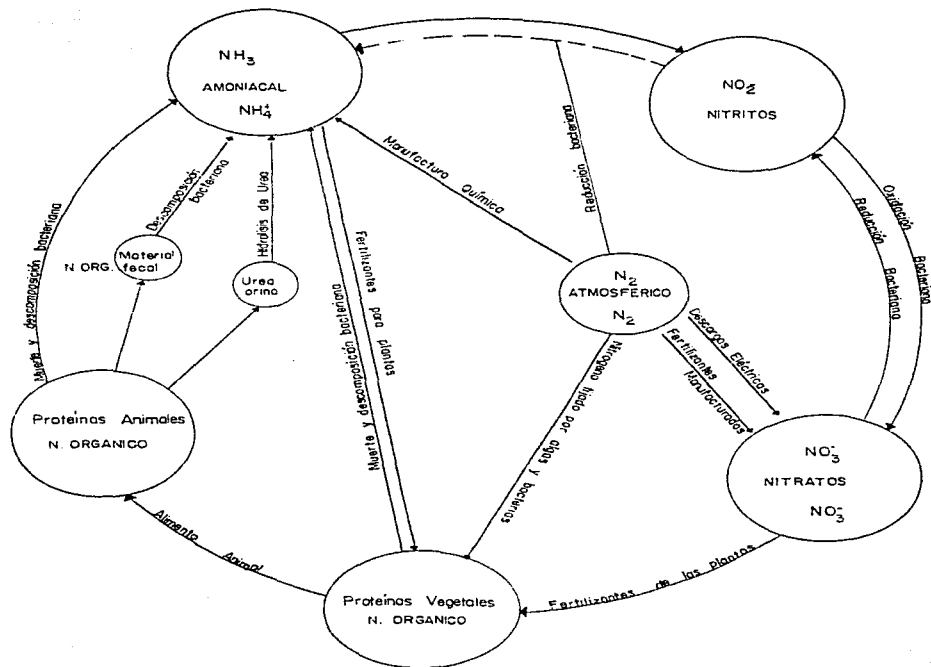
En aguas y aguas de desecho las formas de nitrógeno de mayor interés son, de orden decreciente de estado de oxidación : nitratos, nitritos, amoniacal y nitrógeno orgánico. La figura 2.6 muestra el Ciclo del Nitrógeno

Análíticamente, el nitrógeno amoniacal y el orgánico pueden determinarse juntos y se les denomina como nitrógeno total.

Todas las formas de nitrógeno antes mencionadas, así como el gas nitrógeno, son bioquímicamente interconvertibles y así, son componentes del ciclo del nitrógeno.

El amoniacal esta presente en forma natural en las aguas superficiales y profundas y en aguas de desechos. También puede producirse por la reducción de los nitratos en condiciones anaerobias, las bacterias autotrofas nitrificantes del grupo de las nitrosomonas.

CICLO DEL NITROGENO
FIGURA 2.6



Significado Sanitario.

En algunas plantas de tratamiento de aguas se añade amoníaco para formar un residuo de cloro combinado (cloraminas) durante el proceso de cloración del agua.

En la cloración de los efluentes de aguas residuales que contienen amoníaco, no se obtiene un cloro libre residual hasta que todo el amoníaco se ha oxidado.

Métodos de Análisis.

- Método colorimétrico. (de nesslerización)
- Método colorimétrico. (de fenato)
- Método de titulación.

• Método colorimétrico de nesslerización.

Principio.

Los colores producidos por la reacción Nessler-amoniaco, van del amarillo al café y absorben en un amplio ámbito de longitud de onda el color amarillo característico de bajas concentraciones de nitrógeno amoniacal (20 a 250 μg /50 ml) puede medirse aceptablemente en la región de 400 a 425 nm cuando se usa una trayectoria de luz de 1 cm. El color café-rojizo típico de los niveles de nitrógeno cercanos a 500 μg puede medirse en la región de 450 a 500 nm.

Interferencias.

La glicina, la hidrazina y algunas aminas reaccionan con el reactivo de nessler para dar el color amarillo característico en el tiempo requerido para la prueba.

Algunos compuestos orgánicos como cetonas, aldehídos, alcoholes y algunas aminas pueden formar un color amarillento o verdoso o una turbiedad en la nesslerización posterior a la destilación.

Equipo.

- 1.- Equipo colorimétrico. Espectrofotómetro
- 2.- Pipetas.
- 3.- matraces volumétricos
- 4.- vasos de precipitados
- 5.- Potenciómetro

Reactivos.

- a) Agua libre de amoníaco
- b) Reactivo de Nessler

Procedimiento.

1. Vierta desde 0 y de 0.5 en 0.5 hasta 5.0 ml de la solución de N-NH_3 (1ml = 10 μg) en tubos Nessler de 100 ml.
2. Afore a 50 ml con agua destilada.
3. Agregue 1 ml del reactivo de Nessler
4. Después de 10 minutos para el desarrollo del color, efectúe las lecturas de % de transmitancia a 410 nm.
5. Elaborar la curva patrón, graficando μg de N-NH_3 contra % de transmitancia.
6. Con la muestra proporcionada, efectuar los pasos del 2) al 4) y encuentre la concentración de N-NH_3 en la muestra.
7. Trazar una curva estándar de absorbancia respecto a concentración del nitrógeno.

Cálculos.

Calcular la concentración de las muestras proporcionadas con la siguiente fórmula.

$$\frac{\mu\text{g N}}{l} = \frac{\mu\text{g N de la curva de calibración}}{\text{ml de la muestra}}$$

Los μg de N en cualquiera de sus formas se leen directamente de las curvas patrón.

2.2.16 NITROGENO DE NITRATOS.

Generalidades.

Los nitratos se encuentran en cantidades muy pequeñas en las aguas superficiales, pero pueden alcanzar niveles altos en algunas aguas subterráneas. Son nutrientes esenciales para muchos organismos autótrofos fotosintéticos y en algunos casos se han identificado como nutrientes del crecimiento.

En condiciones aerobias los nitratos son oxidados a nitritos por las bacterias del grupo nitrobacter. En condiciones anaerobias los nitratos se reducen mediante el proceso llamado desnitrificación. La ventaja de la desnitrificación es la eliminación de nitrógeno de los desechos para prevenir el crecimiento indeseable de algas y otras plantas acuáticas en cuerpos de agua receptores.

Significado Sanitario.

En cantidades excesivas provocan la enfermedad llamado metahemoglobinemia infantil. Los nitratos se encuentran sólo en pequeñas cantidades en desechos doméstico, pero en los efluentes de las plantas de tratamiento biológico nitrificante pueden alcanzar concentraciones hasta de 50 mg/l.

Métodos de Análisis.

- Método colorimétrico o brucina.
- Método de la reducción de cadmio
- Método del ácido cromotrópico

♦ Método Colorimétrico.

Principio.

La reacción entre los nitratos y la brucina produce un color amarillo que puede usarse para una estimación colorimétrica de los nitratos. El método es adecuado para aguas cuya salinidades varían de agua dulce a mar. El método se recomienda sólo para ámbito de concentración de 0.1 a 1 mg NO_3^-/l .

Interferencias.

Todos los agentes fuertemente oxidantes o reductores interfieren. La presencia de oxidantes puede determinarse con la adición del reactivo de ortotoluidina.

El hierro ferroso y férrico y el manganeso tetravalente pueden dar interferencias ligeramente positivas sólo en concentraciones mayores a 1 mg/l.

Las interferencias por cloruros se enmascara añadiendo NaCl en exceso.

Altas concentraciones de materia orgánica, como en el caso de los desechos crudos, interfieren usualmente.

Equipo.

- a) Equipo colorimétrico
- b) pipeta de seguridad
- c) Gradillas de alambre
- d) Tubos de reacción

Reactivos.

- a) Solución patrón de nitratos

- b) Solución de ácido fenildisulfónico
- c) Hidróxido de amonio concentrado.

Procedimiento.

1. Vierta desde 0 y de 1.0 en 1.0 hasta 10.0 ml de la solución de $N-NO_3$ (1ml = 10 μg) en tubos Nessler de 100 ml. Diluya con 20 ml de agua destilada, o introducir los tubos en un recipiente con agua fría.
2. Adicione 2 ml de Acido fenildisulfónico y diluya con agua destilada.
3. Agregue 6 ó 7 ml de NH_4OH concentrado, afore a 100 ml con agua destilada.
4. Después de 10 minutos para el desarrollo del color, efectúe las lecturas de % de transmitancia a 410 nm.
5. Elaborar la curva patrón, graficando μg de $N-NO_3$ contra % de transmitancia.
6. Con la muestra proporcionada, efectuar los pasos del 1) al 4) y encuentre la concentración de $N-NO_3$ en la muestra.
7. Trazar una curva estándar de absorbancia respecto a concentración del nitrógeno.

Cálculos.

Se procede igual que para nitrógeno amoniacal.

2.2.17 NITROGENO DE NITRITOS

Generalidades.

Los nitritos están presentes en el agua como compuestos intermedios en los procesos de oxidación o reducción y forman parte del ciclo del nitrógeno. En abastecimientos de agua superficiales, la presencia de trazas de nitritos puede indicar una contaminación. También puede producirse en plantas de tratamiento, en los sistemas de distribución y en los sistemas de enfriamiento como resultado de la reacción de las bacterias, u otros organismos, sobre el nitrógeno amoniacal.

Significado Sanitario.

Los nitritos pueden usarse como inhibidores de la corrosión en sistemas abiertos de circulación de agua de enfriamiento. Una concentración adecuada de nitritos provee una protección satisfactoria de los metales ferrosos aunque no son muy efectivos para prevenir los ataques al cobre y sus aleaciones.

Métodos de Análisis.

- Método de diazotización
- Método colorimétrico

• Método colorimétrico.

Principio.

La concentración de nitritos se determina por la formación de un colorante azoico rojizo-púrpura, que se produce a pH 2.0 a 2.5 por el acoplamiento del ácido sulfanílico diazotizado con el clorhidrato de etilendiamina o naftilamina.

Interferencias.

En muestras es difícil encontrar juntas a nitritos, cloro libre disponible y tricloramina, debido a su incompatibilidad química.

Los siguientes iones interfieren porque precipitan bajo las condiciones de la prueba: antimonio, áurico, bismuto, férrico, plomo, mercurio, plata, cloroplatinato y metavanadato.

Equipo.

- a) Equipo colorimétrico; espectrotómeto
- b) Tubos nessler de 50 ml.

Reactivos.

- a) Agua libre de nitritos
- b) Solución de N-NO₂
- c) Solución de ácido sulfanílico
- d) Solución de clorhidrato de naftilamina
- e) Solución de acetato de sodio

Procedimiento.

1. Vierta desde 0 y de 0.5 en 0.5 hasta 5.0 ml de la solución de N-NO₂ (1ml = 0.5 µg) en tubos Nessler de 50 ml.
2. Aforar a 50 ml con agua destilada.
3. Agregar 1 ml de ácido sulfanílico
4. Esperar entre 3 y 10 minutos y posteriormente, agregar 1 ml de clorhidrato de Naftilamina.
5. Agregar 1 ml de acetato de sodio
6. Después de 10 minutos y antes de 30 minutos, afectar las lecturas de % de transmitancia a 520 nm

7. Elaborar la curva patrón graficando mg de $N-NO_2$ contra % de transmitancia
8. Con la muestra proporcionada efectúe los pasos 2) al 6) y encuentre la concentración de $N-NO_2$ en la muestra.

Cálculos.

Se procede igual que para las determinaciones de nitratos.

2.2.18 NITROGENO ORGANICO.

Generalidades.

El nitrógeno orgánico se define como nitrógeno orgánicamente unido en estado de oxidación trin negativo. Analíticamente, el nitrógeno orgánico y el amoniacal pueden determinarse juntos y se les llama "nitrógeno total" o más correctamente "nitrógeno Kjeldahl", por el método que se utiliza para su determinación.

Significado Sanitario.

Los análisis del nitrógeno en sus diferentes formas se han practicado en aguas potables y contaminadas. Durante mucho tiempo estos análisis fueron la base de juicio para determinar la calidad sanitaria del agua. Hoy en día, los análisis del nitrógeno se efectúan por diferentes razones. Se sabe que las aguas contaminadas tienen el poder de la autopurificación en un determinado periodo de tiempo. Las posibilidades de contraer enfermedades por la ingestión de estas aguas decrecen con el tiempo, y el aumento de la temperatura, como se muestra en la figura 2.7

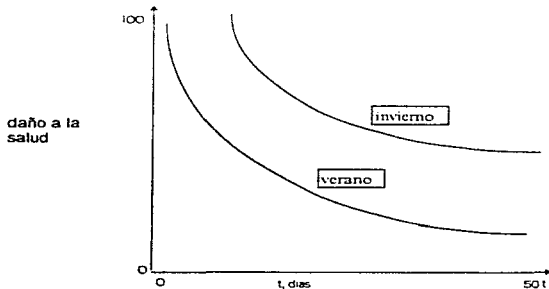


figura 2.7
Relación existente entre el daño a la salud y el tiempo de contaminación.

Los trabajos químicos con aguas de desecho domésticas y aguas recién contaminadas, muestran que la mayor parte del nitrógeno está presente originalmente en forma de nitrógeno orgánico (proteínas) y amoniacal. A medida que pasa el tiempo el nitrógeno orgánico se convierte en amoniacal y posteriormente, si se encuentran condiciones aerobias, se oxida a nitritos y nitratos figura 2.8. Así, se considera que las aguas que contienen nitrógeno orgánico y amoniacal se han contaminado recientemente y por lo tanto, son un peligro potencial para la salud, mientras que las

aguas con nitrógeno en forma de nitratos se han contaminado mucho tiempo atrás y ofrecen poco peligro para la salud.

Todos los procesos de tratamiento biológico dependen de la reproducción de los organismos empleados, por lo que es importante conocer si el desecho contiene suficiente nitrógeno para aquellos, mediante un análisis de nitrógeno orgánico y amoniacal.

El nitrógeno es importante también como elemento fertilizante esencial para el crecimiento de algas; los análisis de nitrógeno sirven para controlar este crecimiento y evitar una sobrepopulación de algas en cuerpos de agua receptores de desechos domésticos y efluentes de plantas de tratamiento.

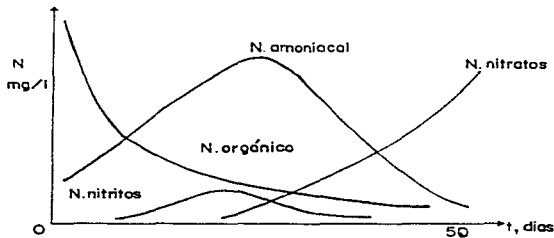


figura 2.8

Transformaciones de las formas de nitrógeno presentes en agua contaminada, bajo condiciones aerobias.

Métodos de Análisis.

- Método Kjeldhal
- Método colorimétrico

♦ Método Kjeldhal.

Principio

En presencia de ácido sulfúrico, sulfato de potasio y catalizador de sulfato mercurico, el nitrógeno amino de muchos compuestos orgánicos se convierte a sulfato de amonio. Una vez que el complejo mercurio-amonio en la mezcla digerida se ha compuesto por el tiosulfato de sodio, el amoniacal se destila de un medio alcalino y se absorbe en ácido bórico. El amoniacal se determina colorimétricamente o por titulación con un ácido mineral valorado.

Interferencias.

Las mismas que para nitrógeno amoniacal.

Equipo.

- a) Aparato de digestión
- b) Aparato de destilación.
- c) Equipo colorimétrico
 - 1) Espectrofotómetro
 - 2) Fotómetro de filtro
 - 3) Tubos nessler de 50 ml.

Reactivos.

Todos los reactivos anotados en la sección 2.2.15, además de los siguientes:

- a) Reactivo para la digestión

- b) Solución de indicador de fenofaleina
- c) Reactivo de hidróxido de sodio
- d) Solución amortiguadora de boratos.
- e) Hidróxido de sodio, NaOH, 6N

Procedimiento.

a) selección del volumen de muestra.- Colocar un volumen conocido de muestra en un matraz Kjeldhal de 800 ml. Determinar el volumen de muestra por el siguiente cuadro:

Nitrógeno orgánico en la muestra		Volumen de la muestra
mg/l		ml
0 - 1		500
1 - 10		250
10 - 20		100
20 - 50		50
50 - 100		25

Si es necesario, diluir la muestra a 300 ml y neutralizar a pH 7.

- b) Eliminación de amoníaco.
- c) Digestión.
- d) Destilación.
- e) Determinación final de amoníaco.
- f) Testigo

Cálculos

$$\frac{mg}{l} \text{ de } N \text{ orgánico} = \frac{A \times 1000}{ml \text{ de la muestra}} \times \frac{B}{C}$$

- donde:**
- A = mg N encontrados coloriméricamente
 - B = ml totales del destilado recolectado incluyendo el H₃BO₃
 - C = ml del destilado tomados para la nesslerización.

2.2.19 OXIGENO DISUELTO.

Generalidades.

Tanto el nitrógeno como el oxígeno, están clasificados como gases poco solubles, y como no reaccionan químicamente con el agua, su solubilidad está en función de sus presiones parciales de vapor saturado y de la temperatura a la cual se encuentra el agua. En general existen tres factores que afectan la concentración de oxígeno disuelto en un cuerpo de agua natural, que son: presión atmosférica, temperatura y salinidad o contenido de sólidos disueltos.

La solubilidad del oxígeno atmosférico en agua dulce varía desde 14.6 mg/l a 0°C hasta 7 mg/l a 36°C, bajo una atmósfera de presión. Este es un factor muy importante, pues la oxidación biológica aumenta con la temperatura y por consiguiente la demanda de oxígeno.

La solubilidad del oxígeno atmosférico varía directamente con la presión atmosférica a cualquier temperatura y sigue el comportamiento de los gases ideales, pudiéndose calcular por medio de la ley de Henry.

La baja solubilidad del oxígeno en el agua es el factor principal que limita la capacidad de autopurificación de las aguas naturales, de ahí la necesidad que existe por dar tratamiento a los desechos líquidos tanto domésticos como industriales.

Significado Sanitario.

En los desechos líquidos el oxígeno disuelto es el factor que determina el tipo de transformaciones biológicas que tienen lugar en su seno, efectuadas por microorganismos aerobios y anaerobios, según haya presencia o ausencia de oxígeno disuelto.

La presencia del oxígeno disuelto previene o reduce el inicio de la putrefacción y la producción de cantidades objetables de sulfuros, mercaptanos y otros compuestos de mal olor, ya que los microorganismos aerobios usan el oxígeno disuelto para la oxidación de la materia orgánica e inorgánica produciendo substancias finales inofensivas tales como dióxido de carbono y agua; en cambio los microorganismos anaerobios efectúan la oxidación utilizando el oxígeno disuelto de ciertas sales inorgánicas, obteniendo productos malolientes.

Los niveles de oxígeno disuelto pueden usarse como indicadores de la contaminación excesiva por desechos, en base a la demanda de oxígeno de tales desechos y por consiguiente las concentraciones bajas de oxígeno disuelto se asociarán, en general, con aguas de baja calidad, mientras que las concentraciones altas estarán asociadas con la buena calidad.

El oxígeno disuelto también es esencial para la estabilización final de las aguas de desecho. Así se puede ver que las mediciones de oxígeno disuelto son vitales para conocer las condiciones (aerobias y anaerobias) de las aguas naturales que reciben materia de desecho.

Métodos de Análisis.

- Método Empírico
- Método iodométrico de Winkler
- Método electrométrico
- ♦ Método Winkler.

Principio

El método para determinar el oxígeno disuelto, más usado en el campo y en su caso en el laboratorio, es el método Winkler modificado; el cual se describe a continuación.

Este análisis se basa en la determinación de una solución divalente de manganeso, seguida de una fuerte alcalinización. El Oxígeno Disuelto presente en la muestra oxida rápidamente una cantidad equivalente del hidróxido de manganeso disperso pasando a hidróxidos en estados de valencia mayores, formando un precipitado café. En presencia de iones yoduro y seguido de una acidificación, el manganeso oxidado vuelve al estado divalente con la liberación de iodo, en una cantidad equivalente al contenido original de oxígeno disuelto en la muestra. El iodo se titula con la solución valorada de tiosulfato de sodio, usando almidón como indicador.

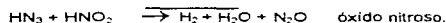
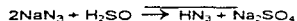
Interferencias.

- a) sustancias oxidantes y reductoras.- Ciertos oxidantes liberan iodo de losioduros (interferencia positiva) y algunos agentes reductores, reducen iodo a yoduro (interferencia negativa)
- b) Ciertos compuestos orgánicos interfieren con la prueba, impidiendo la sedimentación del precipitado manganeso oxidado y por el parcial oscurecimiento en el punto final de la titulación iodométrica con el indicador de almidón.

Se han desarrollado varias modificaciones del método Winkler original con el fin de eliminar o compensar las interferencias. Por lo general todas las aguas contienen compuestos nitrogenados, los cuales alteran los resultados. Esta liberación de iodo nos altera el valor. Para evitar el error anterior se usa la modificación de Alsterberg al método Winkler.

Esta modificación, consiste en agregar Azida de Sodio (NaN₃) al reactivo alcali-ioduro, para formar el alcali-ioduro-nitruro.

La Azida nos impide la interferencia de los compuestos nitrogenados de la siguiente forma:



Equipo.

- a) Balanza analítica
- b) Frascos de reactivos
- c) Frascos de 300 ml, especiales para DBO
- d) Bureta graduada de 25 ml
- e) Soporte metálico
- f) Pinzas para bureta
- g) Pipetas Mohr de 10 ml
- h) Pipetas volumétricas de 100 ml
- i) Matraces de 250 ml.

Reactivos.

- a) Solución de Sulfato Manganoso
- b) Reactivo de álcali-ioduro-azida
- c) Acido sulfúrico concentrado
- d) Solución de almidón
- e) Solución madre de tiosulfato de sodio, 0.1N
- f) Solución valorada de tiosulfato de sodio, 0.025 N

Procedimiento.

Existen dos métodos básicos para la fijación del oxígeno disuelto en el campo.

a) Para muestras sin demanda de iodo.- Se adicionan a la botella de DBO conteniendo la muestra 2 ml. de sulfato manganoso ($MnSO_4$) con una pipeta graduada, cuidando que la punta de la misma penetre aproximadamente 0.5 cm. en el seno del agua. A continuación se agregan 2 ml del reactivo álcali-ioduro, hidróxido de sodio ($NaOH$), y yoduro de sodio (NaI). La adición se hace de la misma forma que el reactivo anterior. Al Hacer esta adición se forma un precipitado café si hay oxígeno disuelto; en el caso contrario el precipitado será blanco.

Una vez agregado el álcali-ioduro, se tapa la botella de DBO rápidamente y se agita vigorosamente durante 30 segundos, después de lo cual se deja sedimentar el precipitado. Finalmente se adicionan 2 ml. de ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4) y se agita hasta la total disolución del precipitado. Con esto el oxígeno disuelto queda fijado.

La titulación se efectúa con tiosulfato de sodio ($Na_2S_2O_3$) 0.025 N, usando una solución de almidón como indicador. También se puede utilizar óxido de fenilarsina (PAO) como titulante.

Cálculos.

$$\frac{mg}{l} \text{ de OD} = \frac{Vol. \text{ tiosulfato utilizado} \times N \text{ S000}}{Vol. \text{ de la muestra}}$$

$$ppm \text{ de OD} = \frac{ml \text{ tiosulfato utilizado} \times N \times Eq \times 1000}{Vol. \text{ de la muestra}}$$

donde: N = normalidad tiosulfato
Eq. = peso equivalente de oxígeno

Corrección por la adición de reactivos

a) Reactivos agregados = 4 ml (2 ml de sulfato manganoso + 2 ml de álcali-ioduro-azida) en 300 ml de muestra original.

b) Para muestras con alta demanda de iodo ó contenido de ion ferroso.- Se agrega a la botella de DBO conteniendo en la muestra, 0.7 ml de H_2SO_4 , concentrado y 1 ml. de azida de sodio (2 gr. de NaN_3 en 100 ml. de agua destilada) teniendo las mismas precauciones que para el método anterior.

Almacenar las botellas en hielo y a la obscuridad, hasta el momento de concluir el análisis, tiempo que no debe exceder de 6 horas.

2.2.20 FOSFATOS.

Generalidades.

El fósforo se encuentra presente en las aguas naturales y en las de desecho de diversas formas, como ortofosfato, fosfato hidrolizado o condensado o como parte de compuesto orgánico. Pueden presentarse en forma soluble, en partículas de detritos, en los organismos acuáticos y en los sedimentos de los cuerpos de agua.

Las diversas formas de fosfatos provienen de una gran variedad de fuentes, como son:

1. Aguas de retorno agrícola.
2. Escurrimientos superficiales.
3. Aguas de desecho de origen doméstico que contengan:
 - a) Residuos humanos, animales y vegetales
 - b) Detergentes, los cuales contienen de un 25 a 45% de diversas formas de compuestos
 - c) Microorganismos y otras masas celulares como son los residuos de alimentos.
4. Aguas de desecho industrial relacionadas con:
 - a) Procesos de control de corrosión
 - b) Aditivos usados en el control de las incrustaciones
 - c) Detergentes
 - d) Algunos procesos químicos.

Significado Sanitario.

El fósforo es un elemento que tiene interferencia en los estudios de calidad del agua, debido a que influyen sobre los procesos de productividad acuática, baja la eficiencia de los procesos de coagulación de tratamiento de aguas, es difícil removerlo mediante tratamientos convencionales para obtener concentraciones bajas, forma gran variedad de compuestos y posee la característica de cambiar de una forma a otra forma en determinadas condiciones.

El fósforo forma parte de los nutrientes primarios; si bien los nutrientes por sí mismos, normalmente, no son tóxicos o peligrosos, pueden causar un crecimiento excesivo de algas y malezas en un cuerpo de agua. Estos crecimientos desmesurados pueden perjudicar el uso que tenga el cuerpo de agua.

El crecimiento de fitoplación puede causar problemas de olor y sabor en los sistemas de abastecimiento de agua, puede ocluir los filtros utilizados para remover sólidos, aumenta el índice de turbiedad e imparte un determinado color en el agua.

Métodos de Análisis.

- Métodos de digestión.
 - Método del ácido perclórico
 - Método del ácido sulfúrico-ácido nítrico
 - Método de oxidación con persulfato
 - Métodos colorimétricos.
 - Método de ácido vanadomolibdico.
 - Método del cloruro estannoso
 - Método de ácido ascórbico
- ♦ Métodos Colorimétricos del ácido fosfovanado molibdico.

Principio

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

En una solución diluida de ortofosfatos, el molibdato de amonio reacciona por las condiciones ácidas para formar el ácido molibdofosfórico, el cual presencia del vanadio, forma el ácido fosfovanadomolibdico de color amarillo. La intensidad del color amarillo es proporcional a la concentración del fosfato en la solución.

Interferencias.

La sílice y el arsénico causan interferencias positivas, sólo si la muestra se calienta. Las interferencias negativas son causadas por arsenatos, fluoruros, torio, bismuto, sulfuro, tiosulfato, tiocianato. El color azul es causado por el ion ferroso pero éste no afecta los resultados si el Fe(II) se encuentra en concentraciones menores de 100 mg/l.

Equipo.

- a) Espectrofotómetro
- b) Celdas, pipetas graduadas, vasos de precipitados, embudo
- c) Agitador magnético y magnetos
- d) Tubos Nessler y gradilla, matraces Erlenmeyer

Reactivos.

- a) Acido clorhídrico concentrado
- b) Carbón activado
- c) Reactivo vanadio-molibdato
- d) Solución indicadora de fenoltaleina
- e) Solución patrón de fosfatos

Procedimiento.

- a) Ajustar el pH de la muestra, si éste no está entre 4 y 10.
- b) Remoción del color en la muestra.- Eliminar cualquier exceso de color presente en la muestra, por agitación de aproximadamente 50 ml de ésta con 200 mg de carbón activado en un matraz Erlenmeyer durante 5 minutos. Filtrar la muestra.
- c) Desarrollo del color en la muestra.- Colocar 35 ml de muestra en un matraz volumétrico de 50 ml. Adicionar 10 ml de reactivo de vanadio-molibdato y diluir a la marca con agua destilada. Preparar un testigo con agua destilada y darle el mismo tratamiento que a la muestra. Diez minutos o más después de adicionar el reactivo de vanadio-molibdato, medir la transmitancia de la muestra a una longitud de onda de 400 a 490 nm (nanómetros), dependiendo de la sensibilidad deseada.
- d) Preparación de la curva de calibración.- Trazar varias curvas de calibración de una serie de soluciones patrón para diferentes longitudes de onda. Esto permite un amplio ámbito de concentraciones en una serie de determinaciones, analizar por lo menos un patrón con cada conjunto de muestras.

Cálculos.

$$\frac{\text{mg}}{\text{l}} P = \frac{\text{mg } P \text{ leídos en la curva} \times 1000}{\text{ml de muestra}}$$

donde:

- A = ml de titulación para la muestra
B = ml de titulación para el blanco, (positivo o negativo)
N = normalidad del $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$.

2.2.21

SILICE

Generalidades

La sílice puede estar presente en el agua en dos formas que son la cristaloides y la coloidal. En la forma coloidal, la sílice no está en solución sino en suspensión como partículas finamente divididas; en esta forma puede ser removida usualmente por coagulación y filtración. Sin embargo en la forma cristaloides o soluble, es extremadamente difícil de remover y es entonces que ocasiona las mayores dificultades por la formación de escamas.

En análisis de aguas la sílice convencionalmente se expresa como dióxido de silicio (SiO_2).

La sílice es el segundo elemento más abundante encontrado en la tierra y por lo tanto, en cualquiera de sus muchos compuestos se encuentra en mayor o menor cantidad en todas las aguas naturales.

El contenido de sílice de las aguas naturales varía considerablemente dependiendo de la localidad. En aguas con baja dureza y alta alcalinidad el contenido de sílice es mas alto que en otro tipo de aguas.

Significado Sanitario.

La sílice puede ocasionar problemas por la formación de escamas de silicatos de calcio y magnesio en los equipos en que se utiliza el agua como intercambiadora de calor o en sistemas de enfriamiento para recirculación de ésta.

La sílice ocasiona seros problemas al depositarse materiales silíceos en las hojas de las turbinas y en los serpentines, provocando pérdidas en la eficiencia de éstos.

Métodos de Análisis.

- Método Gravimétrico
- Método del Molibdosilicato

• Método Gravimétrico

Principio.

El ácido clorhídrico descompone a los silicatos y a la sílice disuelta para formar ácidos silícicos que se precipitan como sílice parcialmente deshidratada durante la evaporación y calcinación. La ignición completa la deshidratación de la sílice, la que se pesa y después se volatiliza como tetrafluoruro de silicio dejando las impurezas como residuos no volátiles. El residuo se pesa y la sílice se determina como la pérdida por volatilización.

Interferencias.

Evítase el uso de cristalería pues puede contribuir con alguna cantidad de sílice. Utilícese agua con bajas concentraciones de sílice. Siempre deberá efectuarse la determinación de un testigo para corregir el error por introducción de sílice por los reactivos y el equipo usados.

Equipo.

- a) Crisoles de platino, con cubierta
- b) Cápsulas de platino para evaporación, de 200 ml.
- c) Cápsulas de porcelana

Reactivos.

- a) Acido clorhídrico, HCL, 1+1 y 1+50
- b) Acido sulfúrico, H_2SO_4 , 1+1
- c) Acido fluorhídrico, HF, 48%
- d) Acido perclórico, HClO_4 , 72%

Procedimiento.

- a) Deshidratación con ácido clorhídrico:

1) Evaporación de la muestra.- A una muestra que contenga por lo menos 10 mg de sílice, añadir 5 ml de HCL 1+1. Evaporar a sequedad en cápsulas de platino de 200 ml. Durante la evaporación, añadir un total de 15 ml de HCL 1+1 en varias porciones. Cuando la cápsula esté seca, calcinar durante media hora.

2) Primera filtración.- Añadir 5 ml de HCL 1+1 tibio, al residuo en la cápsula y 50 ml de agua destilada caliente, filtrar la suspensión, decantando la máxima cantidad posible de líquido. Lavar la cápsula y el residuo con HCL+ 50 caliente y después con agua destilada.

3) Segunda filtración.- Evaporar el filtrado y los lavados de la operación anterior hasta sequedad en la cápsula original y secar el residuo en un horno a 110°C. Repetir los pasos del inciso anterior.

4) Ignición.- Transferir los dos filtros y residuos a un crisol de platino con cubierta, secar a 110 °C y calcinar a 1,200 °C hasta peso constante. Enfriar en un desecador, pesar y repetir la calcinación hasta que se obtenga peso constante.

5) Volatilización con ácido fluorhídrico.- Humedecer perfectamente el residuo en el crisol con agua destilada, añadir 4 gotas de H₂SO₄, 1+1 y 10 ml de HF, midiendo éste en una probeta graduada, evaporar la mezcla lentamente hasta sequedad sobre un baño de aire, calcinar el crisol hasta peso constante a 1,200 °C. Anotar el peso del crisol y contenido.

b) Deshidratación con ácido perclórico. Seguir el procedimiento anterior usando el ácido perclórico.

Cálculos.

Restar el peso del crisol y su contenido después del tratamiento con HF, del peso correspondiente antes del tratamiento. La diferencia A, en miligramos, es la "perdida por volatilización" y representa a la sílice:

$$\frac{mg}{l} SiO_2 = \frac{A \times 1000}{ml \text{ de muestra}}$$

2.2.22 SULFATOS

Generalidades

Los iones sulfatos son muy frecuentes en las aguas naturales debido al poder de disolución que tiene el agua sobre los minerales contenidos en la corteza terrestre. Su concentración puede variar desde cantidades muy pequeñas hasta gramos por litro.

Los sulfatos ocupan un lugar predominante dentro del ciclo natural del azufre, dado que la mayoría de las transformaciones que en él ocurren son oxidaciones o reducciones que originan esta unión. Muchos compuestos orgánicos contienen azufre, durante el tratamiento aerobio de tales compuestos, la completa oxidación o catabolismo conduce a liberar el azufre como ión sulfato.

Significado Sanitario

los sulfatos de sodio y magnesio ejercen una acción catártica (laxante), y por lo tanto su presencia en las aguas de consumo debe estar limitada. Su presencia puede ser perjudicial debido a que puede formar incrustaciones en calderas, intercambiadores de calor y en equipos de enfriamiento. El concreto en contacto con aguas de altas concentraciones de sulfatos, se deteriora debido a ciertos cambios químicos que inducen a la formación de cristales de sulfatoaluminato.

En ausencia de oxígeno disuelto y nitratos, los sulfatos sirven como fuente de oxígeno para las oxidaciones bioquímicas ocasionadas por bacterias anaerobias; en estas condiciones, el ión sulfato puede reducirse a ion sulfuro, el cual establece un equilibrio con el hidrógeno y el ácido sulfhídrico (de un olor muy desagradable). Cuando el pH es menor de 8 el equilibrio se desplaza rápidamente hacia la formación del ácido sulfhídrico no ionizado; bajo tales condiciones la presión parcial del sulfuro de hidrógeno viene a ser lo suficientemente grande para causar serios problemas de olor, siempre que la reducción del ion sulfato produzca una cantidad apreciable de ion sulfuro.

Métodos de Análisis.

- Análisis Volumétrico
- Análisis Gravimétrico
- Análisis Turbidimétrico.

◆ **Método gravimétrico con ignición de residuo.**

Principio.

Los sulfatos se precipitan en medio ácido como sulfato de bario por la adición de cloruro de bario; la formación del compuesto se realiza a una temperatura cercana a la ebullición. Una vez que se forma el precipitado se deja digerir, se filtra, se lava hasta que no haya presencia de cloruros y se pesa.

Interferencias.

Las interferencias que conducen a resultados elevados se deben a la materia suspendida, la sílice, el cloruro de bario, los nitratos, los sulfitos, y el agua que ocluye en los cristales formados.

Equipo.

- a) Estufa de laboratorio con termostato
- b) Mufla con indicador de temperatura
- c) Desecador
- d) Balanza analítica
- e) Filtros de papel, que puedan lavarse con ácido

Reactivos.

- a) Solución indicadora de rojo de metilo.
- b) Acido clorhídrico, HCL 1+1
- c) Solución de cloruro de bario
- d) Reactivo de ácido nítrico-nitrato de plata

Procedimiento.

- a) Remoción de sílice.
 - b) Precipitación de sulfato de bario.- Se ajusta la muestra para que tenga una concentración aproximada de 50 mg de sulfatos en 250 ml de agua destilada. Se ajusta el pH hasta obtener un valor entre 4,5 y 5; posteriormente se adicionan 2 ml de HCL. Se calienta la solución hasta la ebullición y mientras se agita lentamente se le añade el reactivo de cloruro de bario hasta completar la precipitación, más dos mililitros de exceso. El precipitado se lleva a digestión a una temperatura que oscile entre 80 y 90°C durante por lo menos 2 horas.
 - c) Filtración y peso del precipitado.- Se mezcla una pequeña cantidad de fibra de papel con BaSO₄ formado y se filtra a través de un papel filtro a la temperatura ambiente. La pulpa mejora el proceso de filtración y reduce la tendencia que tiene el precipitado de ser arrastrado por la solución de lavado. El precipitado se lava con pequeñas porciones de agua destilada caliente hasta que quede libre de cloruros, indicado por la prueba de reactivo ácido nítrico-nitrato de plata. El filtro se seca y posteriormente se coloca dentro de una mufla a 800°C durante una hora. Por último el precipitado se enfria en un desecador y se pesa.

$$\frac{mg}{l} SO_4 = \frac{mg BaSO_4 \times 411.5}{ml de muestra}$$

2.2.23 SULFUROS

Generalidades.

Los sulfuros se presentan a menudo en manantiales, aguas subterráneas, aguas superficiales y en algunas descargas de aguas residuales. La ocurrencia del sulfuro de hidrogeno puede estar asociada con los procesos de putrefacción de suelos, lo cual es indeseable por razones de higiene.

Los sulfuros se generan en las alcantarillas que son deficientes de oxígeno, debido a la acción que ejercen algunas bacterias sobre los sulfatos contenidos en las aguas residuales.

Significado Sanitario.

El sulfuro de hidrógeno, tiene un olor muy desagradable y puede ser detectado cuando su concentración oscila entre 0.00001 y 0.0001 mg/l. Aún en pequeñas cantidades, le puede impartir al agua un carácter corrosivo y en concentraciones elevadas, tiende a reaccionar con el fierro, el acero, el plomo y sus aleaciones.

En los sistemas de distribución de agua el deterioro de la calidad del agua por corrosión es más común en los extremos: en esos lugares donde se acumula los productos de la corrosión y es también donde puede haber ausencia de oxígeno.

Altas concentraciones de sulfuros solubles (mayores a 100 mg/l) producen efectos tóxicos en los procesos de tratamiento anaerobio de aguas residuales.

Métodos de Análisis.

- Método Volumétrico (iodométrico)
- Método Colorimétrico (visual)
- Método Colorimétrico (espectrofotómetro)

♦ **Método Colorimétrico**

Principio.

Este método está basado en la reacción de la para-amino-demetil-anilina, el cloruro férrico y el ion sulfuro, formando un complejo que se conoce como azul de metileno. Este procedimiento analítico se recomienda cuando la concentración de sulfuros se encuentra entre 0.02 y 20 mg/l, porque se obtiene una sensibilidad mayor.

Equipo.

- a) Tubos de Nessler de 125 mm de largo y 15 mm de diámetro
- b) Goteros que viertan 20 gotas por cada mililitro
- c) Espectrofotómetro

Reactivos.

- a) Solución madre de amina- ácido sulfúrico
- b) Reactivo amina- ácido sulfúrico
- c) Solución de cloruro férrico
- d) Solución de fosfato ácido de diamonio
- e) Solución de azul de metileno.

Procedimiento.

a) Desarrollo del color.- Colocar 7.5 ml de muestra en cada uno de los tubos de comparación. Añadir al tubo A 0.5 ml del reactivo amina H_2SO_4 y 0.15 ml (3 gotas) de la solución de cloruro férrico. Se mezclan los reactivos lentamente, junto con la muestra. Al tubo B se le agregan 0.5 ml de H_2SO_4 1+1 y 0.15 ml (3 gotas) de la solución de cloruro férrico. La presencia del ion sulfuro, estará indicada por la aparición del color en el tubo A; el cual se desarrolla completamente al término de un minuto. Después de esperar 5 minutos se añade a cada tubo 1.6 ml de una solución de fosfato diamónico. Se espera 15 minutos para proceder a comparar colores.

b) Determinación del color.

1) Visualmente.

2) Fotométricamente.

Se prepara una curva de calibración basándose en las pruebas colorimétricas que se efectúan con las soluciones de Na_2S , analizadas simultáneamente por medio de una titulación iodométrica. Graficando la concentración contra la absorbancia, se obtiene una línea recta en un ámbito de 1 a 1.0 mg/l. se calibra a cero el instrumento con una porción de la muestra tratada, proveniente del tubo B. El límite máximo de la determinación corresponde a una concentración de 20 mg/l.

2.3 ANALISIS BIOLÓGICOS

Al tocar este tema, debe reconocerse que la valoración del riesgo de contraer enfermedades transmitidas por el agua es en asunto complicado. No puede valorarse simplemente determinando la presencia o ausencia de patógenos. La probabilidad de ser víctima de una enfermedad transmitida por el agua es una pregunta estadística relacionada con muchas variables, especialmente con el tipo y el número de patógenos ingeridos.

Los análisis para determinar la materia orgánica en aguas limpias y residuales pueden clasificarse en dos tipos generales de medidas: las que determinan cuantitativamente una cantidad conjunta de materia orgánica que consta de componentes orgánicos con una característica común y las que determinan cuantitativamente compuestos orgánicos individuales.

Los análisis de la materia orgánica se efectúan para evaluar la concentración y la composición general de la materia orgánica presente en los suministros de agua sin depurar, en las aguas residuales, en los efluentes tratados y en las aguas receptoras y para determinar la eficacia de los métodos de tratamiento.

2.3.1 DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (D.B.O.)

Generalidades.

La demanda bioquímica de oxígeno de una agua negra o contaminada, es la cantidad de oxígeno requerida por la materia orgánica para su descomposición biológica en condiciones aerobias en un tiempo y a una temperatura determinada. El agua muy contaminada no contiene el oxígeno suficiente en solución para mantener condiciones aeróbicas durante la descomposición y autopurificación.

La determinación de la demanda bioquímica de oxígeno (D.B.O.) es una prueba empírica en la que se utilizan procedimientos estandarizados de laboratorio para determinar los requerimientos relativos de oxígeno de las aguas residuales, efluentes y contaminadas. La prueba tiene su aplicación más extendida en la determinación de las cargas residuales en las instalaciones de tratamiento y en la evaluación de la eficacia de extracción de la D.B.O. de tales sistemas de tratamiento. Esta prueba se utiliza para determinar la contaminación de desechos domésticos e industriales en términos del oxígeno disuelto y se utiliza también para evaluar la capacidad de purificación de un cuerpo receptor o la eficiencia de una planta de tratamiento.

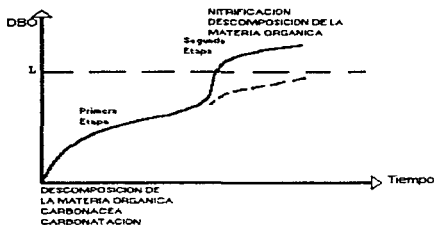
Importancia Sanitaria.

La prueba mide el oxígeno utilizado, durante un periodo de incubación especificado, para la degradación bioquímica de materia orgánica (requerimiento de carbono), y el oxígeno utilizado para oxidar materia orgánica, como los sulfuros y el ion ferroso. Puede medir también el oxígeno utilizado para oxidar las formas reducidas del nitrógeno (requerimiento de nitrógeno) a menos que se impida la oxidación por medio de un inhibidor. Los procedimientos de siembra y disolución (dilución) proporcionan una valoración de la D.B.O. a un pH entre 6.5 y 7.5.

La cantidad consumida de O.D. conforme al tiempo, da como resultado una gráfica como la que muestra la figura 2.9

La DBO varía tanto con el tiempo como con la temperatura a la que se somete la prueba con la misma cantidad de materia orgánica; a mayor temperatura es más activa la descomposición y a

menor temperatura la misma cantidad de materia orgánica se va descomponiendo más lentamente, consumiendo por lo tanto menor cantidad de oxígeno. Por tal motivo se especifica para la prueba un tiempo y una temperatura fijos que son 5 días y 20 °C respectivamente.



EN LA CURVA TÍPICA SE MARCAN DOS ETAPAS: LA PRIMERA MUESTRA COMO SE SATISFACE LA DBO DE LA MATERIA CARBONACEA; LA SEGUNDA MUESTRA COMO TIENE LUGAR LA NITRIFICACION.

FIGURA 2.9 CANTIDAD DE OXÍGENO CONSUMIDO CON RESPECTO AL TIEMPO

A 20 °C la demanda de oxígeno de las bacterias nitrificantes comienza entre los 8 y 10 días, pasando el nitrógeno a la forma de amoniaco, ácido nítrico y ácido nítrico en cantidades que introducen serios errores en trabajos de DBO.

La primera fase o etapa de la DBO se apeg a una ley matemática exponencial en que la velocidad de consumo de oxígeno en cualquier instante, es directamente proporcional a la cantidad de materia orgánica oxidable presente.

Las características químicas del agua tal como los fosfatos y cloruros, tienen un efecto muy pronunciado en el avance del proceso correspondiente a la segunda etapa.

La demanda de oxígeno de las aguas contaminadas tienen su origen en tres factores principalmente:

1. Materiales orgánicos carbonosos que son usados como alimento por organismos aerobios.
2. Materiales nitrogenados oxidables derivados de compuestos de nitritos, amoniaco, y nitrógeno orgánico y que son usados como alimento para determinadas bacterias.
3. Compuestos químicos reductores como hierro ferroso, sulfitos y sulfuros que reaccionan con el oxígeno molecular disuelto.

Cuando se manejan aguas negras domésticas crudas o tratadas, la demanda de oxígeno se debe a la primera clase de organismos.

En cuanto a la primera etapa, si se considera que la cantidad de materia orgánica oxidable a cualquier tiempo y a la temperatura constante es proporcional al consumo de oxígeno o lo que es lo mismo, a la cantidad de reacción de DBO, se puede expresar en forma diferencial de la siguiente manera:

$$-\frac{dc}{dt} = kc$$

donde:

c = concentración de materia orgánica oxidable al principio del intervalo t.

k = constante de proporcionalidad de la reacción.

Esta es una reacción de primer orden en donde la rapidez de reacción depende exclusivamente de la concentración de materia orgánica. Se ha visto que es más sencillo determinar la cantidad de oxígeno que se está consumiendo en cierto momento, que conocer la cantidad de materia orgánica que se tiene (figura 2.10); por lo tanto, ya que se trata de un consumo (-) a partir del máximo (L):

$$-\frac{dl}{dt} = kL$$

que representa la proporción a la que la materia orgánica contaminante es degradada.

L = demanda máxima de oxígeno primera etapa, también denominada demanda última de oxígeno (DBOu).

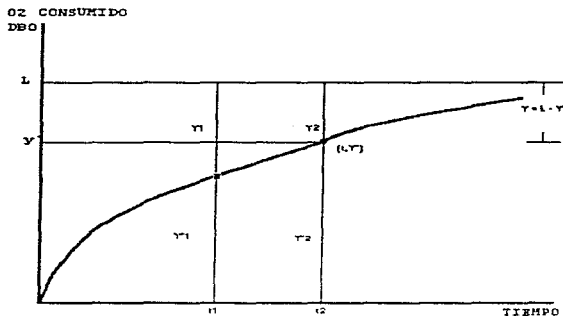


FIGURA 2.10 DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO

Para la evaluación de la DBO total de la primera etapa o sea " L " a partir de valores calculados de la DBO de 5 días, es necesario conocer el valor de la constante de rapidez de reacción k o k' , ya que varía con la naturaleza de la materia orgánica, con la habilidad de los organismos presentes para utilizarla y con la temperatura.

El valor de " k " así como el de " L " pueden ser evaluados por distintos métodos, partiendo de un conjunto de observaciones de la DBO a ciertos tiempos; entre estos existen soluciones que van desde el empleo de nomogramas hasta soluciones teóricas exactas.

La velocidad de reacción aumenta con la temperatura; un regla aproximada para los fenómenos químicos es que se duplica por cada aumento de 10°C .

Métodos de análisis.

- Método directo
- Método de dilución.

• Método de Dilución.

Principio

El método consiste en llenar con muestra, hasta rebosar, un frasco hermético del tamaño especificado, e incubarlo a la temperatura establecida durante 5 días. El oxígeno disuelto mide antes y después de la incubación, y la D.B.O. se calcula mediante la diferencia entre el OD inicial y el final. Debido a que el OD se determina inmediatamente después de hacer la dilución, toda la captación de oxígeno, incluida la que ocurre durante los 15 primeros minutos, se incluye en la determinación de la DBO

Equipo

- a) Botellas de incubación, capacidad de 250 a 300 ml.
- b) Incubador de aire o baño de agua controlado por termostato a $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$

Reactivos

- a) Solución de tampón fosfato
- b) Solución de sulfuro de magnesio
- c) Solución de cloruro de calcio
- d) Solución de cloruro férrico
- e) Soluciones ácida y básica
- f) Solución de sulfuro sódico
- g) Inhibidor de la nitrificación
- h) Solución de glucosa-ácido glutámico
- i) Solución de cloruro de amonio

Procedimiento

1) Preparación de agua para dilución :Si la depleción de oxígeno del agua candidata excede de 0.2 mg/l, obténgase una muestra de agua satisfactoria mejorando la purificación.

b) Control del agua de dilución:

c) Control de glucosa-ácido glutámico

Debido a que la prueba de la DBO es un bioensayo, sus resultados pueden verse influidos en gran medida por la presencia de sustancias tóxicas o por el uso de un material de siembra de baja calidad.

d) Siembra :

1) Fuente del simiente : Es necesario tener presente una población de microorganismos capaces de oxidar la materia orgánica biodegradable de la muestra.

Algunas muestras no contienen una población microbiana suficiente(por ejemplo, algunos residuos industriales no tratados, residuos desinfectados, residuos de alta temperatura, o con valores de pH extremos). Para tales residuos, siémbrese el agua de dilución añadiendo una población de microorganismos.

2) Simiente control : Determinar la DBO del material de siembra como cualquier otra muestra.

e) Pretratamiento de la muestra :

1) Muestras con alcalinidad cáustica o ácida :Neutralícese las muestras a un pH entre 6.5 y 7.5, con una solución de ácido sulfúrico o de hidróxido sódico de concentración tal que la cantidad de reactivo no diluya la muestra en más de 0.5 por 100

2) Muestras que contienen compuestos de cloro residual : En algunas muestras, el cloro desaparecerá en el plazo de 1 o 2 horas después de su exposición a la luz. Esto suele ocurrir durante el transporte o la manipulación de la muestra. Para las muestras en las que el residuo de cloro no se disipa en un tiempo corto razonable, destrúyase el cloro residual añadiendo solución de Na_2SO_3 .

3) Muestras que contienen otras sustancias tóxicas

4) Muestras supersaturadas con OD :

5) Ajuste de la temperatura de la muestra : Póngase las muestras a $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ antes de hacer diluciones.

6) Inhibición de la nitrificación

f) Técnica de dilución :

Se agregan elementos nutrientes al agua de dilución en cantidades conocidas para que los organismos que van a descomponer la materia orgánica no mueran. Dependiendo del agua por analizar se usa un inoculo satisfactorio.

Para el control del agua de dilución se llenan 2 frascos para DBO con esta agua; uno de ellos se tapa y se incuba; al otro se le determina de inmediato su OD. Se usan soluciones testigo que sirven como referencia para todos los cálculos de la DBO.

Si no se tienen DBO₅ previas, se recomienda hacer diluciones de:

- de 0.0 a 1.0 % para desechos industriales concentrados
- de 1 a 5.0 % para aguas residuales crudas o sedimentadas
- de 5 a 25 % para efluentes tratados biológicamente
- de 25 a 100% para aguas de ríos contaminados.

Prepárese las diluciones en probetas y pásense después a frascos de DBO, o prepárense directamente en frascos de DBO.

Cuando se utilizan probetas para preparar las diluciones y es necesario sembrar, añádase la simiente directamente al agua de dilución o a las probetas individuales antes de antes de diluir.

- 1) *Diluciones preparadas en probetas :* Si se utiliza la modificación azida del método de titulación yodométrico, añádase agua de dilución, sembrada si es necesario por medio de un sifón, en una probeta de 1 a 2 litros de capacidad. Lléñese hasta la mitad sin arrastrar aire. Añádase la cantidad deseada de muestra mezclada con cuidado y diluyase hasta el nivel apropiado con agua de dilución. Mézclase bien en tipo de émbolo ; evítese la entrada de aire. Introdúzcase la dilución mezclada, por medio de un sifón, en dos frascos de DBO. Determinese el OD inicial en uno de dichos frascos. Tápese el segundo frasco herméticamente, con un sello hidráulico, e incúbese durante 5 días a 20 °C . Si se utiliza el método del electrodo de membrana para determinar el OD, viértase la mezcla de dilución en un frasco de DBO por medio de un sifón. Determinese el OD inicial en este frasco y reemplácese cualquier volumen desplazado con de la muestra hasta llenar el frasco. Tápese herméticamente con un sello hidráulico e incúbese durante 5 días a 20 °C .
- 2) *Diluciones preparadas directamente en frascos de DBO.*

g) Determinación del OD inicial : Si la muestra contiene materiales que reaccionen muy de deprisa con el OD, determinese el OD inicial inmediatamente después de llenar el frasco de DBO con muestra diluida. Si la captación rápida inicial de OD es insignificante, el tiempo transcurrido entre la preparación de la dilución y la determinación del OD inicial no es crítico.

Utilícese la modificación azida del método yodométrico o el método del electrodo de membrana para determinar el OD inicial en todas las diluciones de la muestra y los blancos de dilución.

h) Blanco del agua de dilución : Empléese un blanco del agua de dilución como un control aproximado de la calidad del agua de dilución no sembrada y de la limpieza de los frascos de incubación. Junto con cada lote de muestras, incúbese un frasco de agua de dilución no sembrada. Determinese el OD inicial y final.

i) Incubación : Incúbese a 20° C \pm 1°C los frascos de DBO que contengan las diluciones de seadas, los controles de simiente, los blancos de agua de dilución, y los controles de glucosa-ácido glutámico. Sellar los frascos como se ha descrito anteriormente.

j) Determinación del OD final: Después de 5 días de incubación, determinese el OD en las diluciones de la muestra, en los blancos y en los controles, como en el apartado (g)

Cálculos

Cuando el agua de dilución no está sembrada:

$$DBO_5, \text{mg/l} = \frac{D_1 - D_2}{P}$$

Cuando el agua de dilución está sembrada:

$$DBO_5, \text{mg/l} = \frac{(D_1 - D_2) - (B_1 - B_2) f}{P}$$

donde:

D₁ = OD de la muestra diluida inmediatamente después de su preparación, mg/l,

D₂ = OD de la muestra diluida después de 5 días de incubación a 20 °C, mg/l,

P = Fracción volumétrica decimal de la muestra utilizada,

B₁ = OD del control del simiente antes de la incubación, mg/l

B₂ = OD del control del simiente en la muestra diluida con respecto a la del control del simiente

f = Proporción de la simiente en la muestra diluida con respecto a la del control de simiente = (% de simiente en la muestra diluida) / (% simiente en el control de simiente)

Si se añade directamente la simiente a la muestra o a las botellas control de simiente

f = (Volumen de simiente en la muestra diluida) / (volumen de simiente en el control de simiente)

Exprésense los resultados como DBO₅ si se inhibe la nitrificación.

2.3.2 BACTERIOLOGIA

Existen técnicas que pueden utilizarse para identificar y enumerar la mayoría de los tipos más comunes de patógenos presentes en el agua.

Las limitaciones inherentes al intento de evaluar la seguridad del agua con respecto a la salud pública mediante la enumeración directa de patógenos ha llevado a que se utilicen en su lugar los "organismos indicadores". Estos no tienen necesariamente una relación directa con el número de patógenos presentes en una muestra dada de agua, sino que se dirigen más a evaluar el grado en que ha sido contaminada el agua, por la presencia de heces humanas y de otros animales de sangre caliente.

• Grupo coliforme

Generalidades.

El "grupo coliforme" de bacterias incluye a la *Escherichia coli*, al igual que otras numerosas bacterias originadas en las descargas fecales o provenientes de muchos otras fuentes no fecales. Se ha estimado que el número de bacterias coliformes en las descargas fecales llegan hasta 200 x 10⁸ organismos viables por persona.

Las bacterias coliformes fecales constituyen un subgrupo de todos los organismos coliformes, en el que se piensa están incluidos organismos con mayor probabilidad de haberse originado en los intestinos. En consecuencia, ellos muestran una mejor correlación al grado de contaminación fecal.

Importancia Sanitaria

Durante más de 70 años, se ha empleado el grupo coliforme para evaluar la calidad sanitaria del agua potable. Debe enfatizarse que la lógica detrás de la utilización de este grupo de bacterias como "indicadores" no se basa en su potencialidad para causar enfermedades al hombre, aunque en determinadas circunstancias ciertas bacterias coliformes pueden causar infecciones. Ellos constituyen indicadores valiosos simplemente porque están presentes en gran número de las descargas fecales y su población está relacionada al grado de contaminación ocasionada por estas descargas. La presencia del grupo coliforme no indica necesariamente que exista patógenos de algún tipo en el agua. Los resultados de la prueba deben interpretarse como una medida de la

posibilidad de que existan patógenos en el agua en ese momento o, quizás, en algún momento posterior como se esbozó anteriormente.

El grupo coliforme cumple varios de los criterios para los organismos indicadores, pero posee varias limitaciones en varios aspectos. Por ejemplo, el grupo incluye a muchos tipos de bacterias que pueden no originarse en el intestino del hombre y que tienen muy poca, o ninguna relación con el peligro potencial de la presencia de patógenos provenientes de esa fuente.

Las dificultades para interpretar el significado de las pruebas de coliformes se deben algunas veces al hecho de que existen dos procedimientos aceptados para su enumeración y que los resultados producidos por estos procedimientos pueden resultar con frecuencia significativamente diferentes.

Por otro lado, debido a que los coliformes fecales no sufren un proceso de recrecimiento en las corrientes y brindan una correlación más confiable respecto al grado de contaminación fecal, se están usando actualmente en gran medida para evaluar la calidad de las corrientes, especialmente respecto a la conveniencia de bañarse en ellas. También se está usando ampliamente la prueba de coliformes fecales para evaluar la calidad microbiológica de efluentes de instalaciones de tratamiento de aguas residuales. Por supuesto, el cambio de coliformes en general a coliformes fecales ha hecho necesario reducir considerablemente las concentraciones permisibles ya que los coliformes fecales son mucho menos numerosas que el grupo coliforme total.

En consecuencia, el grupo coliforme es considerado como el indicador más confiable para evaluar si un tratamiento de agua es adecuado, prefiniéndosele para esta aplicación antes que al grupo coliforme fecal.

Técnicas de Análisis.

1.- Prueba NMP (Número más Probable)

2.- Técnica cuenta en placa

3.- Técnica de identificación del grupo coliforme

- Tubos de fermentación múltiple
- Técnica de filtro de membrana
- Técnica de enriquecimiento
- Técnica de incubación retardada

3.- Técnica de identificación de coliformes fecales

- Técnica del medio MFC
- Técnica de filtro de membrana

Prueba de Filtro de Membrana

Principio.

El método de filtro de membrana consiste en pasar un volumen conocido de muestra a través de un filtro especial, el que es posteriormente incubado en un medio especial bajo condiciones normalizadas. Al usar esta prueba, el "grupo coliforme" se define como el que incluye a todos los organismos que producen dentro de 24 horas siguientes una colonia oscura (verde-púrpura) con un brillo metálico.

Las principales ventajas de esta técnica, son las siguientes:

1. Puede examinarse un gran volumen de agua, teóricamente se puede filtrar cualquier cantidad de agua y retener todos los organismos presentes en ella.
2. La membrana puede transferirse de un medio de cultivo a otro, con fines diferenciales o selectivos.
3. Los resultados se obtienen más rápido, aproximadamente en 24 horas.
4. Con medios de cultivo apropiados, pueden estimarse cuantitativamente las bacterias coliformes.
5. Permite la filtración de muestras en el campo.

Las desventajas se resumen así:

1. En aguas con turbiedad producida por algas y otros materiales, el taponamiento de los filtros impide la filtración de volúmenes suficientes de muestra.
2. La turbiedad producida por algas u otros materiales, interfiere con el desarrollo de las colonias bacterianas coliformes.
3. Algunas muestras que contienen 1 mg/l de Cu o Zn o ambos, dan resultados irregulares de bacterias coliformes.

Características del filtro de membrana.

Los filtros de membrana pueden variar en resultados debido a la diferencia en los métodos de fabricación, materiales y control de calidad. El poro en el filtro debe estar distribuido uniformemente y tener un diámetro de $0.4 \pm 0.01 \mu$. Los filtros deben retener a las bacterias cuantitativamente en su superficie, estar exentos de sustancias que inhiben o estimulen el crecimiento de las bacterias, y de materiales que directa o indirectamente interfieran con los sistemas de indicador bacteriológico en el medio.

Equipo.

- a) Incubadora
- b) Estufas de esterilización
- c) Autoclaves
- d) Contadores de colonias
- e) Equipo para la determinación del pH.
- f) Balanza con escala de 0.1 g hasta 150 g.
- g) Recipientes de vidrio de borosilicato o de acero inoxidable
- h) Pipetas con error de calibración menor a 2.5%
- i) Pipeteros de aluminio
- j) Frascos o tubos de dilución de vidrio pyrex
- k) Cajas de petri de 100 mm de diámetro.
- l) Gradillas metálicas
- m) Mecheros
- n) Frascos para muestreo, de vidrio
- o) Unidades de filtración (aparato con extractor de vacío)
- p) Membrana de filtración reticulada, discos absorbentes de papel filtro.

Medios de Cultivo para coliformes totales.

- a) Medio M-Endo
- b) Medio M-Endo Preservativo
- c) Agua de dilución

Medios de Cultivo para coliformes fecales.

- a) Caldo M-FC
- b) Agua de dilución

Preparación de la muestra. Marcar cada caja con el número de muestra, fecha, y otras informaciones necesarias antes del análisis de la muestra. Preparar duplicados de placas por cada volumen de muestra o muestra diluida.

Selección del volumen de muestra para coliformes totales.

La cantidad ideal de muestra que se va a filtrar debe ser tal que nos de un resultado de no menos de 50 colonias y no más de 200 colonias para todo tipo de agua.

CUADRO 2.10
VOLUMEN DE MUESTRA MAS ADECUADO SEGUN EL ORIGEN DEL AGUA

Volumen de muestra filtrada

Fuente	100	50	10	1	0.1	0.01	0.001	0.0001
Agua potable	X							
Agua de albercas	X							
Pozos	X	X	X					
Lagos, tanques	X	X	X					
Tomas de suministros de agua			X	X	X			
Playas de recreo			X	X	X			
Ríos				X	X	X	X	
Aguas de desecho cloradas					X	X	X	
Aguas de desecho crudas					X	X	X	X

Procedimiento.

En la unidad de filtración se filtran los volúmenes de muestra que desean analizar; la cantidad filtrada depende del origen de la muestra, Cuadro 2.10

Trabajar en condiciones estériles. Usar una pipeta estéril diferente para transferir cada dilución. Colocar con la pipeta el volumen de muestra de dilución seleccionado en una caja de petri estéril. Preparar por lo menos otras dos cajas por cada dilución de muestra usada.

Después que se ha filtrado la muestra, se lava 3 veces el embudo usando agua de dilución en cantidades de 20 a 30 ml, luego se retira la membrana de filtración con las pinzas estériles; bajo condiciones de esterilidad se coloca sobre un cojín (papel filtro) que previamente ha sido saturado con medio de cultivo (M-ENDO) y que se encuentra dentro de una caja petri.

El cojín saturado con medio de cultivo, se prepara de la siguiente manera:

En condiciones de esterilidad, se satura el cojín con medio nutriente líquido (M-ENDO) en proporciones de 1.8 a 2.2 ml; y la membrana se incuba por 24 h a 35° ± 0.5 °C, con la tapa hacia arriba y en un ambiente saturado de humedad.

Lectura.

Cuando se usa el medio M-ENDO, se cuentan todas las colonias que presenten un brillo metálico superficial de color rosa-rojo obscuro. En los filtros de membrana deben aparecer entre 20 y 80 colonias coliformes, y el total de colonias (coliformes o no) no debe exceder a 200.

La densidad de coliformes se registrará en términos de "colonias coliformes por cada 100 ml de muestra", y se calcula de la siguiente manera:

$$\frac{\text{Col. coliformes}}{100 \text{ ml}} = \frac{\text{Col. coliformes contadas} \times 100}{\text{ml de muestra filtrada}}$$

Coliformes fecales

Técnica. Los procedimientos para el desarrollo de esta técnica son semejantes a los ya descritos en la determinación de coliformes totales. Las diferencias están en el medio, temperatura, forma de incubación y lecturas. Utilizando la unidad de filtración se filtran los volúmenes adecuados, Cuadro 2.11. Bajo condiciones de esterilidad se coloca la membrana en la caja de Petri (preparada con un cojín absorbente estéril sobre el que se vacían 2 ml del medio M-F.C, eliminando con cuidado el líquido en exceso). La caja se sella y se protege contra la entrada de agua mediante el uso de bolsas de plástico. Incubar en baño de agua a 44.5°C durante 24 horas. Todas las colonias azules son de coliformes fecales y debe haber por caja de 20 a 60 colonias para que la cuenta sea adecuada.

Cálculos:

$$\frac{\text{Col.coliformes}}{100 \text{ ml}} = \frac{\text{Col.coliformes fecales contadas} \times 100}{\text{ml de muestra filtrada}}$$

Comprobación de la esterilización Comprobar la esterilización y la dilución colocando una caja testigo por cada serie de muestras.

CUADRO 2.11
SELECCIÓN DEL VOLUMEN DE MUESTRA SEGÚN SU ORIGEN

Fuente	100	50	10	1	0.1	0.01	0.001
Lagos, depósitos	X	X					
Pozos, manantiales	X	X					
Tomas de suministros de agua		X	X	X			
Aguas naturales para natación		X	X	X			
Desechos de plantas de tratamiento efluente secundario			X	X	X		
Ríos, aguas de uso agrícola				X	X	X	
Desechos municipales crudos					X	X	X

3 INDICE DE CALIDAD

3.1 EVALUACION DE LA CONTAMINACION

El aumento en los niveles de contaminación de las aguas superficiales y subterráneas ha generado la necesidad de cuantificar y evaluar la calidad de los cuerpos de agua. A fin de conocer el estado que guarda el agua respecto a su calidad, se hace uso de cientos parámetros característicos que rigurosamente pueden llegar a ser del orden de cientos. Entre éstos se hallan las determinaciones de oxígeno disuelto, DBO, DCO, pH, temperatura, turbiedad, conductividad eléctrica, NMP coliforme y plancton.

Si el agua que se investiga sostiene una basta extensión agrícola, los parámetros solicitados en el análisis serán diferentes a los del agua que se usa para producción de peces y también serán distintos a los del agua destinada para recreación; de todas maneras, subsisten parámetros comunes que son en general los mínimos a que se ha hecho referencia.

El tipo y forma de análisis a que se somete las muestras dependen de la magnitud del proyecto, recurso económico y el tiempo disponible.

Es deseable que la investigación se proyecte a tiempos que lleguen a cubrir la intervención de los fenómenos naturales como lluvias, días soleados, cambios de temperatura, etc.

El número y frecuencia de los muestreos debe ser objeto de estudios minuciosos que finalmente definan el plan a seguir durante la etapa de investigación ya que de esta información se derivan los resultados y medidas correctivas a emplear.

Rigurosamente con estas actividades se inicia o complementa la fase de evaluación puesto que los resultados de los análisis físicos, químicos, biológicos y microscópicos realizados, podrán compararse con los valores aceptables para el uso a que se destina esa agua y con ello, definir la forma de eliminar o disminuir los contenidos que se consideran en demasía. Sin embargo esta evaluación solo puede ser hecha por un experto y quizá varíe según el criterio de un investigador a otro. Por eso se ha buscado y se ha propuesto una metodología para definir un índice de calidad que es producto de teorías expuestas por especialistas en el ramo.

3.2 INDICE DE CALIDAD

El Índice de Calidad del Agua (ICA), como forma de agrupación simplificada de algunos parámetros, indicadores de un deterioro en calidad del agua, es una manera de comunicar y evaluar la calidad de los cuerpos de agua. Sin embargo, para que dicho índice sea práctico debe de reducir la enorme cantidad de parámetros a una forma más simple, y durante el proceso de simplificación algo de información se sacrifica. Por otro lado si el diseño del ICA es adecuado, el valor arrojado puede ser representativo e indicativo del nivel de contaminación y comparable con otros para enmarcar rangos y detectar tendencias.

El monitoreo de un cuerpo de agua para detectar el grado de contaminación, conduce a obtener una inmensa cantidad de datos de varios parámetros, incluso dimensionalmente distintos, que hace difícil detectar patrones de contaminación.

Mediante el índice de calidad se logra un patrón de comparación entre los distintos cuerpos de agua, comprendido con mayor claridad. No obstante que se logra un valor de conjunto, debe considerarse el resultado de cada uno de los parámetros que intervienen, con objeto de diuiciar efectos específicos. En parte esta observación está contemplada al definir la curva y su ecuación de los factores, así como por el coeficiente que se propone asignarle por importancia a cada parámetro.

Para la agrupación de los parámetros existen dos técnicas básicas: las denominadas aritméticas y las multiplicativas, a su vez pueden o no ponderarse con pesos específicos para cada parámetro. Dos investigadores, Landwehr y Denninger, demostraron la superioridad del cálculo a través de

técnicas multiplicativas, que son mucho más sensibles que los aritméticos a la variación de los parámetros, por lo que reflejan con mayor precisión un cambio de calidad. En cuanto a la ponderación, indica que el asignar pesos específicos a los parámetros tienen el riesgo de introducir cierto grado de subjetividad en la evaluación, pero por otro lado, sugiere que es importante una asignación racional y unificada de dichos pesos de acuerdo al uso del agua y de la importancia de los parámetros en relación al riesgo que implica el aumento o disminución de su concentración.

3.2.1 TECNICAS MULTIPLICATIVAS

El intento más reciente para el diseño del ICA es el de Dinius (1987), agrupó a un panel de expertos en cuestiones ambientales y diseño a partir de la evaluación e interacción de ellos, un ICA de tipo multiplicativo y con asignación de pesos específicos por parámetro.

El método que se presenta es el que se consideró más adaptable a la situación de nuestro país (Dinius, 1987), modificándose con la inclusión de algunos parámetros sugeridos en el estudio realizado por I.I. de la UNAM en 1974.

La evaluación numérica del ICA, con técnicas multiplicativas y ponderadas con la asignación de pesos específicos, se debe a Brown et al. (1973), obteniendo a partir de una media geométrica:

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

donde :

W_i = pesos específicos asignados a cada parámetro (i) , y ponderados entre 0 y 1, de una forma tal que se cumpla que :

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

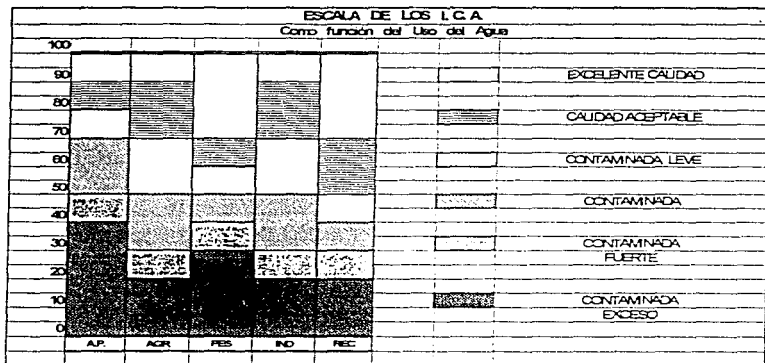
con n el número de parámetros elegidos.

Q_i es la calidad del parámetro (i) , en función de su concentración y cuya calificación oscila entre 0 y 100,

π representa la operación multiplicativa de las variables Q elevadas a la W .

Finalmente el ICA que arroja la ecuación (1) es un número entre 0 y 100 que califica la calidad, a partir de la cual y en función del uso del agua, permite estimar el nivel de contaminación.

En la figura 3.1 se muestran los ambitos de calificación del ICA en función del uso del agua.



El Cuadro 3.1 muestra las unidades de los parámetros y los valores de los pesos específicos WI considerados en las expresiones (1) y (2).

CUADRO 3.1
PESOS ESPECÍFICOS DE LOS PARÁMETROS

Parámetro	Símbolo	Unidad	Peso (Wi)
Oxígeno Disuelto	OD	% Sat.	0.103
Demanda Bioquímica O ₂	DBO	mg/l	0.096
Demanda Química de O ₂	DQO	mg/l	0.053
Grado Acidez /Alcalinidad	pH	u pH	0.063
Sólidos Suspendedos	SST	mg/l	0.033
Coliformes totales	Coli/T	#/100 ml	0.083
Coliformes Fecales	Coli/F	#/100 ml	0.143
Nitratos	NO ₃	mg/l	0.053
Amonios	NH ₃	mg/l	0.043
Fosfatos	PO ₄	mg/l	0.073
Fenoles	Fenol	ug/l	0.033
Diferencia temperatura	ΔT	°C	0.043
Alcalinidad como CaCO ₃	AlcT	mg/l	0.055
Dureza como CaCO ₃	DurT	mg/l	0.058
Cloruros	Cloro	mg/l	0.068

Las gráficas de sensibilidad en donde en función del parámetro se lee la calificación de la calidad Qi se presenta en las figuras 3.2 y 3.3

evaluación utilizando el ICA

En relación al valor numérico del ICA, este no representa más que una posibilidad de comparación si se es consistente en su cálculo. Con idea de tener criterios generares, a continuación se

presentan algunos lineamientos arrojados por el panel de expertos, Dinius (1987). Asociado al valor numérico del ICA se definen 6 ámbitosrangos de estado de calidad del agua:

- (E) Excelente
- (A) Aceptable
- (LC) Levemente contaminada
- (C) Contaminada
- (FC) Fuertemente contaminada
- (EC) Excesivamente contaminada

En función de esta clasificación se establecieron los criterios que a continuación se presentan, dependiendo del uso al que se destine el agua indicándose las medidas o límites aconsejables.

Uso como Agua Potable

- 90 - 100 E - No requiere purificación para consumo.
- 80 - 90 A - Purificación menor requerida.
- 70 - 80 LC - Dudosa su consumo sin purificación.
- 50 - 70 C - Tratamiento potabilizador necesario.
- 40 - 50 FC - Dudosa para consumo.
- 0 - 40 EC - Inaceptable para consumo.

Uso en Agricultura

- 90 - 100 E - No requiere purificación para riego.
- 70 - 90 A - Purificación menor para cultivos que requieran de alta calidad de agua.
- 50 - 70 LC - Utilizable en mayoría de cultivos.
- 30 - 50 C - Tratamiento requerido para la mayoría de los cultivos.
- 20 - 30 FC - Uso solo en cultivos muy resistentes.
- 0 - 20 EC - Inaceptable para riego.

Uso en Pesca y Vida Acuática

- 70 - 100 E - Pesca y vida acuática abundante.
- 60 - 70 A - Límite para peces muy sensitivos.
- 50 - 60 LC - Dudosa la pesca sin riesgos de salud.
- 40 - 50 C - Vida acuática limitada a especies muy resistentes.
- 30 - 40 FC - Inaceptable para actividad pesquera.
- 0 - 30 EC - Inaceptable para vida acuática.

Uso Industrial

- 90 - 100 E - No se requiere purificación
- 70 - 90 A - Purificación menor para industrias que requieran de alta calidad de agua para operación.
- 50 - 70 LC - No requiere tratamiento para la mayoría de industrias de operación normal.
- 30 - 50 C - Tratamiento requerido para la mayoría de usos.
- 20 - 30 FC - Uso restringido en actividades burdas.
- 0 - 20 EC - Inaceptable para cualquier industria.

Uso Recreativo

- 70 - 100 E - Cualquier tipo de deporte acuático.
- 50 - 70 A - Restringir los deportes de inmersión.
- 40 - 50 LC - Dudosa para contacto con el agua.
- 30 - 40 C - Evitar contacto, solo con lanchas.
- 20 - 30 FC - Contaminación visible, evitar cercanía.
- 0 - 20 EC - Inaceptable para recreación.

Adicionalmente a los lineamientos presentados es conveniente analizar en forma individual cada una de las calificaciones de los parámetros con el objeto de establecer si el deterioro se debe a la

alta presencia de nutrientes, a la falta de oxígeno, al exceso de presencia de bacterias riesgosas para la salud, etc.

3.2.2 TÉCNICAS ARITMETICAS

El índice de calidad varía de 0 a 100. El valor nulo corresponde a la peor calidad y el máximo a la calidad óptima. Se puede conocer aplicando la ecuación:

$$I = \frac{\sum_{i=1}^n (I_i W_i)}{\sum_{i=1}^n W_i}$$

donde:

- I = Índice de calidad general
 I_i = Índice de calidad del parámetro considerado
 W_i = Valor de la importancia relativa del parámetro considerado.

El cuadro 3.2 contiene los valores de la importancia relativa para 18 parámetros que se proponen como básicos.

CUADRO 3.2
 IMPORTANCIA RELATIVA DE LOS PARÁMETROS PARA DEFINIR EL ÍNDICE DE CALIDAD

Parámetro	Importancia relativa	Parámetro	Importancia relativa
pH	1.0	Nitrógeno de nitratos	2.0
Color	1.0	Nitrógeno amoniacal	2.0
Turbiedad	0.5	Fosfatos totales	2.0
Grasas y aceites	2.0	Cloruros	0.5
Sólidos suspendidos	1.0	Oxígeno disuelto	5.0
Sólidos disueltos	0.5	DBO	5.0
Conductividad eléctrica	2.0	Coliformes totales	3.0
Alcalinidad	1.0	Coliformes fecales	4.0
Dureza total	1.0	Detergentes	3.0

Fuente: SARH (1979)

Las ecuaciones definidas para el índice de calidad individual de cada uno de los parámetros seleccionados para conformar el índice general, son las siguientes:

- pH**

$$I_{pH} = 10^{0.2335pH - 9.440}$$

si el pH es menor que 6.7
 si pH está entre 6.7 y 7.3
 si pH mayor que 7.3
- Color**

$$I_c = 123(c)^{-0.295}$$

(c) en unidades de color escala de platino-cobalto
- Turbiedad**

$$I_t = 108(t)^{-0.174}$$

(t) en U T J
- Grasas y aceites**

$$I_{GyA} = 87.25 (GyA)^{-0.294}$$

(GyA) en mg/l
- Sólidos suspendidos**

$$I_{ss} = 266.5(ss)^{-0.37}$$

(ss) en mg/l
- Sólidos disueltos**

$$I_{sd} = 109.1 - 0.0175 (sd)$$

(sd) en mg/l

7) Conductividad eléctrica

$$I_{CE} = 540 (CE)^{-0.376}$$

(CE) en mmhos/cm

8) Alcalinidad $I_a = 105(a)^{-0.186}$ (a) en mg/l como $CaCO_3$ **9) Dureza total $I_D = 10^{1.974 - 0.00174(b)}$** (D) en mg/l como $CaCO_3$ **10) N de nitritos**

$$I_{NO_2} = 162.2 (NO_2)^{-0.343}$$

(NO₂) en mg/l**11) N amoniacal**

$$I_{NH_3} = 45.8 (NH_3)^{-0.343}$$

(NH₃) en mg/l**12) Fosfatos totales**

$$I_{PO_4} = 34.215 (PO_4)^{-0.46}$$

(PO₄) en mg/l**13) Cloruros**

$$I_{Cl} = 121 (Cl)^{-0.223}$$

(Cl) en mg/l

14) Oxígeno disuelto

$$I_{OD} = (OD / OD \text{ sat}) \times 100$$

(OD) mg/l a temp de campo
(OD)sat mg/l de saturación a temp de campo.**15) Demanda bioquímica de oxígeno**

$$I_{DBO} = 120 (DBO)^{-0.0673}$$

(DBO) en mg/l

16) Coliformes totales

$$I_{CT} = 97.5 (CT)^{-0.27}$$

(CT) = NMP coli / ml

17) Coliformes fecales

$$I_{EC} = 97.5 [5(Ec)]^{-0.27}$$

(Ec) = Escherichia coli / ml

18) Detergentes

$$I_{SAAM} = 100 - 16.678 (SAAM) + 0.1587 (SAAM)^2$$

(SAAM) en mg/l

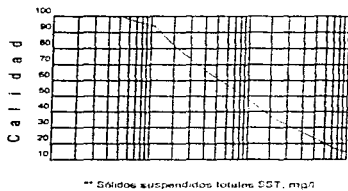
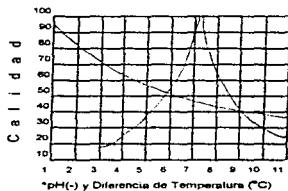
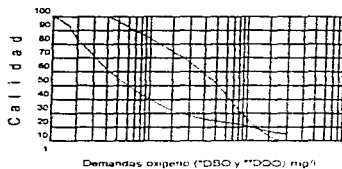
De acuerdo al uso del agua puede verse en el cuadro 3.3 la calidad adecuada para el uso que se indica, en función del índice obtenido de la manera antes explicada.

CUADRO 3.3
USOS DEL AGUA SEGUN INDICE DE CALIDAD
(siguiente página)

100	NO REQUIERE PURIFICACION LIGERA	ACEPTABLE PARA		NO REQUIERE PURIFICACION LIGERA		
90	PURIFICACION LIGERA	ACEPTABLE PARA CUALQUIER DEPORTE ACUATICO	ACEPTABLE PARA TODOS LOS ORGANISMOS	PURIFICACION PARA ALGUNOS PROCESOS SIN TRATAMIENTO PARA INDUSTRIA NORMAL	ACEPTABLE	
80	PURIFICACION MAYOR NECESIDAD DE TRATAMIENTO					
70						
60						
50	DUDOSO	DUDOSO PARA CONT. DIRECT SIN CONTACTO CON EL AGUA	SOLO ORGANISMOS MUY RESISTENTES	TRATAMIENTO EN LA MAYOR PARTE DE LA USO MUY RESTRINGIDO		ACEPTABLE
40						
30						
20	INACEPTABLE	RESTRINGIDO		RESTRINGIDO	RESTRINGIDO	
10		INACEPTABLE	INACEPTABLE	INACEPTABLE	INACEPTABLE	INACEPTABLE
0						
	AGUA POTABLE	RECREACION	PESCA Y VIDA ACUATICA	INDUSTRIAL Y AGRICOLA	NAVEGACION	TRANSPORTE DE DESECHOS TRATADOS

CUADRO 3 3

**GRÁFICAS DE SENSIBILIDAD
CALIFICACION DEL PARÁMETRO EN FUNCIÓN DE SU CONCENTRACIÓN**



* Fuente- Dinius (1987)

** Fuente - Instituto de Ingeniería (1974)

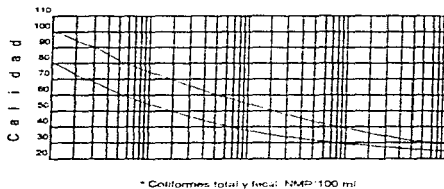
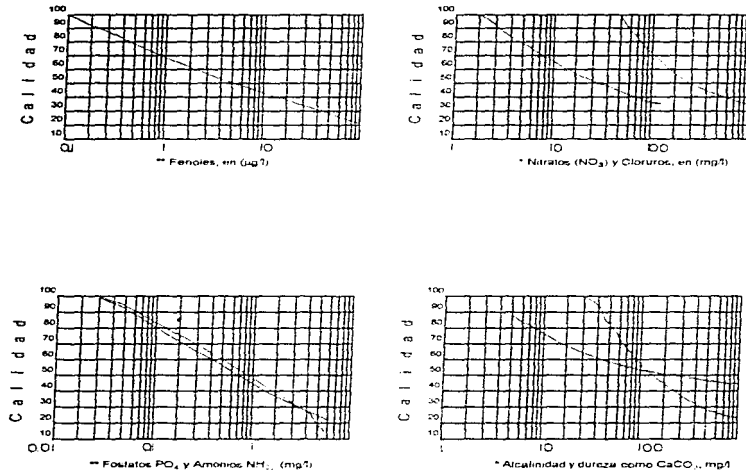


FIGURA 3.2

**GRÁFICAS DE SENSIBILIDAD
CALIFICACION DEL PARÁMETRO EN FUNCIÓN DE SU CONCENTRACIÓN**



* Fuente - Dinius (1987)
 † Fuente - Instituto de Ingenieria (1974)

FIGURA 3.3

4 LEGISLACIÓN NACIONAL RELATIVA A LA PROTECCIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA

Con el advenimiento de la industrialización y el incremento de la población mundial, se presenta el problema cada vez más incontrolable de la contaminación del agua.

Con la experiencia acumulada en la gestión ambiental en los últimos años, es aconsejable adecuar y ampliar los instrumentos de política ambiental, como leyes y reglamentos que regulen el aprovechamiento, consumo y reincorporación de caudales usados en las diversas actividades para no contaminar el preciado líquido.

El propósito de legislar sobre contaminación de aguas es conservar en lo posible, las cualidades de los recursos superficiales y subterráneos, así como proteger el ambiente biológico e incrementar las actividades relativas a la conservación para velar por la salud pública y garantizar que pueda usarse directamente o con ligeros tratamientos en el uso potable.

La Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos de 1917, expresa en su artículo 27 lo siguiente en relación al agua y para evitar los daños que pudiera sufrir la sociedad por su mal uso.

ARTICULO 27:

La propiedad de las tierras y aguas comprendidas dentro de los límites del territorio nacional corresponde originalmente a la Nación, la cual ha tenido y tiene el derecho de transmitir el dominio de ellas a los particulares constituyendo la propiedad privada. Las expropiaciones sólo podrán hacerse por causa de utilidad pública y mediante indemnización. La Nación tendrá en todo tiempo el derecho de imponer a la propiedad privada las modalidades que dicte el interés público, así como el de regular el aprovechamiento de los elementos naturales susceptibles de apropiación, para hacer una distribución equitativa de la riqueza pública y para cuidar de su conservación. (...)

4.1 LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y LA PROTECCIÓN DEL AMBIENTE

Objetivo: Lograr hacer de las disposiciones jurídicas en materia ambiental, instrumentos realmente eficientes y eficaces. Que regule de manera clara y adecuada las problemáticas ambientales y el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales.

La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, expresa en su título primero las Disposiciones Generales, y en su artículo 1º, las disposiciones de orden público e interés social que tienen por objeto propiciar el desarrollo sustentable.

ARTICULO 1:

La presente Ley es reglamentaria de las disposiciones de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos que se refieren a la preservación del equilibrio ecológico, así como la protección al ambiente, en el territorio nacional y las zonas sobre las que la nación ejerce su soberanía y jurisdicción. Sus disposiciones son de orden público e interés social y tienen por objeto propiciar el desarrollo sustentable y establecer las bases para:

- I. Garantizar el derecho de toda persona a vivir en un medio ambiente adecuado para su desarrollo, salud y bienestar.
- II. Definir los principios de la política ambiental y los instrumentos para su aplicación.
- III. La preservación, la restauración y el mejoramiento del ambiente.
- IV. La preservación y protección de la biodiversidad, así como el establecimiento y administración de las áreas naturales protegidas.

El aprovechamiento sustentable, la preservación y, en su caso, la restauración del suelo, el agua y los demás recursos naturales, de manera que sean compatibles la obtención de beneficios económicos y las actividades de la sociedad con la preservación de los ecosistemas.

- V. La preservación y el control de la contaminación del aire, agua y suelo.
- VI. Garantizar la participación corresponsable de las personas, en forma individual o colectiva, en la preservación y restauración del equilibrio ecológico y la protección al ambiente.

- VII. El ejercicio de las atribuciones que en materia ambiental corresponde a la Federación de los estados, el Distrito Federal y los Municipios, bajo el principio de concurrencia previsto en el artículo 73 fracción XXIX-G de la Constitución.
- VIII. El establecimiento de los mecanismos de coordinación, inducción y concertación entre autoridades, entre estas y los sectores social y privado, así como con personas y grupos sociales, en materia ambiental, y
- IX. El establecimiento de medidas de control y de seguridad para garantizar el cumplimiento y la aplicación de esta Ley y de las disposiciones que de ella se deriven, así como la imposición de las sanciones administrativas y penales que correspondan.

Los títulos de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, son los siguientes.

TÍTULO

I. Disposiciones generales

II. Biodiversidad

III. Aprovechamiento sustentable de los elementos naturales

IV. Protección al ambiente

V. Participación social e información ambiental

En el título IV "Protección al Ambiente" capítulo III, en cuestión de prevención y control de la contaminación del agua y de los ecosistemas acuáticos, expresa en los artículos 117 al 119 bis, lo relacionado a la prevención y control de la contaminación del agua considerando varios criterios; así como en los artículos 120 a 128 lo referente a la contaminación del agua especialmente por aguas residuales.

ARTÍCULO 120.

Para evitar la contaminación del agua, quedan sujetos a regulación federal o local

- I. Las descargas de origen industrial.
- II. Las descargas de origen municipal y su mezcla incontrolada con otras descargas;
- III. Las descargas derivadas de actividades agropecuarias.
- IV. Las descargas de desechos, sustancias o residuos generados en las actividades de extracción de recursos no renovables.
- V. La aplicación de plaguicidas, fertilizantes y sustancias tóxicas;
- VI. Las infiltraciones que afecten los mantos acuíferos; y
- VII. El vertimiento de residuos sólidos, materiales peligrosos y todos provenientes del tratamiento de aguas residuales, en cuerpos y corrientes de agua

ARTÍCULO 121.

No podrán descargarse o infiltrarse en cualquier cuerpo o corriente de agua o en el suelo o subsuelo, aguas residuales que contengan contaminantes, sin previo tratamiento y el permiso o autorización de la autoridad federal, o de la autoridad local en los casos de descargas en aguas de jurisdicción local o a los sistemas de drenaje y alcantarillado de los centros de población

ARTÍCULO 122.

Las aguas residuales provenientes de usos públicos urbanos y de las de usos industriales o agropecuarios que se descarguen en los sistemas de drenaje y alcantarillado de las poblaciones o en las cuencas, ríos, cauces, vasos y demás depósitos o corrientes de agua, así como las que por cualquier medio se infiltren en el subsuelo, y en general, las que se derramen en los suelos, deberán reunir las condiciones necesarias para prevenir

- I. Contaminación de los cuerpos receptores.
- II. Interferencias en los procesos de depuración de las aguas, y
- III. Trastornos, impedimentos o alteraciones en los correctos aprovechamientos, o en el funcionamiento adecuado de los sistemas, y en la capacidad hidráulica en las cuencas, cauces, vasos y demás depósitos de propiedad nacional, así como de los sistemas de alcantarillado

ARTICULO 123:

Todas las descargas en las redes colectoras, ríos acuíferos, cuencas, cauces, vasos, aguas manas y demás depósitos o corrientes de agua y los derrames de aguas residuales en los suelos o su infiltración en terrenos, deberán satisfacer las normas oficiales mexicanas que para tal efecto se expidan, y en su caso, las condiciones particulares de descarga que determine la secretaria o las autoridades locales. Corresponderá quien genere dichas descargas, realizar el tratamiento previo requiendo.

ARTICULO 124:

Las aguas residuales provenientes de los sistemas de drenaje y alcantarillado urbano, podrán utilizarse en la industria y en la agricultura, si se someten en los casos que se requiera, al tratamiento que cumpla con las normas oficiales mexicanas emitidas por la Secretaría, y en su caso, por la Secretaría de Salud.

En los aprovechamientos existentes de aguas residuales en la agricultura, se promoverán acciones para mejorar la calidad del recurso, la reglamentación de los cultivos y las practicas de nego

En el título III, capítulo I en cuestión de Aprovechamiento Sustentable del Agua y los Ecosistemas Acuáticos, expresa en los artículos 88 y 89 lo relacionado a los criterios para el aprovechamiento del agua y de los ecosistemas acuáticos; así como en los artículos 90 al 97 lo referente a las asignaciones de cada Secretaría en coordinación con la Secretaría de Salud, en cuestión de expedición de normas oficiales para el aprovechamiento sustentable de los elementos naturales.

ARTICULO 88:

Para el aprovechamiento sustentable del agua y los ecosistemas acuáticos se consideran los siguientes criterios

- I. Corresponde al Estado y a la Sociedad la protección de los ecosistemas acuáticos y del equilibrio de los elementos naturales que intervienen en el ciclo hidrológico.
- II. El aprovechamiento sustentable de los recursos naturales que comprenden los ecosistemas acuáticos deben hacerse de manera que no afecte su equilibrio ecológico.
- III. Para mantener la integridad y el equilibrio de los elementos naturales que intervienen en el ciclo hidrológico, se deberá considerar la protección de suelos y áreas boscosas y selváticas y el mantenimiento de caudales básicos de las corrientes de agua y la capacidad de recarga de los acuíferos, y
- IV. La preservación y el aprovechamiento sustentable del agua, así como de los ecosistemas acuáticos es responsabilidad de sus usuarios, así como de quienes realicen obras o actividades que afecten dichos recursos.

ARTICULO 89:

Los criterios para el aprovechamiento sustentable del agua y de los ecosistemas acuáticos, serán considerados en .

- I. La formulación e integración del Programa Nacional Hidráulico ;
- II. El otorgamiento de concesiones, permisos, y en general toda clase de autorizaciones para el aprovechamiento de recursos naturales o la realización de actividades que afecten el ciclo hidrológico .
- III. El otorgamiento de autorizaciones para la desviación, extracción o derivación de aguas de propiedad nacional .
- IV. El establecimiento de zonas reglamentadas de veda o de reserva .
- V. Las suspensiones o revocaciones de permisos, autorizaciones, concesiones o asignaciones otorgados conforme a las disposiciones previstas en la Ley de Aguas Nacionales, en aquellos casos de obras o actividades que dañen los recursos hidráulicos nacionales o que afecten el equilibrio ecológico.
- VI. La operación y administración de los sistemas de agua potable y alcantarillado que sirven a los centros de población e industrias ;
- VII. Las previsiones contenidas en el programa director para el desarrollo urbano del Distrito Federal respecto a la política de rehuso de aguas .

ARTICULO 90:

La Secretaría, en coordinación con la Secretaría de Salud, expedirán las Normas Oficiales Mexicanas para el establecimiento y manejo de zonas de protección de ríos, manantiales, depósitos ;

ARTICULO 91:

El otorgamiento de las autorizaciones para afectar el curso o cauce de las corrientes de agua, se sujetará a los criterios ecológicos contenidos en la presente Ley ;

ARTICULO 92:

Con el propósito de asegurar la disponibilidad del agua y abatir los niveles de desperdicio, las autoridades competentes promoverán el ahorro y uso eficiente del agua, el tratamiento de aguas residuales y su rehuso:

ARTICULO 93:

La Secretaría, realizará las acciones necesarias para evitar, y en su caso controlar procesos de eutroficación, salinización y cualquier otro proceso de contaminación de las aguas nacionales.

4.2 LEY DE AGUAS NACIONALES

Objetivo: Regular la explotación, uso o aprovechamiento de dichas aguas, su distribución y control, así como la preservación de su cantidad y calidad (artículo 1).

ARTICULO 1:

La presente Ley es reglamentaria del artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos en materia de aguas nacionales; es de observancia general en todo el territorio nacional, sus disposiciones son de orden público e interés social y tiene por objeto regular la explotación, uso o aprovechamiento de dichas aguas, su distribución y control, así como la preservación de su cantidad y calidad, para lograr su desarrollo integral y sustentable.

Los títulos de la Ley de aguas Nacionales, se presenta a continuación.

TITULO

- I. Disposiciones preliminares
- II. Administración del agua
- III. Programación hidráulica
- IV. Derechos de uso o aprovechamiento de aguas nacionales
- V. Zonas reglamentadas, de veda o de reserva
- VI. Usos del agua
- VII. Prevención y control de la contaminación del agua
- VIII. Inversión de infraestructura hidráulica
- IX. Bienes nacionales a cargo de la Comisión
- X. Infracciones, sanciones y recursos

La explotación uso o aprovechamiento de las aguas nacionales se realiza mediante "concesión" o "asignación"

"El propósito (Del título séptimo) es consolidar una sola autoridad en materia de calidad del agua". Uno de los mecanismos básicos para el ejercicio de las atribuciones de la CNA son las declaratorias de clasificación de los cuerpos de agua nacionales. En esas declaratorias la CNA debe determinar los parámetros que habrán de cumplir las descargas; la capacidad de asimilación y dilución de los cuerpos de aguas nacionales y las cargas de contaminantes que estos pueden recibir, así como las metas de calidad y los plazos para alcanzarlos (artículo 87)

ARTICULO 87:

"La Comisión" determinará los parámetros que deberán cumplir las descargas, la capacidad de asimilación y dilución de los cuerpos de aguas nacionales y las cargas de contaminantes que estos puedan recibir, así como las metas de calidad y los plazos para alcanzarlas

Las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores o su infiltración en terrenos requieren de permiso de la CNA.

Corresponde a los municipios el control de las descargas de aguas residuales a los sistemas de drenaje o alcantarillado (artículo 88)

ARTICULO 88

Las personas físicas o morales requieren de permiso de "La Comisión" para descargar en forma permanente, intermitente o fortuita aguas residuales en cuerpos receptores que sean aguas nacionales o demás bienes nacionales, incluyendo aguas manas, así como cuando se infiltren en terrenos que sean bienes nacionales o en otros terrenos cuando puedan contaminar el subsuelo y a los acuíferos.

"La Comisión" mediante acuerdos de carácter general por cuenca, acuífero, zona, localidad o por usos podrá sustituir el permiso de descarga de aguas residuales por un simple aviso.

El control de las descargas de aguas residuales a los sistemas de drenaje o alcantarillado de los centros de población, corresponde a los municipios, con el concurso de los estados cuando así fuere necesario y lo determinen las leyes.

La CNA puede ordenar la suspensión de las actividades que dan origen a las descargas de aguas residuales (artículo 92)

ARTICULO 92

"La Comisión", en el ámbito de su competencia, podrá ordenar la suspensión de las actividades que den origen a las descargas de aguas residuales:

- I. Cuando no se cuente con el permiso de descarga de aguas residuales en los términos de esta ley
- II. Cuando la calidad de las descargas no se sujete a las normas oficiales mexicanas correspondientes, a las condiciones particulares de descarga o a lo dispuesto en esta ley y su reglamento;
- III. Cuando se deje de pagar el derecho por el uso o aprovechamiento de bienes del dominio público de la Nación como cuerpos receptores de las descargas de aguas residuales; o
- IV. Cuando el responsable de la descarga utilice el proceso de dilución de las aguas residuales para tratar de cumplir con las normas oficiales mexicanas respectivas o las condiciones particulares de descarga

En lo que se refiere a Normas Oficiales Mexicanas relativas a la protección de la calidad del agua, actualmente se realiza una tarea de simplificación de tal manera que la meta es reducir aproximadamente 60 Normas a 3 Normas. A la fecha se han preparado 2, y en la tercera está en proceso de elaboración.

4.2.1 Norma : NOM-001

El lunes 24 de junio de 1996, se publicó en el Diario Oficial de la Federación el PROYECTO de Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.

El proyecto de Norma Oficial mexicana NOM-001-ECOL-1996 fue aprobado por el Comité Consultivo Nacional de Normalización para la protección Ambiental, en sesión celebrada el 16 de mayo de 1996 y fue publicada para consulta pública, de conformidad con el artículo 47 fracción I de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización.

A continuación se presenta un resumen del contenido de la citada norma.

ÍNDICE

1. Objetivo y campo de aplicación
2. Referencias
3. Definiciones
4. Especificaciones
5. Métodos de prueba
6. Verificación
7. Grado de concordancia con normas y recomendaciones internacionales
8. Bibliografía
9. Observancia de esta Norma

1. Objetivo y campo de aplicación

Esta Norma Oficial Mexicana establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las descargas de aguas residuales vertidas a aguas y bienes nacionales, con el objeto de proteger su calidad y posibilitar sus usos, y es de observancia obligatoria para los responsables de dichas descargas. Esta Norma Oficial Mexicana no se aplica a las descargas de aguas residuales provenientes de drenajes pluviales independientes.

4. Especificaciones

4.1 La concentración de contaminantes básicos y tóxicos para las descargas de aguas residuales a aguas y bienes nacionales, no debe ser superior al valor indicado como límite máximo permisible mostrado en los cuadros 4.1 y 4.2 de esta Norma Oficial Mexicana.

Las unidades del potencial de hidrogeno (pH) no debe ser mayor de 10 ni menores de 5.

4.2 El límite máximo permisible para la concentración de contaminantes patógenos para las descargas de aguas residuales vertidas a cuerpos receptores es de 1,000 y 2,000 el número mas probable (NMP) de coliformes fecales por cada 100 ml. para el promedio mensual y diario, respectivamente.

4.3 Para las descargas vertidas a suelo (uso en negro agrícola), el límite máximo permisible de huevos de helmintos para negro restringido es de 5 por litro; para riego irrestricto es de uno por litro.

4.4 Los responsables de las descargas de aguas residuales municipales vertidas a cuerpos receptores deberán cumplir con la Norma dentro del plazo establecido en el cuadro 4.3 de esta Norma Oficial Mexicana. De esta manera, el cumplimiento es gradual y progresivo, conforme a los intervalos de población y la inversión para la construcción de la infraestructura adecuada.

CUADRO 4.3

FECHA DE CUMPLIMIENTO A PARTIR DE:	INTERVALO DE POBLACION
1 enero 2000	mayor o igual a 50 000 habitantes
1 enero 2005	mayor o igual a 20 000 habitantes
1 enero 2010	mayor o igual a 2 500 habitantes

4.5 Los responsables de las descargas de aguas residuales no municipales vertidas a cuerpos receptores deberán cumplir con la presente Norma Oficial Mexicana dentro de los plazos establecidos en el cuadro 4.4. El cumplimiento es también gradual y progresivo de acuerdo con la carga contaminante manifestada en el Registro Público de los Derechos del Agua (REPGA)

CUADRO 4.4

FECHA DE CUMPLIMIENTO A PARTIR DE:	CARGA CONTAMINANTE DE LAS DESCARGAS NO MUNICIPALES	
	DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO TON/DIA	SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES TON/DIA
1 enero 2000	mayor o igual a 3.0	mayor o igual a 3.0
1 enero 2005	mayor o igual a 1.2	mayor o igual a 1.2
1 enero 2010	todos	todos

4.6 Las fechas de cumplimiento establecidos en los cuadros 4.3 y 4.4 de esta Norma Oficial Mexicana podrán ser acortadas por la Comisión Nacional del Agua para un cuerpo receptor en específico, siempre y cuando exista el estudio correspondiente que valide la modificación.

4.7 La Comisión Nacional del Agua podrá fijar condiciones Particulares de Descarga a cuerpos receptores, de manera individual o colectiva, que establezca lo siguiente:

I) Nuevos límites máximos permisibles de descarga de contaminantes

II) Límites máximos permisibles para parámetros adicionales a los contemplados en la presente Norma Oficial Mexicana.

Lo anterior deberá estar sustentado en Declaratorias de Clasificación de los Cuerpos de Aguas Nacionales o con estudios específicos elaborados por la Comisión Nacional del Agua o por los afectados, que permitan validar las modificaciones y/o adiciones a los parámetros correspondientes.

4.8 El responsable de la descarga tendrá la obligación de realizar el monitoreo de las descargas de aguas residuales con la finalidad de determinar el Promedio Diario y/o el Promedio Mensual, analizando los parámetros señalados en función del uso del cuerpo receptor, que se establece en la presente Norma Oficial Mexicana. Asimismo, deberán conservar sus registros de monitoreo por lo menos durante tres años posteriores a la toma de muestras.

4.9 El responsable de la descarga podrá estar exento de realizar el análisis de laboratorio de alguno o de varios de los parámetros de contaminantes que se señalan en la presente Norma Oficial Mexicana, cuando demuestre que no genera dichos contaminantes, manifestándolo por escrito ante la Comisión Nacional del Agua. La citada autoridad podrá verificar la presencia o ausencia de dichos parámetros en la descarga en cuestión y si resulta con presencia al responsable no quedará exento del cumplimiento de dichos parámetros y de las sanciones que pudieran resultar.

4.10 Cuando los responsables de las descargas pretendan realizar cambios sustanciales en su proceso productivo y estos modifiquen, adicionen o eliminen la presencia de parámetros en las descargas, tienen la obligación de comunicarlo por escrito a la Comisión Nacional de Agua.

4.11 Los responsables de las descargas deben de manejar, estabilizar y disponer de manera segura los lodos primarios biológicos y químicos, así como las basuras, arenas, grasas y aceites y otros subproductos del tratamiento de las aguas residuales, de acuerdo con las disposiciones aplicables en la materia.

4.12 En el caso de que el agua de abastecimiento presente alguno o varios de los parámetros señalados en esta norma, con concentraciones superiores a los límites máximos permisibles que se señalan en los puntos 4.1, 4.2 y 4.3 de la presente Norma Oficial Mexicana, no será imputable al responsable de la descarga el incumplimiento de los parámetros correspondientes siempre y cuando lo notifique por escrito a la Comisión Nacional del Agua, para que esta dictamine lo precedente.

4.2.2 Norma : NOM-002

El jueves 9 de enero de 1997, se publicó en el Diario Oficial de la Federación el PROYECTO de Norma Oficial Mexicana NOM-002-ECOL-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en los sistemas de alcantarillado.

El proyecto de norma fue aprobado por el Comité Consultivo Nacional de Normalización para la protección Ambiental en sesión celebrada el 24 de septiembre de 1996 y se publicó para consulta pública de conformidad, con el artículo 47 fracción I de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización.

A continuación se presenta un resumen del contenido de la citada norma.

ÍNDICE

- 1. Objetivo y campo de aplicación**
- 2. Referencias**

3. Definiciones
4. Especificaciones
5. Métodos de prueba
6. Grado de concordancia con normas y recomendaciones internacionales
7. Bibliografía
8. Observancia de esta Norma.

1. Objetivo y campo de aplicación

Esta norma Oficial Mexicana establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado a fin de prevenir y controlar la contaminación de las aguas y es de observancia obligatoria para los responsables de dichas descargas.

4. Especificaciones

4.1 La concentración de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado, no debe ser superior a la indicada como límite máximo permisible en el cuadro 4.5

CUADRO 4.5
LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES

PARAMETROS (mg/l excepto cuando se especifique otra)	Concentraciones promedio mensual	Concentraciones promedio diario
Grasas y aceites	50	100
Sólidos sedimentables (ml/l)	5.0	10.0
Arsénico	0.5	1.0
Cadmio	0.5	1.0
Cianuro	1.0	2.0
Cobre	10.0	20.0
Cromo	2.5	5.0
Mercurio	0.01	0.02

4.2 Las unidades de potencial de Hidrógeno (pH) no deben ser mayores de 10 (diez) ni menores de 6 (seis), mediante medición instantánea.

4.3 El límite máximo permisible de temperatura es de 40°C (cuarenta grados centígrados), medición instantánea. Se permitirá descargas a temperaturas mayores siempre y cuando, se demuestre al municipio que esté a cargo del alcantarillado correspondiente, por medio de un estudio sustentado que no dañe al sistema del mismo.

4.4 De acuerdo al método de prueba establecido en la Norma Mexicana NMX-AA-006 referida en el punto 2 de esta Norma Oficial Mexicana, la interpretación del resultado respecto a la materia flotante debe ser ausente.

4.5 No se deben descargar o depositar en los sistemas de alcantarillado sustancias o residuos considerados peligrosos, conforme a las normas oficiales mexicanas correspondientes.

4.6 Los municipios podrán fijar condiciones particulares de descarga a los responsables de las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado de manera individual o colectiva, que establezca lo siguiente:

- I) Nuevos límites máximos permisibles de descarga de contaminantes.
- II) Límites máximos permisibles para parámetros adicionales no contemplados en esta norma

Lo anterior debe estar sustentado en estudios específicos, presentados por los afectados o por el municipio competente.

4.7 Los responsables de las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado deben cumplir con la presente Norma Oficial Mexicana, en las fechas de cumplimiento establecidas en el cuadro 4.6 de esta norma. De esta manera, el cumplimiento es gradual y progresivo, conforme al número de habitantes y se debe tomar como referencia el último Censo General de Población Oficial.

CUADRO 4.6

FECHA DE CUMPLIMIENTO A PARTIR DE:	HABITANTES
1o. enero 1999	mayor o igual a 50,000 habitantes
1o. enero 2004	mayor o igual a 20,000 habitantes
1o. enero 2009	mayor o igual a 2,500 habitantes

4.8 Las fechas de cumplimiento establecidas en el cuadro 4.6 de la presente Norma Oficial Mexicana, pueden ser adelantadas de manera particular a una empresa, por el municipio, siempre y cuando se demuestre técnicamente que:

- a) Alguna descarga cause efectos nocivos en las plantas de tratamiento de aguas residuales que se encuentran en operación, o
- b) Alguna descarga previsiblemente cause efectos nocivos en la operación de las plantas de tratamiento de aguas residuales que se encuentren en construcción, pudiéndose exigir en este caso el cumplimiento a partir de la fecha en que la planta de tratamiento este en operación.

Quando se pretenda reducir las fechas de cumplimiento, el municipio deberá notificarlo a dicha empresa conforme a los procedimientos legales correspondientes.

4.9 Los responsables de las descargas tienen la obligación de realizar los análisis técnicos de las descargas de aguas residuales, con la finalidad de determinar el promedio diario o el promedio mensual, analizando los parámetros señalados en el cuadro 4.5 de la presente Norma Oficial Mexicana. Así mismo, deben conservar sus registros de análisis técnicos por lo menos durante tres años posteriores a la toma de muestras.

4.10 Los responsables de las descargas pueden ser eximidos del punto anterior y de presentar futuros resultados de mediciones, respecto de aquellos parámetros que comprueben técnicamente que no se puede generar en sus procesos productivos ni derivar de sus materias primas, mediante un reporte técnico del efluente. Los municipios podrán verificar la presencia o ausencia de dichos contaminantes de la descarga en cuestión, y si resulta con presencia el resultado no quedará exento del cumplimiento de estos y de las sanciones que pudieran resultar.

4.11 Los responsables de las descargas deben informar al municipio competente, de cualquier cambio de sus procesos, cuando con ello se ocasionen modificaciones en las características o en los volúmenes de las aguas residuales que hubieran servido para expedir el permiso de descarga correspondiente.

4.12 Las descargas provenientes de drenajes pluviales y de servicios, no quedan exentas de la inspección y vigilancia por parte del municipio correspondiente.

4.13 En caso de que el agua de abastecimiento registre alguna concentración promedio mensual de los parámetros señalados en el cuadro 4.5 de esta Norma Oficial Mexicana, la suma de esta concentración, al límite máximo permisible mensual, será el que deba cumplirse.

4.3 LEY GENERAL DE SALUD

Objetivo: La presente Ley reglamenta el derecho a la protección de la salud que tiene toda persona en los términos del artículo 4º de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. (artículo 1)

La Ley General de Salud se ocupa también de la misma materia que las anteriores leyes mencionadas, aunque desde una perspectiva circunscrita a la salud humana, estableciendo que queda prohibida la descarga de aguas residuales o de contaminantes en cualquier cuerpo de agua superficial o subterráneo, cuyas aguas se destinen para uso o consumo humano, los usuarios que utilicen aguas que posteriormente serán utilizadas para uso o consumo de la población, están obligados a darles el tratamiento correspondiente a fin de evitar riesgos para la salud humana.(art.122)

ARTICULO 122

Queda prohibida la descarga de aguas residuales sin el tratamiento para satisfacer los criterios sanitarios emitidos de acuerdo con la fracción III del artículo 118, así como de residuos peligrosos que contienen riesgos para la salud pública, a cuerpos de agua que se destinan para uso o consumo humano.

A continuación se presentan los títulos de la Ley General de Salud.

TITULO

- I. Disposiciones generales
- II. Sistema nacional de salud
- III. Prestación de los servicios de salud
- IV. Recursos humanos para los servicios de salud
- V. Investigación para la salud
- VI. Información para la salud
- VII. Promoción de la salud
- VIII. Prevención y control de enfermedades y accidentes
- IX. Asistencia social, prevención de invalidez y rehabilitación de inválidos
- X. Acción extraordinaria en materia de salubridad general
- XI. Programa contra las adicciones
- XII. Control sanitario de productos y servicios y de su importación y exportación.
- XIII. Publicidad
- XIV. Control sanitario de las disposiciones de órganos, tejidos y cadáveres de seres humanos
- XV. Sanidad internacional
- XVI. Autorizaciones y certificados
- XVII. Vigilancia sanitaria
- XVIII. Medidas de seguridad, sanciones y delitos

En materia de agua para uso y consumo humano, se tiene el Reglamento de la Ley General de Salud en materia de Control Sanitario de Actividades, Establecimientos, Productos y Servicios

Los títulos del Reglamento de la Ley General de Salud, se presentan a continuación.

TITULO

- I Disposiciones generales
- II Disposiciones comunes
- III Agua y hielo para uso y consumo humano y para refrigerar
- .
- .
- .
- XIII Bebidas no alcohólicas, productos para prepararlas y productos congelados de las mismas
- .
- .
- .
- XXV Efectos del ambiente en la salud

El título tercero, capítulo uno, se refiere al agua y hielo para uso y consumo humano y para refrigerar; en particular los artículos 209 a 213 se refieren a las características que debe tener el agua para ser considerada potable. Adicionalmente se tiene la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización.

ARTICULO 209

Se considera agua potable o agua apta para consumo humano, toda aquella cuya ingestión no cause efectos nocivos a la salud. Se considera que no causa efectos nocivos a la salud, cuando se encuentra libre de germenos patógenos y de sustancias tóxicas, y que cumpla, además con los requisitos que se señalan en este título y en la norma correspondiente.

ARTICULO 210

Para considerar que el agua es potable, la investigación bacteriológica se realizará de acuerdo a las normas respectivas y deberá dar como resultado lo siguiente:

I El número de organismos coliformes totales deberá ser, como máximo de dos organismos en 100 ml, según las técnicas del número más probable (NMP) o de la de filtro de membrana, y

II No contendrá organismos fecales.

Aparte de lo anterior, se podrán realizar, a satisfacción de las autoridades sanitarias, todas las pruebas que se consideren necesarias a fin de identificar otros riesgos en la salud

ARTICULO 211

Los requisitos organolépticos y físicos, se establecerán atendiendo a las siguientes características: aspecto, pH, sabor, olor, color, turbiedad del agua y en su caso, los demás que señale la norma.

ARTICULO 212

Se considera que el agua es potable, en lo relativo a las características organolépticas y físicas, cuando se encuentre dentro de los límites siguientes:

- I. Aspecto: Líquido.
- II. pH: De 6.9 a 8.5.
- III. Sabor: Característico
- IV. Olor: Característico
- V. Color: Hasta 20 unidades de la escala de platino cobalto, o su equivalente en otro método, y
- VI. Turbiedad: Hasta 10 unidades de la escala de sílice, o su equivalente en otro método

ARTICULO 213

El contenido, expresado en miligramos por litro, de elementos iónicos y sustancias, no excederá los límites permisibles que a continuación se expresan:

Alcalinidad total expresada- Como CaCO ₃	400.00
Aluminio	0.20
Arsénico	0.05
Bario	1.00
Cadmio	0.005
Cianuro expresado como -ión Cn	0.05
Cobre	1.50
Cloro libre: En agua clorada	0.20
En agua sobre clorada	1.00
Cromo hexavalente	0.05
Dureza de Calcio expresada como -CaCO ₃	300.00
Fenoles o compuestos fenólicos	0.001
Hierro	0.30
Fluoruros expresados como elemento	1.50
Magnesio	125.00
Manganeso	0.15
Mercurio	0.001
Nitratos expresados como nitrógeno	5.00
Nitrilos expresados como nitrógeno	0.05
Nitrógeno proteico	0.10
Oxígeno consumido en medio ácido	3.00
Plomo	0.05
Selenio	0.05
Sulfatos, expresados como ion	250.00
Zinc	5.0
SAAM (Sustancias Activas al azul de metilo)	0.5
ECC (Extractables Carbon-Diorotomo)	0.3
ECA(Extractables Carbon-Alcohol)	1.5

El título tercero, capítulo dos, se refiere al hielo para consumo humano y para refrigerar; en particular los artículos 228 a 230, 237 y 238 se refiere a las condiciones que debe cumplir su fabricación, reparto y expendio del hielo para consumo humano.

ARTICULO 228

Se entiende por hielo para consumo humano, el producto obtenido por congelación de agua potable, por lo que deberá cumplir con los requisitos que se establecen para esta, en el presente ordenamiento.

ARTICULO 229

Los propietarios o encargados de las fabricas de hielo para consumo humano, verificaran semanalmente la calidad del producto para asegurar su potabilidad. Los resultados de las determinaciones físicas, químicas y bacteriológicas, debidamente fechadas, se mandarán por lo menos durante un año, a disposición de la autoridad sanitaria que lo requiera.

ARTICULO 230

El hielo que se destine para ser ingerido o para la refrigeración directa de alimentos, bebidas y en general de todos aquellos productos de que trata este reglamento, deberá ser elaborado con agua potable y producirse en establecimientos autorizados por la Secretaría.

ARTICULO 237

Los requisitos para la fabricación del hielo, su reparto y expendio, sin envasar, se establecerán en la norma correspondiente.

ARTICULO 238

El hielo fraccionado en cualquier forma que se destine para ingerirse, deberá expendirse en bolsas impermeables, resistentes, transparentes y que no cedan sustancias peligrosas a la salud. Su etiquetado se ajustara, en lo que corresponda, a la ley y demás disposiciones aplicables.

Adicionalmente se tiene la Norma Oficial Mexicana NOM-042-SSA1-1993 Bienes y Servicios. Hielo potable purificado.

El título Decimotercero, capítulo uno, del Reglamento de la Ley General de Salud en materia de Control Sanitario de Actividades, Establecimientos, Productos y Servicios, en particular los artículos 788 y 789, se

refieren a las especificaciones físicas, químicas y la calidad microbiológica que debe cumplir el agua purificada envasada.

ARTICULO 788

El agua potable envasada comprende:

- I. Agua purificada
- II. Agua mineral natural y;
- III. Agua mineralizada artificialmente, que podrá estar carbonatada o no.

ARTICULO 789

Las especificaciones físicas y químicas, así como la calidad microbiológica del agua purificada, corresponderán como mínimo a las del agua potable y a lo que se establezca en la norma correspondiente.

Con respecto al agua embotellada se tiene la Norma Oficial Mexicana NOM-041-SSA1-1993. Bienes y Servicios. Agua purificada envasada.

5 USOS DEL AGUA Y SU CALIDAD

Los usos del agua autorizados en la legislación de nuestro país son seis: agua potable, recreativo, riego agrícola, uso pecuario, protección de la vida acuática (tanto agua dulce como agua salada) e industrial.

En la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM) se dan básicamente 3 usos al agua.

El 67% se destina al sector doméstico

El 17% se destina al sector industrial

El 16% se destina a servicios (escuelas, hospitales y oficinas entre otros)

La contaminación por desechos industriales y domésticos ha sido tan grande en los últimos años, que no únicamente ha afectado a las corrientes de agua superficiales sino también a las subterráneas. Esta contaminación trae consigo, aparte del ataque a la salud pública, una pérdida en los propios recursos hidráulicos del país por lo que se hace necesario mantener el agua en buenas condiciones y resguardar de contaminación a la que todavía esta libre de ella. Cada actividad que requiere de agua necesita que ésta se mantenga dentro de ciertos límites en su calidad. También debe considerarse que mientras más pobre sea la calidad, el uso queda restringido en proporción semejante.

Los usos principales del agua son los que se indican a continuación:

- Doméstico
- Industrial
- Riego agrícola
- Desarrollo y protección de la fauna
- Propagación de peces y vida acuática
- Recreación
- Energía y navegación.

A continuación se indican las condiciones mínimas que debe tener el agua para cada uno de los usos antes mencionados.

5.1 USO DOMESTICO

En este uso se incluye el agua distribuida a través de las redes municipales a hogares, comercios, industrias y a los servicios propios del municipio.

Con base en la información de la CNA y CONAPO se estima que a nivel nacional, en 1995 de una población total de 91.6 millones de habitantes, 15.1 millones carecen de agua potable y 30.2 millones de alcantarillado.

Se estima que la extracción total de agua para este uso es de 8.5 km³/año (27 m³/s). Existe capacidad para desinfectar el 95 % del agua que se suministra a la población, y reciben un proceso de potabilización aproximado de 2.2 km³/año (70 m³/s)

En materia de agua para uso y consumo humano, se tiene el Reglamento de la Ley General de Salud en materia de Control Sanitario de Actividades, Establecimientos, Productos y Servicios, título tercero que se refiere al agua y hielo para consumo humano y para refrigerar. Adicionalmente se tiene la NOM-127-SSA-1994 Salud Ambiental, Agua para Uso y Consumo Humano-Límites permisibles de calidad y tratamiento a que debe someterse el agua para su potabilización.

Pero en una forma más general referente a fuentes y de acuerdo al estado original del agua, el Cuadro 5.1 da a conocer la información que debe observarse para usarlas directamente o a través de un proceso de potabilización.

CUADRO 5.1
CALIDAD DEL AGUA POTABLE Y TRATAMIENTO DE POTABILIZACIÓN REQUERIDO

	Excelente, solo requiere desinfección	Buena, requiere filtración y desinfección	Pobre, requiere tratamiento especial y desinfección
DBO (mg/l)	0.75 - 1.5	1.5 - 2.5	más de 2.5
Promedio mensual máximo diario o por muestra	1.0 - 3.0	3.0 - 4.0	más de 4.0
Coliforme(NMP/100 ml)	50 - 100	50 - 5000	más de 5000
Promedio mensual máximo diario o por muestra	menos del 5% sobre 100	menos del 20% sobre 5000	menos del 5% sobre 20000
Oxígeno Disuelto	4.0 - 7.5	4.0 - 6.5	4.0
Promedio (mg/l)			
% de saturación	75 o más	60 o más	—
pH promedio	6.0 - 8.5	5.0 - 9.0	3.8 - 10.5
Cloruros (mg/l)	50 o menos	50 - 250	más de 250
Fluoruros mg/l)	menos de 1.5	1.5 - 3.0	más de 3.0
Compuestos fenólicos (mg/l)	nada	0.005	más de 0.005
Color (unidades)	0 - 20	20 - 150	más de 150
Turbiedad (unidades)	0 - 10	10 - 250	más de 250

5.2 USO INDUSTRIAL

Este uso se refiere al agua empleada por las industrias que se abastecen directamente de los cuerpos de agua y descargan a cuerpos receptores. No incluye termoelectricas ni industrias que se abastecen de las redes de agua potable y vierten sus desechos en las redes de alcantarillado municipales.

Se estima que en 1994 el volumen suministrado a la industria fuera de zonas urbanas fue de 2.5 km³ (78.7 m³/s). Este volumen corresponde a 1387 empresas consideradas como las más importantes por el uso y descarga de agua. El 75% del suministro para este uso proviene del agua subterránea, y el 25% restante de fuentes superficiales. El 35% del volumen total de agua se utiliza como materia prima o como medio de producción de distintos procesos, por lo que su calidad es un factor importante para este uso.

Al evaluar la información de la Red Nacional de Monitoreo de la Calidad del Agua, se observó que en las condiciones actuales es difícil el aprovechamiento del agua superficial por la industria, ya que el 59% se clasifica como contaminada, el 21% como fuertemente contaminada.

Los requerimientos de calidad del agua en la industria son de gran complejidad, siendo muy amplios y variados no solo por el tipo de industria sino también una misma fábrica puede utilizar el agua para diferentes actividades; tampoco ha sido posible establecer con precisión cantidades determinadas según sus productos.

Las industrias en general solicitan el agua con características relativamente constantes, siendo de preferencia la de calidad potable, que en caso de contener elementos indeseables, se eliminarán a través de tratamientos que corren por cuenta del usuario.

La tecnología utilizada en la mayoría de los procesos industriales es poco eficiente en el uso del recurso; esto se refleja en una extracción excesiva de agua y en una mayor producción de

contaminantes, entre los que destacan ácidos, bases, grasas y aceites, metales pesados y sólidos suspendidos totales. Las industrias que más agua utilizan y que contaminan más son: azucarera, química-petroquímica, petrolera, celulosa y papel, alimenticia y metálica básica.

5.3 USO PARA RIEGO AGRÍCOLA

La agricultura en México se práctica en una superficie de aproximadamente 20 millones de hectáreas, de las cuales 6.2 son de riego y el resto de temporal y temporal tecnificado.

En 1994 se extrajeron 61.2 km³ de agua para este uso. De éstos, 41.1 provinieron de fuentes superficiales y 20.1 de aguas subterráneas, distribuidos por regiones administrativas como se muestra en el cuadro 5.2. Se estima que realmente sólo se utilizan 40 km³/año en riego y el resto se pierde en las conducciones y en evaporación, del volumen señalado retoman 12 km³/año. Este volumen contiene residuos de pesticidas y fertilizantes que favorecen la proliferación de malezas acuáticas.

CUADRO 6.2
VOLÚMENES DE AGUA EXTRAÍDOS PARA USO EN RIEGO A NIVEL NACIONAL EN 1994

Región	En km ³ /año Superficie	En km ³ /año Subt.	En km ³ /año Total
Noroeste	12.4	5.4	17.8
Norte	6.4	4.4	10.8
Noreste	3.1	0.5	3.6
Lerma-Balsas	12.9	6.7	19.6
Valle de México	2.9	1.4	4.3
Sureste	3.4	1.7	5.1
Total	41.1	20.1	61.2

Fuente: Comisión Nacional del Agua 1994

Relacionado con la calidad del agua y desde el punto de vista de contaminación, interesa el uso agrícola por contacto directo con el hombre. Se consideran tres grupos para el agua destinada a riego:

1. Excelente a buena o para todo cultivo
2. Buena a perjudicial o para ciertos cultivos y bajo condiciones especiales
3. Perjudicial a insatisfactoria o nociva a la mayoría de los cultivos.

1.- En cuanto a las características bacteriológicas:

Grupo 1:

Aguas Superficiales

NMP presuntivo promedio :500/100 ml

NMP confirmativo promedio : 50/100 ml

Aguas Subterráneas

NMP presuntivo promedio : 1500/100 ml

Grupo 2:

NMP presuntivo promedio :2400/100 ml

NMP presuntivo máximo :4600/100 ml

2.- Respecto a las características físicas y químicas:

Concepto	Grupo 1	Grupo 2
Residuos Flotantes	ausentes	ausentes, no debe ser rechazada por animales.
Radio (226)	3 pc/l	3 pc/l
Estroncio (90)	10 pc/l	10 pc/l
Actividad beta total	1 pc/l	1 pc/l

3.- Por salinidad del agua, los siguientes limites en me/l

Condiciones del suelo	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
baja filtración	3	3.5	5
filtración regular	5	5 - 10	10
infiltración profunda	7	7 - 15	15

4.- Por otros elementos

Elemento	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
Na(%)	30 - 60	30 - 75	70 - 75
B(mg/l)	0.5 - 1.5	0.5 - 2.0	2.0 - 3.75
Cl (me/l)	2 - 5.5	2 - 16	6 - 16
SO ₄ (me/l)	4 - 10	4 - 20	12 - 20
C.E. µmhos/cm	500	500 - 3000	2500 - 3000
Sales totales (mg/l)	700	350 - 2100	1750 - 2100

Un límite para el uso del agua en riego, aunque independientemente de su grado de contaminación pero relacionado con ella, es la relación de adsorción de sodio (RAS)

$$RAS = \frac{Na}{\left[\frac{1}{2} (Ca + Mg) \right]^{1/2}}$$

donde:

Na, Ca y Mg son las concentraciones de los iones en miliequivalentes por litro de agua.

La figura 5.1 contiene un diagrama muy usado en problemas de riego para clasificar las aguas respecto al contenido de sodio y conductividad eléctrica.

A. No debe emplearse uso en casos muy especiales
B. Úsese si existe buen drenaje y bajo intercambio catiónico
C. Use satisfactorio para la mayoría de los suelos

FIG. 5.1

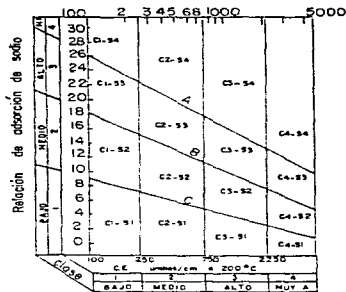


FIG 5.1

5.4 PROPAGACIÓN DE PECES Y VIDA ACUÁTICA

En México existe una superficie en cuerpos de aguas nacionales de 3.8 millones de hectáreas, de las cuales 2.9 corresponden a agua salada en litorales y 0.9 a agua dulce. En agua salada/salobre el área potencial para acuicultura se estima en poco más de 2 millones de hectáreas; de éstas, hay 450 mil propicias para el cultivo del camarón y 1.6 millones para otras especies. En agua dulce el potencial es de 900 mil hectáreas y se utilizan 754 mil hectáreas con alcances muy limitados.

El potencial acuícola se ha reducido por la contaminación en diferentes cuerpos de agua dulce y salada, ocasionada por la contaminación que producen la industria, la agricultura y las actividades urbanas.

Para este uso deben cumplirse varios parámetros de calidad del agua entre los que destacan los siguientes:

- Oxígeno disuelto no menor de 5 mg / l
- pH de 6.7 a 8.6 con límite extremos de 6.3 a 9.0
- Conductividad eléctrica a 25°C de 150 a 500 μ mhos por centimetro con un máximo de 1000 a 2000 en escumientos sobre áreas alcalinas.
- CO₂ libre de 5.9 mg/l
- Amoniaco no más de 1.5 mg/l
- Sólidos suspendidos tales que permitan la penetración de la luz a no menos de 5 m.
- NMP no mayor de 70/100 ml. No más del 10 por ciento de las muestras pueden sobrepasar un NMP de 230/100 ml.

En áreas restringidas el NMP puede ser hasta 10 veces mayor, pero debe desecharse si lo provocan descargas industriales. Existen otros límites más amplios pero si se aceptan debe ser solamente bajo vigilancia tanto para el desarrollo sano del pez como para evitar la transmisión de enfermedades por ingestión o por el manejo al hacer la limpieza antes de cocinarlo.

5.5 AGUA PARA NATACIÓN

Queda limitado por tres condiciones principales:

- Agradable aspecto
- Sin sustancias tóxicas a la ingestión o a la imitación de piel.
- Libre razonablemente de organismos patógenos.

Lo más importante es la última, ya que se ha observado que durante las temporadas vacacionales se enferman de fiebre tifoidea una de cada 950 personas cuando existen 1000 colis por 100 ml y se enferman de diarrea una de cada 50 personas bajo esa misma cantidad de colis. Por seguridad debe adoptarse la siguiente clasificación:

CUADRO 5.3

Clase de agua para baño	NMP / 100 ml
Buena	0 - 50
Dudosa	51 - 500
Mala	501 - 1000
Muy mala	más de 1000

En general se aceptan los límites indicados para agua potable, con valores hasta del 300 por ciento; pH de 6.5 a 8.5; y detergentes en no más de 1.0 mg/l

5.6 CANOTAJE Y DISFRUTE ESTÉTICO

Las aguas para recreación pero no para natación, pueden contener valores del NMP hasta 5000 /100 ml durante las temporadas de vacaciones. La superficie debe estar libre de sólidos flotantes; el contenido de ABS no debe exceder de 1.0 mg/l a fin de evitar la formación de espuma.

5.7 ENERGÍA Y NAVEGACIÓN

El uso del agua con fines de navegación en nuestro país ha sido limitado; sin embargo, es importante considerarlo debido a que puede afectar la calidad del agua y por ende a otro como la recreación, el turismo y la pesca. Es prioritario conciliar dos aspectos: por una parte impulsar el uso de la navegación, por su contribución al transporte, al comercio y a la recreación, y por otra parte, cuidar que esta actividad no limite a los demás usos.

La navegación afecta la calidad del agua de los ríos y estuarios por las descargas de residuos líquidos y sólidos, originados por fugas y por accidentes en la navegación y embarcaderos. Aun en la operación normal, las pequeñas embarcaciones y motocicletas acuáticas que usan motores de dos tiempos, arrojan grasas y aceites al agua.

El uso para la generación de energía eléctrica, en 1994 las centrales termoeléctricas generaron el 80% de la energía producida en el país y las hidroeléctricas el 20%. La termoeléctricas y las hidroeléctricas utilizaron 113.2 km² de agua

La extracción del agua para generación hidroeléctrica por regiones administrativas se presenta en el cuadro 5.4

En las termoeléctricas se consume agua debido a la evaporación que se genera en el enfriamiento. En algunas centrales se utilizan sistemas cerrados para recircular el agua y disminuir el consumo del recurso. En estos sistemas se generan concentraciones de sales, lo que representa un riesgo de contaminación cuando se efectúan las purgas de los equipos.

Lo más importante es la última, ya que se ha observado que durante las temporadas vacacionales se enferman de fiebre tifoidea una de cada 950 personas cuando existen 1000 colis por 100 ml y se enferman de diarrea una de cada 50 personas bajo esa misma cantidad de colis. Por seguridad debe adoptarse la siguiente clasificación:

CUADRO 5.3

Clase de agua para baño	NMP / 100 ml
Buena	0 - 50
Dudosa	51 - 500
Malta	501 - 1000
Muy mala	más de 1000

En general se aceptan los límites indicados para agua potable, con valores hasta del 300 por ciento; pH de 6.5 a 8.5; y detergentes en no más de 1.0 mg/l

5.6 CANOTAJE Y DISFRUTE ESTÉTICO

Las aguas para recreación pero no para natación, pueden contener valores del NMP hasta 5000 /100 ml durante las temporadas de vacaciones. La superficie debe estar libre de sólidos flotantes; el contenido de ABS no debe exceder de 1.0 mg/l a fin de evitar la formación de espuma.

5.7 ENERGÍA Y NAVEGACIÓN

El uso del agua con fines de navegación en nuestro país ha sido limitado; sin embargo, es importante considerarlo debido a que puede afectar la calidad del agua y por ende a otro como la recreación, el turismo y la pesca. Es prioritario conciliar dos aspectos: por una parte impulsar el uso de la navegación, por su contribución al transporte, al comercio y a la recreación, y por otra parte, cuidar que esta actividad no limite a los demás usos.

La navegación afecta la calidad del agua de los ríos y estuarios por las descargas de residuos líquidos y sólidos, originados por fugas y por accidentes en la navegación y embarcaderos. Aun en la operación normal, las pequeñas embarcaciones y motocicletas acuáticas que usan motores de dos tiempos, arrojan grasas y aceites al agua.

El uso para la generación de energía eléctrica, en 1994 las centrales termoeléctricas generaron el 80% de la energía producida en el país y las hidroeléctricas el 20%. La termoeléctricas y las hidroeléctricas utilizaron 113.2 km² de agua. La extracción del agua para generación hidroeléctrica por regiones administrativas se presenta en el cuadro 5.4

En las termoeléctricas se consume agua debido a la evaporación que se genera en el enfriamiento. En algunas centrales se utilizan sistemas cerrados para recircular el agua y disminuir el consumo del recurso. En estos sistemas se generan concentraciones de sales, lo que representa un riesgo de contaminación cuando se efectúan las purgas de los equipos.

CUADRO 6.4
EXTRACCIÓN DE AGUA PARA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN 1994, EN km³

Región	Centrales termoeléctricas	Centrales hidroeléctricas	Total
Noroeste	0.000	14.8	14.8
Norte	0.070	3.8	3.8
Noreste	0.113	2.8	2.8
Lerma-Balsas	0.022	34.1	34.1
Valle de México	0.041	0.4	0.4
Sureste	0.005	57.4	57.4
Total	0.151	113.2	113.4

Fuente: Comisión Federal de Electricidad 1994
 Comisión Nacional del Agua 1994

Para este uso el agua debe estar libre de sustancias tales como: ácidos, álcalis y salinidad excesiva que acelere la corrosión y detenero de ductos y vehículos; de sólidos flotantes; sedimentos y sólidos suspendidos; materia orgánica putrecible que genere malos olores; algas, gusanos; aceites que pudieran provocar incendios.

CONCLUSIONES

El agua que se extrae o llega a la Ciudad de México, se distribuye con el fin de satisfacer las diferentes necesidades de una población de más de 18 millones de habitantes. De ahí se desprende que exista una legislación que regula y establece los diferentes usos del agua potable.

A nivel nacional, se extraen anualmente 185 km³ de aguas superficiales y subterráneas para los diversos usos, lo cual representa 43% del volumen total anual de agua renovable. De este volumen, 61% se utiliza en la generación de energía hidroeléctrica, 30% en riego, 5% para la industria y el restante 4% para uso urbano, que incluye el suministro de agua potable, como se muestra en el Cuadro A.

CUADRO A
EXTRACCIÓN, CONSUMO Y DESCARGA ANUAL A NIVEL NACIONAL

Usos	Extracción Vol. km ³	Consumo Vol. km ³	Descarga Vol. km ³
Agrícola	55.5	46.6	8.9
Industrial	9.3	3.7	5.6
Urbano	7.4	3.5	3.9
Hidroeléctrica	128.8	---	---
Total	185.0	53.0	19.2

Fuente: CNA, SARH, 1993

Las extracciones para uso agrícola se concentran en las entidades del norte y noroeste del país y en el bajío; las destinadas a la industria se localizan, en la ZMCM, en la cuenca del río Lerma y en el noroeste del país; y las de generación hidroeléctrica en el sureste. De las extracciones para uso urbano 49%, corresponden a las tres principales áreas metropolitanas del país, a algunas ciudades medias y ciudades de la frontera norte.

El consumo, esto es, la cantidad de agua que no retorna a las corrientes una vez utilizada, es de 53 km³ anuales, 88% de este volumen corresponde al sector agrícola, el 7% al sector industrial y el 5% al uso doméstico.

Las necesidades de agua de la población, en cuanto a consumo, así como el interés en la preservación de los recursos hídricos nacionales, llevó al establecimiento en 1974 de la Red Nacional de Monitoreo de la Calidad del Agua, para establecer una medición continua y sistemática en los principales cuerpos de agua. Sirve para evaluar la calidad de los cuerpos de agua del país, como parte para la realización de estudios especiales de calidad del agua y de impacto ambiental y por último, para definir políticas de saneamiento.

Actualmente incluye 793 puntos que cubre los principales cuerpos de agua del país; 383 sitios para la vigilancia de 196 ríos, 224 para la supervisión de agua subterránea, 76 en 42 presas, 25 en drenes, 24 en 13 canales, 20 vigilan 12 zonas costeras, 5 para estuarios, 23 cubren 22 lagos y lagunas, 7 verifican a 7 arroyos y 6 a un número igual de cenotes. Con los datos de la red se elaboran mapas de calidad para definir usos, así: como mapas sobre el estado de la contaminación.

Con la información de la red nacional de monitoreo se evaluaron las condiciones que prevalecen en las principales cuencas del país, mediante el índice de Calidad del Agua (ICA) que toma en cuenta 16 parámetros. Se concluyó que prácticamente todos los cuerpos de agua importantes tienen grandes zonas contaminadas. Ver figura "A".

Se considera que por su nivel de contaminación, se requiere atención prioritaria en las siguientes 15 cuencas: Pánuco, Lerma, Balsas, San Juan, Coatzacoalcos, Blanco, Papaloapan, Valle de México, Conchos, Coahuayana, Culiacán, Fuerte, Yaqui, Mayo y Bajo Bravo. En la figura "A" se presenta un panorama general de la contaminación en el país.

PANORAMA GENERAL DE LA CALIDAD DEL AGUA SUPERFICIAL
FIGURA A



ICA



ICA = Índice de calidad del agua

El agua residual que retorna a las corrientes con mayor o menor grado de carga de contaminantes suma menos de 20 km³ al año. El sector agrícola genera 46% de este volumen y sus contaminantes son residuos agroquímicos y restos de suelo debido a la erosión. La industria genera 28% con una amplia gama de compuestos, muchos de ellos contaminantes; El restante 26% se vierte a través de las descargas municipales con contenido de materia orgánica y bacteriológica.

Con relación a la infestación por malezas acuáticas, favorecida por la existencia de nutrientes (fósforo y nitrógeno) provenientes de retornos agrícolas y descargas de aguas residuales domésticas o industriales, se han infestado del orden de 68 mil hectáreas en 268 cuerpos de agua, 10 mil km de canales y 14 mil km de drenes. Este problema propicia el desarrollo de insectos y otros organismos vectores de enfermedades, desalienta el desarrollo de actividades recreativas, afecta la pesca y la navegación, provoca una pérdida excesiva de agua por evaporotranspiración, disminuye la capacidad de los embalses, impide el uso eficiente de las obras hidráulicas e incrementa el costo de operación de las mismas. Actualmente la CNA atiende a través del Programa de Control de Malezas Acuáticas (PROCMA) que se desarrolla principalmente en las presas Solís, Endhó, Madín, Barraje de Ibarra, Valle de Bravo y Melchor Ocampo, así como en las lagunas de San Miguel Almaya y de Zumpango.

Para el año de 1995, se generan 7.3 km³/año (231 m³/s) de aguas residuales y sólo se recolectan en el alcantarillado 5.5 km³/año (174 m³/s). Se cuenta con la infraestructura para tratar 1.4 km³/año (43 m³/s); sin embargo, sólo se tratan adecuadamente 0.53 km³/año (17 m³/s) por lo que se descargan al medio ambiente sin tratar 6.8 km³/año (214 m³/s).

Se estima que la población del país genera 1.80 millones de toneladas de Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO), parámetro representativo de la contaminación orgánica. De éstas, 0.58 millones de toneladas no se recolectan por sistemas convencionales y 1.22 millones de toneladas se recolectan mediante los sistemas de alcantarillado. Únicamente 0.15 millones de toneladas de DBO son tratadas adecuadamente, antes de ser descartadas al medio natural.

Para el año 2000, se estima que la demanda total de agua potable será de 9.4 km³/año (299 m³/s) y se generarán 7.7 km³/año (244 m³/s) de aguas residuales con 1.95 millones de toneladas al año de DBO, de las cuales se captarán en el alcantarillado 6.3 km³/año (200 m³/s), con 1.49 millones de toneladas al año de DBO.

Por otro lado para enfrentar los problemas y conflictos que ha generado el aprovechamiento del agua, la administración pública ha dado especial atención a la actualización del marco jurídico y de la política hidráulica, a fin de promover los cambios indispensables para lograr un manejo de los recursos hídricos acorde al proceso de modernización del país.

Los objetivos básicos de la política hidráulica del país:

- Desarrollar la infraestructura hidráulica necesaria para eliminar los rezagos existentes y satisfacer nuevas demandas, con la debida prioridad al uso pleno de la infraestructura existente.
- Inducir el uso eficiente del agua por parte de los usuarios, lo cual incluye el rehuso y la recirculación del recurso y preservación de su calidad.
- Restaurar y mejorar la calidad del agua de los cuerpos de agua superficial y subterránea del país y asegurar la calidad del agua que se suministra a la población entre otros usos que pudieran afectar la salud pública.

El programa de agua potable alcantarillado y saneamiento, propuesto por la CNA en su Programa Hidráulico 1995-2000, establece las siguientes prioridades y metas:

- Incrementar el abasto de agua del sistema Cutzamala para el Valle de México, de $0.6 \text{ km}^3/\text{año}$ ($19 \text{ m}^3/\text{s}$) a $0.76 \text{ km}^3/\text{año}$ ($24 \text{ m}^3/\text{s}$) y dar tratamiento a $1.3 \text{ km}^3/\text{año}$ ($42 \text{ m}^3/\text{s}$) de aguas residuales
- Mantener niveles de desinfección que cubran cuando menos el 95% del agua que se suministra a la población e incrementar de 2.2 a $2.4 \text{ km}^3/\text{año}$ (70 a $75 \text{ m}^3/\text{s}$) la capacidad instalada de potabilización.
- Incrementar el tratamiento de aguas residuales de origen urbano de 0.54 a $2.6 \text{ km}^3/\text{año}$ (17 a $82 \text{ m}^3/\text{s}$) incluyendo los logros de la rehabilitación de infraestructura existente y por la construcción de nuevos sistemas. Dar prioridad a la instalación de plantas de tratamiento de aguas residuales en localidades ubicadas en las 15 cuencas prioritarias.

BIBLIOGRAFÍA

APHA-WPCF-AWWA
Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales
Ediciones Díaz de Santos
17 Edición

Comisión Nacional del Agua CNA
Ley de Aguas Nacionales
Diciembre 1992

Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos

Dirección General de Protección y Ordenación Ecológica; Subdirección de Investigación y
entrenamiento
Manual de microbiología del agua; 2ª Edición
México, D.F., marzo 1980

Emilio Escobar C., Centro de Investigación y Entrenamiento
Manual de técnicas de muestreo y análisis de campo; 3ª Edición

Fair, G.M.; Geyer, J.C.; Okun, D.A.
Purificación de Aguas y Tratamiento y Remoción de Aguas Residuales, Vol. II
Editorial Limusa, México, 1993

Georgina Fernández Villagomez
Apuntes de Química Ambiental
Editado por la División de Estudios de Posgrado, Facultad de Ingeniería
Ingeniería UNAM 1986

Instituto Nacional Indigenista INI, Subdirección de Salud y Bienestar Social
Salud Pública
Editorial Limusa, 1995

Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente
Diciembre 1996

Murgia Vaca Ernesto, M.I.
Evaluación, Efectos y Solución de la Contaminación del Agua

Poder Ejecutivo Federal
Programa Hidráulico 1995-2000
Febrero 1996

**Programa Universitario del Medio Ambiente
Temas Ambientales, Ciudad de México**

**SEDESOL, Instituto Nacional de Ecología
Informe de la Situación General en Materia de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente 1993-
1994**

**Secretaría de Salubridad y Asistencia
Dirección de Ingeniería Sanitaria
Editorial Limusa, México 1970**

**Secretaría de Salubridad y Asistencia Social
Ley General de salud
1993**

**Subsecretaría de Planeación y Ordenación Ecológica
Manual de Análisis de Aguas y Aguas de Desecho, Vol. I y II
4ª Edición**

**The Canadian Institute on Pollution Control
Manual de Prácticas de Muestreo de Aguas de Desecho
Editorial X.L. Murphy, 1972**

**TESIS
Ledesma Ramirez Rosalía
Desinfección con Cloro en la Potabilización de Agua y el Tratamiento de Aguas Residuales
México, D.F., 1996**

GLOSARIO

Aculfero. Formación geológica subterránea que contiene agua.

Anion. Partícula que se encuentra cargada eléctricamente, con una carga negativa.

Bacterias. Organismos unicelulares microscópicos. No necesitan la luz para sus procesos de vida.

Bacterias heterótrofas. Son aquellos microorganismos unicelulares que carecen de envoltura nuclear y que no tienen la capacidad de alimentarse por sí mismas como la planta, es decir, obtienen los alimentos orgánicos de síntesis y la energía a partir de la materia orgánica elaborada por otros seres vivos.

Cation. Ion cargado positivamente.

Catodo. Siendo el voltámetro un depósito con una sustancia que disuelta en el agua permite el paso de la corriente eléctrica a través de ella (electrolito) y dos terminales metálicas para electrolizar el líquido contenido en él: el catodo es una de las dos terminales metálicas del voltámetro, la cual se conecta con el polo negativo del generador.

Condiciones particulares de descarga. El conjunto de parámetros físicos, químicos y biológicos y de sus límites máximos permitidos en las descargas de agua residual a los sistemas de alcantarillado, determinados por la autoridad competente con el fin de preservar y controlar la calidad de las aguas.

Contaminantes. Son aquellos que en concentraciones por encima de determinados límites, pueden producir efectos negativos en la salud humana y el medio ambiente, dañar la infraestructura hidráulica o inhibir los procesos de tratamiento de las aguas residuales.

Contaminantes básicos. Son aquellos que se presentan invariablemente en las descargas de aguas residuales y que pueden ser removidos o estabilizados mediante tratamientos convencionales (sedimentación convencional, físico-química y procesos biológicos)

Contaminantes patógenos. Son aquellos microorganismos que están presentes en las aguas residuales y que representan un riesgo a la salud humana, flora y fauna. En esta categoría se encuentran las bacterias, virus, coliformes y huevos de helmintos.

Contaminantes tóxicos. Son aquellos que, en concentraciones por encima de determinados límites, pueden producir efectos negativos en la salud humana, así como a la flora y fauna acuáticas.

Cuerpo receptor. La corriente o depósito natural de agua, presas, cauces zonas marinas o bienes nacionales donde se descargan aguas residuales.

Descarga. La acción de verter aguas residuales a los sistemas de alcantarillado

Electrólisis. Paso de la corriente eléctrica por cierta clase de líquidos conductores (electrolito) que provoca la descomposición química del líquido.

Estuario. Es el tramo de río bajo influencia de las mareas y cuya longitud se extiende hasta la zona donde la concentración de cloruros es de 250 mg/l o mayor durante los caudales de estiaje.

Humedales naturales. Las zonas de transición entre los sistemas acuáticos y terrestres que constituyen áreas de inundación temporal o permanente, sujetas o no a la influencia de las mareas, como pantanos, ciénagas y mansmas, cuyos límites lo constituyen el tipo de vegetación hidrófila de presencia permanente o estacional; las áreas donde el suelo es predominantemente hídrico; y las áreas lacustres o de suelos permanentemente húmedos originadas por la descarga natural de acuíferos.

Ion. Un átomo o grupo de átomos enlazados covalentemente que llevan una carga eléctrica.

Límite máximo permisible. Valor o intervalo que no debe ser excedido por el responsable de la descarga de aguas residuales y que se define en términos de la concentración de contaminantes básicos y tóxicos, exceptuando los parámetros de temperatura y de potencial hidrógeno (pH), que se establecen en sus propias unidades.

Organismos patógenos. Son bacterias parásitas que al crecer, producen sustancias venenosas para el huésped, el cual adquiere así un estado que se llama enfermedad.

Parámetro. Variable que se utiliza como referencia para determinar la calidad del agua.

Plancton. Conjunto de organismos autótrofos (fitoplancton) y heterótrofos (zooplancton) de pequeñas dimensiones que viven suspendidos en el agua; no se desplazan con movimientos propios, sino que son transportados por los movimientos de las aguas.

Potabilización. Serie de procesos para hacer el agua apta para bebida.

Promedio diario (P.D.) Es el resultado del análisis de una muestra compuesta, tomada en un día representativo del proceso generador de la descarga.

Promedio mensual (P.M.) Es el promedio ponderado de una función del flujo de los resultados de los análisis de laboratorio practicados al menos a dos muestras compuestas, tomadas en días representativos de la descarga en un período de un mes.

Riego irrestricto. La utilización del agua destinada a la actividad de siembra, cultivo y cosecha de productos agrícolas en forma ilimitada como forrajes, granos, frutas, legumbres y verduras.

Riego restringido. La utilización del agua destinada a la actividad de siembra, cultivo y cosecha de productos agrícolas, excepto legumbres y verduras que se comen crudas.