

17



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
"ZARAGOZA"

OBTENCION DE AGUA PARA CONSUMO
HUMANO A PARTIR DE AGUA DEL
RIO USUMACINTA.

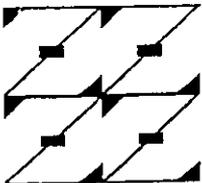
300340

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO QUIMICO

P R E S E N T A:
JAIME ARTURO LEZAMA BALLINA

ASESOR: I.Q. ALEJANDRO ROGEL RAMIREZ



LO HUMANO
EJE
DE NUESTRA REFLEXION

MÉXICO, D.F. 2001



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.



FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES ZARAGOZA

JEFATURA DE LA CARRERA
DE INGENIERIA QUIMICA

OFICIO: FESZ/JCIQ/536/01

ASUNTO: Asignación de Jurado

ALUMNO: LEZAMA BALLINA JAIME ARTURO
P r e s e n t e.

En respuesta a su solicitud de asignación de jurado, la jefatura a mi cargo, ha propuesto a los siguientes sinodales:

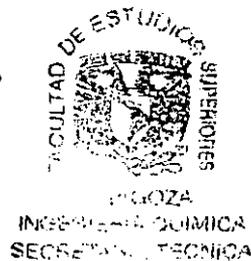
Presidente:	M. en C. Alejandro Rogel Ramírez
Vocal:	I.Q. Raúl Ramón Mora Hernández
Secretario:	Q. Martha Ortiz Rojas
Suplente:	I.Q. Arturo E. Méndez Gutiérrez
Suplente:	I.Q. Dominga Ortiz Bautista

Sin más por el momento, reciba un cordial saludo.

A t e n t a m e n t e
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
México, D. F., 30 de Octubre del 2001.

EL JEFE DE LA CARRERA

I.Q. ARTURO E. MENDEZ GUTIERREZ



DEDICATORIA

A MIS PADRES

Por haberme brindado
La oportunidad de
Superarme.

A MIS HERMANOS

Agradezco su impulso
Para seguir adelante.

A MIS FAMILIARES

Por su respaldo y
Comprensión.

In Memoriam

A tito

A MI ESPOSA

Gracias por el apoyo
Y esfuerzo compartido
Para alcanzar esta
meta.

A MIS HIJOS

Por ser la continuación
De mi existencia y fuente
De la energía que me
Motiva a ser mejor.

A MIS MAESTROS

Por compartir sus
Conocimientos.

DEDICATORIA

A MIS PADRES

Por brindarme la oportunidad
De realizar una de mis metas
En la vida.

A MIS HERMANOS

Por compartir una parte
De mis sueños.

A MIS FAMILIARES

Por su ayuda y respaldo
En todo momento.

In Memoriam

A tito

A MI ESPOSA

Por su apoyo e impulso
en los momentos difíciles.

A MIS HIJOS

Por ser la continuación
De mi existencia y
Fuente de la energía
Que me motiva.

A MIS MAESTROS

Por compartir sus
Conocimientos.

CONTENIDO

Resumen.	1
Introducción.	2
1. Generalidades Sobre Aguas y Ríos.	3
1.1 Fuentes de Agua Potable.	4
1.2 Selección de las Variables de la Calidad del Agua.	4
1.2.1 Variables Hidrológicas.	9
1.2.1.1 Velocidad.	9
1.2.1.2 Descarga.	9
1.2.1.3 Nivel del agua.	10
1.2.1.4 Dinámica de la Materia Suspendida.	10
1.2.2 Variables Generales.	11
1.2.2.1 Temperatura.	11
1.2.2.2 Color.	12
1.2.2.3 Olor.	12
1.2.2.4 Residuo y Sólidos Totales Suspendidos.	13
1.2.2.5 Materia Suspendida y Turbidez.	13
1.2.2.6 Conductividad.	14
1.2.2.7 pH, Acidez y Alcalinidad.	14
1.2.2.8 Potencial Redox.	15
1.2.2.9 Oxígeno Disuelto.	16
1.2.3.0 Dióxido de Carbono.	16
1.2.3.1 Dureza.	17
1.2.3.2 Clorofila.	18
1.3 Materia Orgánica.	18
1.3.1 Carbón Orgánico Total.	18
1.3.2 Demanda Química de Oxígeno.	19
1.3.3 Demanda Bioquímica de Oxígeno.	20
1.4 Indicadores Microbiológicos.	20
1.5 Características de los Cuerpos de Agua.	22
1.5.1 Aspectos Hidrodinámicos.	22
1.5.2 Propiedades Fisicoquímicas.	24
1.5.3 Fuentes de Suministro de Agua Municipal.	25
1.5.4 Definición de Calidad del Agua	26
1.5.5 Usos del Agua e Impacto Humano Sobre la Calidad del Agua.	28
1.5.6 Rutas y Fuentes de Contaminación.	30
1.6 Ríos.	31
1.6.1 Clasificación de los ríos.	32
1.7 Aguas Negras y Alcantarillado Municipal.	34
2. Impacto Sobre la Salud Humana.	35
2.1 Causas de las Enfermedades de Origen Acuático.	36
2.2 Fuentes de Contaminación de Sistemas Municipales de Agua.	37
2.3 Pruebas para Contaminantes Biológicos.	39

2.3.1 Coliforme Total.	39
2.3.2 Coliformes Fecales.	41
2.3.3 Conteo de la Placa Heterotrófica (HPC).	42
2.3.4 Giardia.	43
2.3.5 Virus.	44
2.3.6 Legionella.	45
2.3.7 Esporas.	46
2.4 Efecto de Los Procesos de Tratamiento de Agua Sobre la Eliminación de Microorganismos.	47
3. Métodos Físicos de Purificación del Agua.	50
3.1 Electrodialisis.	51
3.2 Filtración.	54
3.2.1 Coagulantes, Floculantes y Carbón Activado.	56
3.2.1.1 Coagulantes.	56
3.2.1.2 Floculantes.	58
3.2.1.3 Carbón Activado.	59
3.2.2 Filtración por Gravedad en un Medio Granular.	60
3.2.3 Medio Filtrante.	62
3.2.4 Procesos de Filtración.	64
3.2.4.1 Filtración Tradicional.	64
3.2.4.2 Filtración Directa.	65
3.2.5 Ventajas de la Filtración.	66
3.3 Ultrafiltración.	67
3.4 Ultracentrifugación.	69
3.5 Osmosis Inversa.	70
4. Métodos Microbicidas de Purificación del Agua.	72
4.1 Ozonación.	73
4.2 Radiación Ultravioleta.	73
4.3 Haz de Electrones.	74
4.4 Cloración.	75
4.4.1 Propiedades del Cloro.	75
4.4.2 Química del Cloro.	77
4.4.3 Velocidades de la Dosis de Cloro y Residuos.	79
4.4.4 Sistema de Cloración.	81
4.4.5 Efectos Tóxicos del Cloro.	82
4.5 Dióxido del Cloro.	82
4.6 Desinfección por Subproductos.	83
5. Propuesta de Tratamiento de Agua de Río Para Consumo Humano.	87
5.1 Planteamiento del Problema.	88
5.1.1 Objetivos.	88
5.1.2 Hipótesis de Trabajo.	89
5.1.3 Material y Métodos.	89
5.2 Aspectos Hidrológicos.	90
5.3 Descripción del Proceso.	93
5.4 Costos de Operación.	101
5.5 Conclusiones.	101

RESUMEN

En el presente trabajo se analiza en el capítulo uno todo lo concerniente a las fuentes de agua potable, las variables de calidad del agua, materia orgánica, indicadores microbiológicos, características de los cuerpos de agua, ríos y aguas negras y alcantarillado municipal. Es importante mencionar que la fuente de agua para el proceso de filtración es el río Usumacinta.

En el capítulo dos se abordan las causas que originan las enfermedades de origen acuático, fuentes de contaminación de sistemas municipales de agua, pruebas para contaminantes biológicos y los efectos de los procesos de tratamiento de agua sobre la eliminación de microorganismos. Actualmente se está tomando cada vez mas una mayor conciencia acerca del riesgo que implica el ingerir agua no tratada o pobremente tratada.

En el capítulo tres se abordan los métodos físicos para la purificación del agua, centrándose en el proceso de filtración que será el utilizado para implementar un módulo de purificación consistente de tres filtros.

En el capítulo cuatro se abordan los métodos microbicidas, enfocándose a la cloración.

En el capítulo cinco se detalla el proceso de purificación de agua de río, desde el punto de vista de una aplicación de la filtración acompañada de una cloración, análisis microbiológico del agua filtrada, así como un cálculo simple del costo del proceso para un año de operación.

Finalmente en el capítulo seis se hace una conclusión general del presente trabajo.

INTRODUCCIÓN.

El agua es la sustancia líquida más común sobre la tierra cubre el 72% de la superficie y es la única sustancia que se encuentra en forma natural como un líquido, un sólido(nieve y hielo) y gas(vapor de agua) en la atmósfera.

En el presente trabajo se aborda el tema de las fuentes de agua para consumo humano desde ríos, lagos y aguas subterráneas, tomando en cuenta el ciclo hidrológico.

Por otro lado se aborda el tema de las enfermedades de origen acuático, debido a que cada día se incrementa el riesgo de una contaminación biológica por un inadecuado manejo de los métodos microbicidas como la cloración, ozonación o debido a la falta de infraestructura adecuada para el tratamiento eficiente del agua cruda mediante métodos físicos como la ultrafiltración o la osmosis Inversa..

El objetivo principal del presente trabajo es la aplicación del proceso de filtración directa para la purificación de agua para consumo humano a partir de agua extraída del río Usumacinta con el propósito de que los pobladores de las comunidades muy dispersas que se ubican a lo largo de la ribera del río se puedan autoabastecer de agua de alta calidad de acuerdo a las normas oficiales (NOM-127) en su propia comunidad. Para evitar posibles problemas de salud por ingerir agua cruda sin ningún tratamiento. Esto es, se ha observado que estos habitantes se abastecen directamente del río mediante una cubeta, la cual dejan que sedimente(asiente) para posteriormente ingeriría sin valorar el peligro que representa para su salud.

Cabe mencionar que una filtración del agua de río utilizando una tela y su posterior ebullición no es una práctica común, aunque parezca muy simple sobretodo debido a los hábitos de higiene de estas personas.

1.1 FUENTES DE AGUA POTABLE.

En algunas regiones el agua subterránea o el agua de ríos y lagos se usa para tomar sin tratamiento, en otras áreas se somete a tratamiento y desinfección antes de usarla. En ambos casos el agua para consumo debe ser monitoreada en las variables que tienen un riesgo potencial para la salud humana. Una guía para los niveles máximos de esas variables en el agua potable los proporciona la Organización Mundial de la Salud(OMS) y la Agencia para la Protección del Ambiente(EPA) de los E.U.A. ver Tabla 1.1.

En México la SSA regula el procesamiento de agua potable para consumo humano mediante la Norma Oficial Mexicana la cual específicamente se conoce como NOM-127 "Agua para uso y consumo humano".

En la tabla 1.2, 1.3 y 1.4 se muestran los límites permisibles de la calidad del agua según esta Norma.

1.2 SELECCIÓN DE LAS VARIABLES DE CALIDAD DEL AGUA.

La selección de las variables para cualquier programa de aseguramiento de calidad del agua depende de los objetivos de dicho programa, la selección apropiada de las variables deberá ayudar a que sean alcanzados los objetivos en forma eficiente y de la manera más efectiva en cuanto a costos.

Los métodos empleados para medir las variables seleccionadas depende de que tan accesibles sean los equipos y reactivos, de la disponibilidad del equipo técnico y su grado de experiencia y del nivel de aproximación requerido por los objetivos del programa.

Tabla 1.1 Concentración Máxima Permitida de Diferentes Variables de Calidad del Agua.

Variables	OMS	EPA
Color(TCU)	15	15
Sólidos Totales Disueltos(mg/l)	1000	500
Turbidez	5	1.5
PH	6.5-8.5	6.5-8.5
Dureza (mg/caco ₃)	500	-
Sodio (mg/l)	200	-
Cloro (mg/l)	250	250
Sulfato (mg/l)	400	250
Flúor (mg/l)	1.5	2
Aluminio (mg/l)	0.2	-
Arsénico (mg/l)	0.05	0.05
Coliformes fecales (N° por 100 ml)	0	-
Coliformes (N° por 100 ml)	0-3	1
Cromo (mg/l)	0.05	0.05
Hierro (mg/l)	0.3	0.3
Plomo (mg/l)	0.05	0.05
Mercurio (mg/l)	0.0001	0.002
Detergentes (mg/l)	-	0.5

Fuente: Chapman, 1990.

Tabla 1.2 Límites Microbiológicos

CARACTERÍSTICA	LÍMITE PERMISIBLE
Organismos coliformes totales	Ausencia o no detectables
E. coli o Coliformes Fecales u organismos Termotolerantes	Ausencia o no detectables

Fuente: NOM-127.

Tabla 1.3 Características Organolépticas

CARACTERÍSTICA	LÍMITE PERMISIBLE
Color	20 unidades de color verdadero en la escala de platino-cobalto.
Olor y Sabor	Agradable (se aceptarán aquellos que sean tolerables para la mayoría de los consumidores, siempre que no sean resultado de condiciones objetables desde el punto de vista biológico o químico).
Turbiedad	5 unidades de turbiedad nefelométricas (UTN) o su equivalente en otro método.

Fuente: NOM-127.

Tabla 1.4 Límites Químicos Permisibles

CARACTERÍSTICA	LÍMITE PERMISIBLE
Aluminio	0.20
Arsénico	0.025
Bario	0.70
Cadmio	0.005
Cianuros (como CN-)	0.07
Cloro residual libre	0.2-1.50
Cloruros (como Cl-)	250.00
Cobre	2.00
Cromo total	0.05
Dureza Total (como CaCO ₃)	500.00
Fenoles o compuestos fenólicos	0.001
Fierro	0.30
Fluoruros (como F-)	1.50
Hidrocarburos aromáticos en microgramos/l:	
Benceno	10.00
Etilbenceno	300.00
Tolueno	700.00
Xileno (tres isómeros)	500.00
Manganeso	0.15
Mercurio	0.001
Nitratos (como N)	10.00

Fuente: NOM-127.

Continuación de la Tabla 1.4.

CARACTERÍSTICA	LÍMITE PERMISIBLE
Nitritos (como N)	1.00
Nitrógeno amoniacal (como N)	0.50
pH (potencial de hidrógeno) en unidades de pH	6.5-8.5
Plaguicidas en microgramos/l:	
Aldrín y dieldrín (separados o combinados)	0.03
Clordano (total de isómeros)	0.20
DDT (total de isómeros)	1.00
Gamma-HCH (lindano)	2.00
Hexaclorobenceno	1.00
Heptacloro y epóxido de heptacloro	0.03
Metoxicloro	20.00
2,4-D	30.00
Plomo	0.01
Sodio	200.00
Sólidos disueltos totales	1000.00
Sulfatos (como SO ₄ =)	400.00
Sustancias activas al azul de metileno (SAAM)	0.50
Trihalometanos totales	0.20
Zinc	5.00

Fuente: NOM-127.

1.2.1 VARIABLES HIDROLÓGICAS.

Es esencial un conocimiento del régimen hidrológico del cuerpo de agua cuando se discuten los análisis de calidad del agua, las mediciones de las descargas por ejemplo son necesarias para los cálculos del flujo o balance de masa y como datos para los modelos de calidad del agua.

1.2.1.1 VELOCIDAD.

La velocidad de un cuerpo de agua puede afectar en forma significativa su habilidad para asimilar y transportar los contaminantes, debido a esto esta variable es muy importante para cualquier programa de aseguramiento ya que permite la predicción del movimiento de los compuestos dentro de los cuerpos de agua incluyendo las aguas subterráneas.

La velocidad del agua puede variar a lo largo de un día, de un día a otro y de una temporada a otra, dependiendo de la influencia hidrometeorológica y la naturaleza del área de desagüe, es importante por lo tanto registrar la fecha cuando se toman las medidas e intentar medir la velocidad en el mismo sitio donde se toman las muestras de la calidad del agua. La velocidad es determinada en m/s y se llevan a cabo en un tiempo promedio de 1 a 2 minutos.

1.2.1.2 DESCARGA.

La descarga es el volumen que fluye por un determinado período de tiempo, para ríos se expresa normalmente como $m^3 s^{-1}$. La cantidad de materia suspendida y disuelta en un cuerpo de agua depende de la descarga y es un producto de la concentración y la descarga. Las sustancias naturales producto de la erosión (materia suspendida)

incrementa su concentración exponencialmente con el incremento de la descarga. las sustancias introducidas artificialmente a un cuerpo de agua tienden a disminuir su concentración cuando se incrementa la descarga del río, si un contaminase se introduce en un río a velocidad constante, la concentración en el agua receptora se puede estimar por la cantidad de entrada dividida por la descarga del río, la descarga se puede estimar por el producto de la velocidad y el área de la sección transversal de un río.

1.2.1.3 NIVEL DEL AGUA.

El nivel del agua y su medición es importante para determinar el régimen hidrológico de lagos, estanques y aguas subterráneas, y la interacción entre las aguas superficiales y las subterráneas; la medición del nivel del agua es necesaria para los cálculos del flujo másico en lagos y aguas subterráneas y debe medirse al mismo tiempo y en el mismo lugar que la muestra del agua.

El agua puede fluir desde o hacia un acuífero contiguo a un río, dependiendo del nivel relativo del agua en el río y en el acuífero, el bajo nivel del agua en el río puede inducir a que el agua subterránea fluya al río, y un alto nivel del agua puede revertir el flujo y producir pérdidas desde el río hacia el acuífero. Se pueden experimentar variaciones significantes en la calidad del agua en los pozos cercanos a los ríos, y en los mismos ríos. La medición del nivel de las aguas subterráneas es particularmente importante en relación a la intrusión salina.

1.2.1.4 DINÁMICA DE LA MATERIA SUSPENDIDA.

Las partículas de materia suspendida consisten de material originado en la superficie erosionada del área de desagüe de la ribera del río o de las orillas del lago. La medición de la materia suspendida transportada es particularmente importante

cuando es responsable del transporte de los contaminantes, en tales casos las mediciones deben efectuarse frecuentemente. Usualmente la concentración y carga de sedimento se incrementa exponencialmente con la descarga. La concentración de la materia suspendida se debe medir junto con las otras variables hidrológicas.

1.2.2 VARIABLES GENERALES.

Las variables generales a considerar en un análisis del Río son las siguientes: Temperatura, Color, Olor, Residuos y Sólidos Totales Suspendidos, Materia Suspendida, Turbidez y Transparencia, Conductividad, pH, Acidez y Alcalinidad, Potencial Redox, oxígeno Disuelto, Dióxido de Carbono, Dureza y Clorofila.

1.2.2.1 TEMPERATURA.

Los cuerpos de agua tienen variaciones de temperatura debido a fluctuaciones del clima, estos cambios ocurren temporalmente y en algunos cuerpos de agua durante períodos mayores a 24 horas. Los lagos y represas pueden mostrar una estratificación de la temperatura dentro de la columna de agua; la temperatura de la superficie del agua es influenciada por la latitud, altitud, estación, hora del día, circulación del aire, nubes, el flujo y profundidad del cuerpo de agua.

La superficie del agua normalmente está en el rango de temperaturas de 0 °C a 30 °C, durante las primaveras calurosas pueden alcanzar los 40 °C o más. La temperatura debe medirse en situ usando un termómetro o una termorresistencia.

1.2.2.2 COLOR.

El color y la turbidez del agua determinan la profundidad a la cual es transmitida la luz, controlando al mismo tiempo la velocidad de la fotosíntesis de las algas presentes. Es posible medir el color verdadero y aparente del agua, el hidróxido férrico y las sustancias orgánicas dan el color verdadero al agua; el color verdadero se puede medir en una muestra después de una filtración o una centrifugación, el color aparente es causado por las partículas coloreadas, la refracción y reflexión de la luz por las partículas suspendidas.

El método de la absorbancia total del color (TAC) mide la absorbancia integrada de la muestra filtrada (pH 7.6) entre 400 y 700 nm, el color verdadero (TUC) es determinado al medir la absorbancia a 465 nm. Una unidad TAC es equivalente al color de 2 mg/l de Pt, debido a que los compuestos que determinan el color del agua no son muy estables, la medición debe efectuarse dentro de dos horas después de la toma de la muestra.

1.2.2.3 OLOR.

El olor del agua es normalmente el resultado de compuestos orgánicos volátiles e inestables producidos por el fitoplancton, plantas acuáticas y materia orgánica en descomposición. Los desperdicios humanos e industriales pueden también generar olores en forma directa o como resultado de estimular la actividad biológica. Los compuestos orgánicos e inorgánicos pueden impartirle olor al agua, aunque un olor no indica automáticamente la presencia de sustancias peligrosas.

El olor puede ser medido en términos de una dilución de una muestra o el número de veces que una muestra sea dividida con agua libre de olor, esto lleva definitivamente al olor menos perceptible. El método antiguo es conocido como el Número de Olor de entrada (TON) y el método posterior como el Índice de Intensidad

del Olor(OI). Ambos métodos padecen de la subjetividad de los diferentes juicios humanos.

1.2.2.4 RESIDUO Y SÓLIDOS TOTALES SUSPENDIDOS.

El término residuo aplica a las sustancias que permanecen después de la evaporación de una muestra de agua, la cual es posteriormente secada en un horno a una temperatura dada, esto es aproximadamente equivalente al contenido total de materia disuelta y suspendida en el agua; ya que la mitad del bicarbonato es transformado en CO_2 durante este proceso. El término sólidos es ampliamente usado para la mayoría de los compuestos que están presentes en el agua natural y que permanecen en un estado sólido después de la evaporación.

Los sólidos totales suspendidos(TSS) y los sólidos totales disueltos(TDS) corresponden a residuos no filtrables y filtrables, respectivamente. La determinación del residuo se basa en mediciones gravimétricas después de seguir los procedimientos apropiados, los sólidos totales suspendidos son los sólidos retenidos por un filtro estándar y secado a peso constante a 105°C .

1.2.2.5 MATERIA SUSPENDIDA Y TURBIDEZ .

El tipo y concentración de la materia suspendida controla la turbidez y transparencia del agua, la materia suspendida es la fracción que no pasa a través de un filtro de 0.45mm de diámetro de poro. La turbidez resulta de la dispersión y absorción de la luz incidente por las partículas y la transparencia es el límite de la visibilidad en el agua.

La transparencia se puede medir fácilmente e indica el nivel de la actividad biológica, se determina bajando un disco (disco de Secchi) sobre un cable calibrado

dentro del agua hasta que casi desaparece; la profundidad a la cual desaparece es registrada como la profundidad de la transparencia.

La turbidez debe medirse en el campo, pero si es necesario las muestras pueden almacenarse en la sombra por no más de 24 horas, el método de determinación mas confiable usa nefelometría(dispersión de la luz por partículas suspendidas) por medio de un medidor de turbidez el cual proporciona valores en Unidades Nefelométricas de Turbidez(NTU). Los valores normales varían de 1 a 1000 NTU; un método visual de determinación es disponible en Unidades Jackson de Turbidez(JTU), el cual compara la longitud de la trayectoria de la luz en la muestra contra una mezcla de suspensión estándar.

1.2.2.6 CONDUCTIVIDAD.

La conductividad o conductancia específica es una medida de la facilidad del agua para conducir una corriente eléctrica, es sensible a variaciones en los sólidos disueltos, como las sales minerales; la conductividad se expresa en micro siemens por centímetro(μScm^{-1}). Para un cuerpo de agua dado se relaciona con la concentración de los sólidos totales disueltos y los iones más grandes.

Los sólidos totales disueltos(en mg/l) se obtienen al multiplicar la conductancia por un factor que se encuentra entre 0.55 y 0.75, el factor de multiplicación es cercano a 0.67 para aguas en las cuales domina el Na y el Cl, tiene un valor mas alto para aguas que contienen alta concentración de sulfatos.

1.2.2.7 pH, ACIDEZ y ALCALINIDAD.

El pH es una variable importante en el aseguramiento de la calidad del agua ya que tiene influencia sobre muchos procesos biológicos y químicos dentro de un cuerpo

de agua, además de todos los procesos asociados con el suministro y tratamiento del agua. El pH es una medida del balance ácido de una solución, a una temperatura dada indica la intensidad del carácter ácido o básico y es controlado por los compuestos químicos disueltos y los procesos bioquímicos involucrados.

El pH de muchas aguas naturales está entre 6.0 y 8.5, se pueden encontrar valores mas bajos en aguas diluidas, altas en contenido orgánico; la cantidad de ácido fuerte que se necesita para bajar el pH de una muestra hasta 8.3 nos proporciona la alcalinidad libre, y hasta un pH de 4 nos dá la alcalinidad total, idealmente el pH debe ser determinado in situ o inmediatamente después de tomada la muestra, la medición aproximada del pH se efectúa normalmente con un electrodo de vidrio, se puede obtener una indicación menos aproximada con indicadores de color, si no es posible hacer la medición en campo, las muestras deben ser transportadas al laboratorio en botellas completamente llenas y selladas sin agregarle ningún conservador.

1.2.2.8 POTENCIAL REDOX.

El potencial redox (Eh) caracteriza el estado de oxidación-reducción de las aguas naturales, los compuestos orgánicos pueden formar también sistemas redox, el oxígeno, hierro y azufre, así bien como algunos sistemas orgánicos; son los que tienen mayor influencia al determinar el pH. El Eh puede variar en aguas naturales desde -500 mV hasta +700 mV, las aguas de la superficie y aguas subterráneas que contienen oxígeno disuelto se caracterizan por tener valores de Eh entre +100 y +500 mV. El Eh es determinado con un potenciómetro y puede medirse en el campo, debido a que el Eh depende del gas contenido en el agua su valor puede variar cuando el agua está en contacto con el aire; para aguas subterráneas se recomienda que el Eh sea medido en la descarga de la bomba.

1.2.2.9 OXÍGENO DISUELTO.

El oxígeno es esencial para todas las formas de vida acuática incluyendo aquellos organismos responsables de los procesos de auto purificación en las aguas naturales, en aguas frescas el oxígeno disuelto(DO) al nivel del mar varía desde 15 mg/l a 0°C hasta 8 mg/l a 25°C. El DO se puede expresar en términos del porcentaje de saturación en el agua potable y se puede detectar normalmente por los consumidores por el olor y el sabor.

Las concentraciones abajo de 5 mg/l puede afectar en forma adversa el funcionamiento y sobrevivencia de las comunidades biológicas, abajo de 2 mg/l puede llevar a la muerte de muchos peces, la medición del DO puede ser usado para indicar el grado de contaminación por materia orgánica; la destrucción de sustancias orgánicas y el nivel de auto purificación del agua. su determinación es usada en la medición de la demanda bioquímica de oxígeno(BOD).

Existen dos métodos principales para la determinación del oxígeno disuelto, el método de titulación el cual involucra la fijación química del oxígeno en una muestra de agua tomada de una botella cerrada. El método alternativo es el de membrana-electrodo, el cual es rápido y proporciona un alto grado de aproximación pero puede ser costoso.

1.2.3.0 DIÓXIDO DE CARBONO.

El dióxido de carbono(CO_2) es altamente soluble en el agua y se absorbe en la interfase aire-agua, se produce dentro de los cuerpos de agua por la respiración de la biota acuática, el dióxido de carbono disuelto en el agua natural es parte de un equilibrio interconectado que involucra los iones carbonato y bicarbonato, cuya concentración depende de alguna forma del pH.

El CO_2 libre es un componente gaseoso en equilibrio con la atmósfera, el CO_2 total es la suma de todas las formas inorgánicas del dióxido de carbono. El CO_2 libre comprende la concentración del CO_2 más el H_2CO_3 en las aguas de superficie raramente exceden del pH de 9. La determinación del CO_2 libre se lleva a cabo por métodos de titulación y el CO_2 total por cálculos del pH y la alcalinidad.

1.2.3.1 DUREZA.

La dureza de las aguas naturales depende principalmente de la presencia de sales disueltas de calcio y magnesio, el contenido total de esas sales se conoce como dureza general, se puede dividir en dureza por carbonato y dureza por no carbonato; la dureza por carbonato se conoce también como temporal o removible. La dureza que permanece en el agua después de la ebullición se llama dureza constante, las variaciones estacionarias de la dureza del agua de río ocurre frecuentemente; alcanzando los valores mas altos durante el tiempo que se presenten las condiciones de flujo bajo y los valores mas bajos durante la creciente.

Las muestras para la determinación de la dureza deben ser filtradas, pero no guardadas; si durante el almacenamiento aparece un sedimento de carbonato de calcio, debe disolverse con un volumen pequeño de ácido clorhídrico(1:1) y después decantar. La dureza general se determina normalmente por titulación con EDTA dependiendo del indicador utilizado, se puede determinar la dureza general con negro T de erio cromo o la dureza por calcio usando murexida.

La dureza por magnesio se calcula de la diferencia entre las dos determinaciones, la dureza por carbonatos se determina con una titulación ácido-base. La dureza se puede determinar de la suma de los iones divalentes analizados individualmente, por ejemplo con espectrofotometría atómica de absorción.

1.2.3.2 CLOROFILA.

El pigmento verde clorofila está presente en muchos organismos fotosintéticos y proporciona una medida indirecta de la biomasa de las algas y es un indicador del estado trófico de un cuerpo de agua, se incluye normalmente en los programas de aseguramiento de lagos y represas, es importante para el manejo del agua extraída para suministro de agua potable; ya que un crecimiento excesivo de las algas hace que el agua sea intratable o difícil de tratar. La clorofila fluoresce en rojo cuando es excitada por la luz azul, esto se usa para medir el nivel de clorofila.

1.3 MATERIA ORGÁNICA.

La mayoría de las aguas frescas contienen materia orgánica que puede ser medida como Carbón Orgánico Total (TOC). Una de las propiedades relacionadas es la Demanda Bioquímica de Oxígeno (BOD), o la Demanda Química de Oxígeno (COD); en la mayoría de las muestras se cumple lo siguiente:

$$\text{COD} > \text{BOD} > \text{TOC}.$$

1.3.1 CARBÓN ORGÁNICO TOTAL.

El carbón orgánico que se encuentra en las aguas frescas proviene de la materia viva y de algunos materiales y efluente de desperdicio. La materia orgánica total en el agua puede ser un indicador del grado de contaminación, en aguas superficiales las concentraciones del carbón orgánico total generalmente son menores a 10mg/l y en aguas subterráneas menores a 2mg/l, el carbón orgánico total consiste de material

disuelto y partículas; es afectado por las fluctuaciones en los sólidos suspendidos, siendo más notable este efecto en los ríos.

Las partículas de carbón orgánico(POC) y disuelto(DOC) se pueden determinar en forma separada después de filtrar la muestra con un filtro de fibra de vidrio, esto se recomienda para el estudio de los ríos. En muchas aguas superficiales el nivel de DOC excede al nivel de POC en el intervalo de 1-20 mg/l durante la inundación del río y a través del año; en muchos ríos turbios el POC es la forma más abundante.

Los métodos para determinar el carbón orgánico se basan en el principio de la oxidación del carbono en la muestra hacia dióxido de carbono, siendo entonces determinado por conductividad térmica o volumetría.

1.3.2 DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO.

La demanda química de oxígeno es una medida del oxígeno equivalente de la materia orgánica en una muestra de agua que es susceptible a la oxidación. La prueba COD no es específica, es decir, no identifica al material oxidable o diferencia entre material orgánico o inorgánico presente, de igual forma no indica el carbón orgánico total presente. Las concentraciones de COD observada en las aguas superficiales varían de 20mg/l de O₂ o menos en aguas contaminadas, hasta mas grandes que 200 mg/l de O₂ en aguas que reciben efluentes.

El método estándar para medición de COD es la oxidación de la muestra con dicromato de potasio seguida de una titulación con una solución de ácido sulfúrico, debe aplicarse el mismo método para una serie de mediciones para poder comparar los resultados.

1.3.3 DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO.

La demanda bioquímica de oxígeno es una medición aproximada de la cantidad de materia orgánica bioquímicamente degradable presente en una muestra de agua, esta se define por la cantidad de oxígeno requerido por los microorganismos aeróbicos presentes en la muestra para oxidar la materia orgánica a una forma inorgánica estable, la BOD se mide por la cantidad de oxígeno consumido después de la incubación de la muestra en la oscuridad a una temperatura específica.

El consumo de oxígeno se determina de la diferencia entre los niveles de oxígeno disuelto en la muestra antes y después de la incubación, si la concentración de materia orgánica es muy alta se debe diluir la muestra con agua destilada.

1.4 INDICADORES MICROBIOLÓGICOS.

El riesgo mas común para la salud humana asociado con el agua proviene de la presencia de microorganismos causantes de enfermedades, algunos de estos microorganismos se originan del agua contaminada con excremento humano, las heces humanas pueden contener una variedad de patógenos intestinales que causan enfermedades; desde una gastroenteritis hasta una disentería, cólera o tifoidea, dependiendo de la comunidad se pueden presentar otros virus o parásitos.

El agua fresca contiene también microorganismos naturales, incluyendo bacterias, fungi, protozoarios y algas; algunos de los cuales pueden producir toxinas y transmitir o causar enfermedades. Los patógenos bacteriales intestinales se distribuyen por todo el mundo, los patógenos bacteriales de origen acuático mas comunes son: la salmonella, shigella, escherichia coli, campylobacter, vibro y yersinia. Los adenovirus, rota virus, reovirus y el virus de la hepatitis se pueden encontrar en los cuerpos de agua, siendo todos ellos altamente infecciosos.

La especie salmonella es responsable de la tifoidea, paratifoidea, gastroenteritis y el envenenamiento de los alimentos, pueden ser excretados por personas aparentemente enfermas que actúan como portadores, algunos animales y pájaros pueden también ser portadores. La contaminación por excremento animal o humano introduce el riesgo de infección para aquellos que usan el agua para beber, preparación de alimentos, higiene personal y recreación.

El desagüe del alcantarillado urbano y aguas negras domésticas son comúnmente descargadas a los cuerpos de agua, particularmente a los ríos. Los patógenos asociados con esas descargas posteriormente se distribuyen a través del cuerpo de agua, presentando un riesgo para los usuarios del agua río abajo.

El alcantarillado municipal típico contiene de 10 a 100 millones de bacterias coliforme por 100 ml y de 1 a 50 millones de escherichia coli o estreptococo fecal por 100 ml, los diferentes niveles de tratamiento pueden reducir estas cantidades por un factor de 10 a 100; estas concentraciones deberán reducirse después de la dilución.

La sobrevivencia de patógenos microbiológicos después de que se descargan hacia un cuerpo de agua es altamente variable, dependiendo de la calidad de las aguas receptoras, particularmente de la turbidez, niveles de oxígeno, nutrientes y temperatura. El bacilo de la salmonella se ha reportado en exceso a 130 kilómetros río abajo del punto fuente, indicando la habilidad para sobrevivir bajo las condiciones adecuadas durante algunos días.

Antes de usar una nueva fuente de agua, esta debe ser examinada debido a la presencia fecal. Los puntos de muestreo deben ser cuidadosamente elegidos para que la fuente de contaminación sea identificada y removida, cuando la fuente de agua potable se haya tratado y desinfectado es esencial un examen rutinario del suministro, semanalmente o en forma diaria cuando la población en riesgo es grande; cuando las cantidades de coliforme son menores a 10^3 por cada 100 ml representa poco riesgo de enfermedades intestinales, el riesgo de infecciones de origen viral también es latente.

1.5 CARACTERÍSTICAS DE LOS CUERPOS DE AGUA.

Los cuerpos de agua se caracterizan totalmente en base a sus tres componentes mayores: hidrológico, fisicoquímico y biológico. Un aseguramiento de la calidad del agua se basa en un apropiado monitoreo de esos componentes.

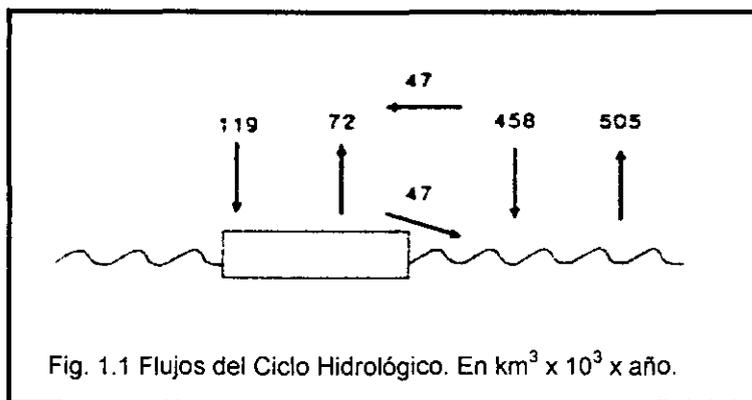
1.5.1 ASPECTOS HIDRODINÁMICOS.

Todos los cuerpos de agua fresca están interconectados desde la atmósfera hasta el océano, vía el ciclo hidrológico. El agua constituye un continuo, con diferentes etapas variando desde el agua de lluvia hasta las aguas marinas. Las partes del ciclo hidrológico la constituyen las aguas frescas tierra adentro, las cuales aparecen en la forma de ríos, lagos y agua subterránea. Estas están interconectadas y pueden influenciarse unas a otras directamente o a través de etapas intermedias(Chapman,1992).

El 99 por ciento de toda el agua sobre la tierra es agua salada, el restante 3 por ciento es agua fresca, con un volumen total de 35 millones de km^3 . Si esta agua fuera distribuida sobre la superficie de la tierra tendría una capa de 79 m de espesor. Sin embargo la mayor parte se encuentra formando capas de hielo en la Antártida y Groenlandia y acuíferos profundos lo cual los hace tecnológica y económicamente fuera de nuestro alcance. Menos de 100, 000 km^3 , casi el 0.3 por ciento del total de las reservas de agua fresca sobre la tierra se encuentra entre los ríos y lagos constituyendo este volumen nuestro suministro disponible.

El agua fresca es un recurso renovable, hecho continuamente disponible por el flujo constante hacia la tierra de la energía solar, la cual evapora el agua de los océanos y la tierra redistribuyéndola alrededor del globo, se evapora mas agua de los océanos que la que cae como precipitación; por lo tanto existe una transferencia continua de agua fresca desde los océanos hacia los continentes.

Esta agua corre en los ríos y corrientes que sostienen nuestros ecosistemas naturales y sociedades, recargando nuestros acuíferos. Sobre una base anual, cerca de 45 mil km^3 retorna a los océanos como descarga de los ríos y descargas subterráneas ver Figura 1.1. Flujos del ciclo hidrológico. Si esta descarga fuera totalmente distribuida, cada persona sobre la tierra podría recibir casi 8 mil m^3 por año. (Gleick, 1993).



La república mexicana, en términos generales cuenta con agua suficiente para cubrir prácticamente todas sus necesidades – uso doméstico, agrícola e industrial. La disponibilidad de agua se concentra principalmente en el sureste de México, donde la densidad de población y la demanda de agua son bajas; en contraste con el centro, el norte y el noroeste – donde la densidad de población es mayor y la demanda es alta, que se caracterizan por la escasez de agua. Los mantos acuíferos subterráneos juegan un papel estratégico, ya que a menudo son la única fuente permanente de abastecimiento en las regiones áridas, que ocupan mas del 40 por ciento del territorio nacional.

Las sequías merman considerablemente el abastecimiento de agua para todos los usos; el norte del país es la zona más afectada por este fenómeno. Paradójicamente también se presentan problemas por exceso de agua ocasionados por precipitaciones pluviales copiosas que al no poder ser reguladas y almacenadas, originan inundaciones y enfermedades.

Cada mexicano consume en promedio 249 litros de agua diariamente, dicho consumo sobrepasa los límites necesarios calculados por las Naciones Unidas que son de 25 a 50 litros diarios (ver tabla 1.5 demanda mundial). Lo cual significa que consumimos entre 400 y 900 por ciento más agua que el resto del mundo (CNA, 1998).

Tabla 1.5 Demanda Mundial (%)

País	Agricultura	Industria	Uso doméstico
China	87	7	6
Egipto	88	5	7
India	93	3	4
México	83	3	14
Francia	12	71	17
Holanda	32	63	5
Reino Unido	1	78	21

Fuente: CNA, 1998.

1.5.2 PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS.

Cada cuerpo de agua fresca tiene un patrón individual de características físicas y químicas determinadas por las condiciones climáticas, geomorfológicas y geoquímicas prevalecientes en el drenaje de la cuenca y el acuífero subyacente. Las características tales como sólidos totales disueltos, conductividad y potencial redox proporciona una clasificación general de los cuerpos de agua de una naturaleza similar.

El contenido mineral determinado por los sólidos totales disueltos es un aspecto esencial de la calidad de cualquier cuerpo de agua, resultante del balance entre disolución y precipitación. El contenido de oxígeno es otro aspecto vital de cualquier cuerpo de agua porque influencia en gran medida la solubilidad de los metales y es esencial para todas las formas de vida biológica.

La materia disuelta(MD) es un factor clave en la calidad del agua al regular el proceso de absorción-desorción. El cual depende de:

- i) La cantidad de MD en contacto con una unidad de volumen de agua.
- ii) El tipo y característica de la MD(orgánica e inorgánica).
- iii) El tiempo de contacto entre el agua y la MD.

La variación con el tiempo del contenido de materia suspendida y disuelta en los cuerpos de agua resulta principalmente de la interacción entre la variación hidrodinámica, solubilidad mineral, características de la MD y la naturaleza e intensidad de la actividad biológica (Chapman,1992).

1.5.3 FUENTES DE SUMINISTRO DE AGUA MUNICIPAL.

El agua municipal tratada generalmente de una calidad razonablemente potable depende en parte de la fuente o fuentes de agua (ver tabla 1.5. Fuente de suministro Municipal). Si bien la fuente es agua de pozo o superficial el agua final debe tener características de agua de pozo.

El tratamiento de las plantas municipales tienden a reducir los niveles de TSS, hierro y manganeso y algunas veces TOC. Sin embargo esto no es siempre suficiente, normalmente tales suministros de agua potable son cloradas y pueden contener sólidos suspendidos (especialmente si se tiene un sistema de distribución viejo), (Siverns,2000).

1.5.4 DEFINICIÓN DE CALIDAD DEL AGUA.

En vista de la complejidad de factores que determinan la calidad del agua y el gran número de variables usadas para describir el status de los cuerpos de agua en términos cuantitativos, es difícil proporcionar una definición simple de la calidad del agua. Además, nuestro entendimiento de la calidad del agua se ha desarrollado desde el siglo pasado con la expansión de los requerimientos del uso del agua y la habilidad para medir e interpretar las características del agua.

Tabla 1.5. Suministro de Agua Municipal

Calidad del Sistema de Agua de Alimentación			Calidad del agua producto.	
Cationes (ppm CaCO ₃)	Aniones (ppm CaCO ₃)	Otros parámetros		
Calcio 318	Bicarbonato 200	pH 7.5 –8.3	Conductividad 0.10 S/cm	
Magnesio 51	Cloruro 197	Orgánicos(ppm TOC) Turbidez 1 NTU Temp. 2.2-25°C Bario 0.08ppm Hierro 0.13ppm.	Sodio .01 (ppm como Na).	
Sodio 198	Nitrato 29		Sílica 0.02 (ppm como SiO ₃)	
Potasio 12	Sulfato 151			TDS 0.20 ppm
Fosfato 1	Cloro libre 0.12 ppm. Floruro 1			
Cationes totales 579	Aniones totales 579	Manganeso 0.01 ppm		
	Dióxido de carbono 2	Aluminio 0.3 ppm		
	Sílica 10.5			

Fuente: Siverns,2000.

La calidad del ambiente acuático puede ser definido por:

- i) Un conjunto de concentraciones, especificaciones y separación física de sustancias orgánicas e inorgánicas.
- ii) La composición y estado de la biota acuática encontrada en un cuerpo de agua. La calidad del ambiente acuático muestra variaciones temporales y espaciales debido a factores internos y externos al cuerpo de agua.

La contaminación del ambiente acuático significa la introducción por el hombre, directa o indirectamente de sustancias o energía lo cual resulta en efectos nocivos tales como:

- i) Daño a los recursos vivos.
- ii) Peligros para la salud humana.
- iii) Impedimento para las actividades acuáticas incluyendo la pesca.
- iv) Deterioro de la calidad del agua con respecto a su uso en la agricultura, industria y otras actividades económicas.

La descripción de la calidad del ambiente acuático se puede entender de muchas formas. Esto se puede lograr ya sea a través de medidas cuantitativas, tal como determinaciones fisicoquímicas y pruebas bioquímicas o biológicas, o a través de descripciones semicuantitativas y cualitativas tales como índices bióticos, aspecto visual, inventario de especies, olor... estas determinaciones se llevan a cabo en el campo y en el laboratorio, y producen varios tipos de datos los cuales se prestan por sí mismo a diferentes técnicas interpretativas.

Para propósitos de simplificar el término "calidad del agua", este se refiere a la calidad total del ambiente acuático.

El proceso de aseguramiento de la calidad del agua es una evaluación de la naturaleza física, química y biológica del agua en relación a la calidad natural del agua, efectos sobre el ser humano y usos destinados, particularmente aquellos que pueden afectar la salud humana y la del ambiente acuático. El aseguramiento de la calidad

incluye el uso del monitoreo para definir la condición del agua y para proporcionar la información adecuada para el establecimiento de las relaciones causa-efecto.

Monitoreo de la calidad del agua, es la colección de información en un conjunto de puntos y a intervalos regulares para proporcionar los datos que puedan ser usados para definir las condiciones actuales y establecer tendencias.

Debido a la complejidad de los factores que determinan la calidad del agua, se establecen grandes variaciones entre ríos o lagos en diferentes continentes o en diferentes zonas hidroclimáticas. Igualmente la respuesta al impacto antropogénico es también altamente variable. Como consecuencia, no hay un estándar de aplicación universal que defina el fundamento químico o biológico de la calidad del agua.

1.5.5 USOS DEL AGUA E IMPACTO HUMANO SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA .

Con la llegada de la industrialización y el incremento de la población, los requerimientos de agua aumentaron junto con la demanda de agua de una calidad más alta. Con el tiempo los requerimientos de agua se han diversificado: para tomar e higiene personal, pescaderías, agricultura, navegación, para el transporte de mercancías, producción industrial, enfriador en combustibles fósiles y nucleares de plantas eléctricas, generación hidroeléctrica, actividades de recreación tales como natación o pesca. Afortunadamente, las cantidades mas grandes de demanda de agua, tales como en la agricultura y enfriamiento en la industria, requiere lo mínimo en términos de calidad del agua.

Los suministros de agua potable a industrias especializadas muestra la demanda mas sofisticada de agua de calidad, pero sus necesidades cuantitativas son relativamente moderadas. Al mismo tiempo el agua se ha considerado desde tiempos remotos como el medio mas adecuado para limpiar, dispersar, transportar y depositar desperdicios domésticos e industriales.

Cada uso del agua incluyendo la extracción de la misma y la descarga de desperdicios, lleva a un impacto específico y generalmente predecible sobre la calidad del ambiente acuático. En adición a esos usos intencionales del agua, existen algunas actividades humanas las cuales tienen efectos indirectos e indeseables, sino devastadores sobre el ambiente acuático. Algunos ejemplos son el uso incontrolado de la tierra para urbanización o deforestación, derrame accidental o no autorizado de sustancias químicas, descarga de desperdicios no tratados o lixiviación de líquidos nocivos de depósitos sólidos de desperdicios.

De igual forma, el uso excesivo e incontrolado de fertilizantes y pesticidas tiene un efecto a largo plazo sobre la tierra y los recursos de la superficie del agua. La intervención estructural en el ciclo hidrológico natural a través de la canalización o represa de ríos, desviación del agua dentro o cerca de la cuenca de drenaje y el sobrebombeo de acuíferos se entienden normalmente como un objetivo de beneficio. La experiencia ha mostrado sin embargo que la degradación ambiental resultante a largo plazo se debe a esos beneficios.

El impacto antropogénico más importante sobre la calidad del agua, a escala global se debe a patógenos, sólidos suspendidos, materia orgánica, algas, nitratos, sales, trazas de elementos, micro polución orgánica y acidificación. La contaminación y degradación de la calidad del agua interfiere con el uso vital y legítimo del agua a cualquier escala, es decir, local, regional o internacional. Algunos tipos de usos son más propensos a ser afectados que otros. Los estándares de criterio de calidad del agua y la legislación relacionada se usan como el principal medio administrativo para manejar la calidad del agua para lograr los requerimientos de los usuarios.

Los requerimientos nacionales más comunes para el agua potable de calidad adecuada, en algunos países basan sus propios estándares en la Organización Mundial de la Salud (guía para la Calidad del Agua Potable). En algunos casos la calidad del agua natural es adecuada para ciertos propósitos, sin embargo otros cuerpos de agua pueden aún ser usados perfectamente para algunas actividades, después de que su condición natural se ha alterado por la contaminación.

La mayor proporción de toda la degradación de la calidad del agua en el mundo se debe a la influencia antropogénica, existen algunos eventos naturales y catástrofes ambientales que pueden llevar localmente a un deterioro severo del ambiente acuático. Huracanes, inundaciones, lluvias torrenciales, nevadas y lagos no estacionarios, son algunos ejemplos. Algunos eventos naturales sin embargo se agravan por las actividades humanas, tales como la erosión del suelo asociada con la lluvia torrencial en regiones deforestadas. La restauración de la calidad del agua natural toma muchos años, dependiendo de la escala geográfica y la intensidad del evento.

1.5.6 RUTAS Y FUENTES DE CONTAMINACIÓN.

En general, la contaminación puede ser liberada al ambiente como gases, sustancias disueltas o en forma de partículas. Al final la contaminación alcanza el ambiente acuático a través de una variedad de rutas, incluyendo la atmósfera y el suelo. La contaminación puede resultar de fuentes fijas o fuentes difusas. No existe una distinción muy clara entre las dos, a causa de que una fuente difusa a escala regional o local puede resultar de un gran número de fuentes fijas individuales, tal como el escape de un automóvil. Una diferencia importante entre una fuente fija y una difusa es que la fuente fija puede ser reunida, tratada o controlada. Las mayores fuentes fijas de contaminación del agua fresca se origina de la colección y descarga de aguas negras domésticas, desperdicios industriales o ciertas actividades agrícolas. Algunas otras actividades agrícolas tales como fumigación con pesticidas o aplicación de fertilizantes, se consideran como fuentes difusas. El descenso atmosférico de contaminantes lleva también a la contaminación difusa del ambiente acuático.

1.6 RÍOS.

La tradición hindú y budista ubican al mítico Monte Meru como el lugar de residencia de los dioses en el centro del universo. Aquí se originan los ríos de la tierra, incluyendo al hindú, ganges y el brahmaputra. En la tradición cristiana, las aguas de la tierra se originan en las fuentes del jardín del Edén, y divide al mundo en dos grandes corrientes: el nilo, el tigris, el eufrates el indus y el ganges.

Estos mitos surgen en parte por el rol sagrado del agua en sustentar la vida, y en parte de nuestra original ignorancia del funcionamiento del ciclo global del agua. (Gleick, 1993).

Se caracterizan por una corriente unidireccional con una velocidad de flujo promedio relativamente alto variando desde 0.1 hasta 1 m/s, el flujo del río es altamente variable con el tiempo dependiendo de la situación climática y el patrón de drenaje. En general se logra un mezclado vertical continuo en los ríos debido a las corrientes y turbulencias prevaecientes, el mezclado lateral puede tener lugar solo a distancias considerables río abajo de las confluencias mayores.

Los ríos son el recurso de agua fresca más importante para el hombre, el desarrollo social, económico y político del pasado se ha relacionado con la disponibilidad y distribución de agua fresca contenida en los sistemas ribereños. Los mayores usos del agua de río se resumen a continuación:

- Suministro de agua potable.
- Irrigación de tierras agrícolas.
- Suministro de agua industrial y municipal.
- Depósito de desperdicios industriales y municipales.
- Navegación.
- Recreación y Pesca.
- Valor Estético.

Una evaluación simple de las aguas de la superficie disponibles para uso regional o nacional se puede basar en la descarga total del agua del río.

1.6.1 CLASIFICACIÓN DE LOS RÍOS.

Los ríos son sistemas complejos de aguas que fluyen drenando superficies específicas de tierras, las cuales se definen como cuencas ribereñas o cuencas. Las características del río o ríos dentro del sistema total de la cuenca está relacionado a un sinnúmero de aspectos. Estos incluyen el tamaño, forma y características geológicas de la cuenca y las condiciones climáticas, las cuales determinan las cantidades de agua a ser drenada por la red del río.

Los ríos pueden ser clasificados de acuerdo al tipo de régimen de flujo y magnitud de la descarga, el régimen de flujo puede estar sujeto a una modificación considerable por embalses naturales, lagos, pantanos o depósitos de agua. Las características del flujo pueden ser cambiadas por canalización o requerimiento para usos del agua tal como irrigación u otras necesidades de suministro de agua o por cambios en las características de la creciente, debido a modificaciones de la infiltración del suelo, como un resultado de la agricultura y de la urbanización. La clasificación de los ríos de acuerdo a su descarga es generalmente mas satisfactoria, pero no se ha completamente definido y aceptado a la fecha. sin embargo existen ciertas velocidades de descarga las cuales son ampliamente usadas para caracterizar las descargas de los ríos y sus variaciones anuales. Esto incluye el promedio de las descargas pico, la descarga promedio mensual o anual y el promedio de las descargas bajas. Una clasificación por tamaño, basada en la descarga, área drenada y ancho del río es dada en la Tabla 1.6. Las distinciones son arbitrarias pero no se indica la variación anual en la descarga del río, particularmente en regiones áridas y subtropicales pueden variar desde cero en la temporada de seca hasta altos flujos de descarga en ríos grandes durante la temporada de lluvia. Los ríos muy grandes pueden atravesar muchas zonas

climáticas y pueden tener menos variación de la esperada para las condiciones climáticas en el punto final de descarga.

Los sistemas ribereños representan el flujo dinámico del agua drenada, la cual es el producto final del desagüe del agua de la superficie, de la infiltración y descarga hacia las aguas subterráneas.

Las características hidrológicas están determinadas por la velocidad y la descarga, la velocidad del agua del río es la velocidad del movimiento del agua y está dada en m/s la descarga(m³/s) está determinada al multiplicar la velocidad por el área de la sección transversal de un río; la descarga del río es la medición mas simple e importante.

Tabla 1.6 Clasificación de los Ríos Basada en las Características de la Descarga, Área Drenada y Ancho del Río.

	Descarga Promedio	Área Drenada	Ancho del Río
Tamaño del Río	m ³ /s	km ²	m
Ríos muy Grandes	>10,000	>10 ⁶	>1,500
Ríos Grandes	1000-10,000	100,000-10 ⁶	800-1,500
Ríos	100-1,000	10,000-100,000	200-800
Ríos Pequeños	10-100	1,000-10,000	80-200
Corrientes	1-10	100-1,000	8-40
Corrientes Pequeñas	0.1-1.0	10-100	1-8
Arroyos	<0.1	<10	<1

Fuente: Chapman, 1992.

1.7 AGUAS NEGRAS Y ALCANTARILLADO MUNICIPAL.

Las aguas negras municipales consisten de efluentes del alcantarillado la cuales contienen altos niveles de materia fecal y orgánica; por lo tanto es importante medir la BOD, COD, Cloro, Amoníaco y compuestos nitrogenados, además de los indicadores fecales (Chapman,1992).

En México el 72 por ciento de la población cuenta con el servicio de alcantarillado. En las ciudades en las que hay entre 2,500 y 50,000 habitantes se tiene una cobertura del 71 por ciento en alcantarillado. En las ciudades más grandes, cuya población sobre pasan los 50,000 habitantes, la cobertura de alcantarillado es del 92 por ciento. El 67 por ciento que carece del servicio de alcantarillado vive en localidades con menos de 2,500 habitantes (CNA,1998).

INTRODUCCIÓN.

Debido a que las personas se agrupan en ciudades, el depósito de los desperdicios humanos viene a ser un problema de salud. El cólera, tifoidea y otras enfermedades empiezan a tener un papel sobre el ser humano, como un intento de la naturaleza por controlar la población. Mientras mas grande es la población mayor es la posibilidad de ser infectado por parásitos patógenos que se han cultivado o proliferado dentro del cuerpo humano iniciando con ello el ciclo hombre-parásito.

La asociación entre ciertas enfermedades infecciosas y el agua potable contaminada con afluentes fue hecho por el Dr. John Snow en 1854, en su famoso estudio de la bomba de la calle Broad en Londres. El notó que las personas afectadas con cólera se encontraban en el área de la bomba de la calle Broad, la cual usaban como fuente de suministro.

2.1 CAUSAS DE LAS ENFERMEDADES DE ORIGEN ACUÁTICO.

Existe una diferencia definida entre contaminación bacterial y química, muchos de los efluentes de la industria están altamente contaminados por químicos; pero no tienen contaminación biológica. De la misma forma los efluentes domésticos pueden pasar pruebas químicas pero están contaminados con microorganismos.

Los métodos modernos de tratamiento de efluentes reducen las bacterias a un cierto número, pero no las remueven todas.

Normalmente la descarga de los efluentes tratados a los ríos los cuales se limpian así mismo, puede resultar en una reducción de los microorganismos a niveles indetectables. Si la descarga de efluentes es constante, el incremento bacterial puede sobrepasar la capacidad de limpieza del río; se debe efectuar una dilución adecuada para asegurar el proceso natural de auto purificación.

Las enfermedades de origen acuático son causadas por organismos muy pequeños provenientes de las heces animales o humanas causando estragos en el sistema gastrointestinal humano, los efectos son normalmente agudos pero no crónicos, como es el caso de la contaminación química. Es típico un período de incubación en el cual es el tiempo que tarda desde que se ingiere el agua hasta que empiezan los síntomas. Durante este período la bacteria u organismo contaminante se multiplica hasta un nivel que puede causar mal, el período de incubación puede ser desde unos cuantos días hasta semanas.

La posibilidad de que ocurra o no una infección depende de factores como la cantidad y tipo de bacteria o virus presente. La contaminación bacterial no significa que deba resultar en una enfermedad, sin embargo es razonable suponer que la presencia de microorganismos patógenos o causantes de enfermedades incrementa el riesgo de enfermedad solo con la cantidad de bacterias. Todas las personas expuestas pueden no sufrir la enfermedad, todavía no existe una causa claramente identificable que relacione el efecto entre organismos microbiológicos y enfermedades.

Las personas que sufren de los efectos de enfermedades de origen acuático no necesariamente se debe al agua potable, una causa específica se determina solo en el 48% de las enfermedades de origen acuático reportadas, cuando el agente específico no puede ser identificado el reporte oficial dicta la causa como gastroenteritis o "enfermedad gastroenterítica aguda de origen desconocido". La razón de la dificultad para determinar la causa de la enfermedad de origen acuático es el período de incubación, desde la primera vez que los infectados experimentan los síntomas la calidad de la fuente de agua puede haber cambiado y los microorganismos infecciosos pudieron desaparecer.

I

2.2 FUENTE DE CONTAMINACIÓN EN SISTEMAS MUNICIPALES DE AGUA.

El agua biológicamente segura es una alta prioridad de las autoridades, tomándose las precauciones en los sistemas municipales, después de todo el

tratamiento biológico es la función específica del diseño de la planta de tratamiento. El tratamiento general adecuado incluyendo la desinfección, es la única protección entre la descarga de aguas negras crudas y la toma de agua potable.

Los brotes en los sistemas comunitarios de agua se encuentran generalmente en sistemas pequeños de agua, los cuales resultan en un número limitado de enfermedades. En estos sistemas el agua no tratada o inadecuadamente tratada es responsable de la mayoría de las enfermedades de origen acuático. El cloro residual debe ser mantenido en el sistema de distribución para eliminar el crecimiento de microorganismos, el agua que sale inicialmente de la planta de agua potable puede estar desinfectada; pero el crecimiento que puede llevar al brote es todavía posible en el sistema debido a:

- Contaminación de la unidad de almacenamiento del sistema de distribución, por ejemplo: la torre de agua.
- Agua estancada en tuberías de extremo muerto en donde los microorganismos pueden crecer.
- Una abundancia de nutrientes para el crecimiento de los microorganismos.
- Cambios estacionales de temperatura.
- Depósito de sedimentos los cuales permiten el estancamiento.
- Estancamiento o agua muerta.

La contaminación repentina puede ser aislada de las deficiencias del tratamiento y puede deberse a las conexiones en el cruce de las tuberías, reducción en la presión de la línea, ruptura de las líneas y reparaciones del sistema de distribución. Se debe permitir que el agua corra por un minuto o más después de un período de no usarse se deben esperar altos niveles de bacterias en el agua que ha permanecido estancada o en la tubería durante toda la noche, el agua que sale de las tuberías por la mañana deberá igualmente tener los niveles mas altos de bacterias.

2.3 PRUEBAS PARA CONTAMINANTES BIOLÓGICOS.

Es difícil que las pruebas del agua prevengan un caso aislado de enfermedad de origen acuático en un sistema de agua municipal, para muchos sistemas municipales, particularmente aquellos que usan fuentes de agua superficial; la calidad microbiológica cambia constantemente cuando grandes cantidades de agua se transportan y consumen. Pero los sistemas pequeños de agua subterránea y los pozos privados cambian en forma menos rápida su calidad total. Existen pruebas de bajo costo las cuales revelan la calidad microbiológica general del agua para un período extenso de tiempo.

2.3.1 COLIFORME TOTAL.

Muchos de los microorganismos infecciosos encontrados en el agua son difícil de aislar e identificar, debido a esto su análisis completo no es práctico en términos del tiempo y dinero requerido, consecuentemente el análisis de organismos indicadores se usa en forma común. Los microorganismos indicadores que se usan para determinar la presencia de bacterias patógenas en el agua se llaman coliformes

Las coliformes se encuentran en el excremento del hombre y animales de sangre caliente, acompañados de organismos patógenos o infecciosos. Si las coliformes se encuentran en el agua es muy probable que las bacterias patógenas también. La prueba de Coliforme Total se puede hacer en lugar de las baterías de pruebas que son necesarias para detectar los diferentes tipos de bacterias patógenas.

Las compañías comunitarias de agua y las agencias reguladoras del gobierno deben ordenar cual es el mejor análisis del agua para monitorear la calidad. La prueba de coliforme total tiene algunos defectos, sin embargo se ha usado como un indicador de la calidad total de un suministro de agua; una prueba negativa de coliforme se considera indicativa de agua potable segura, sin enfermedades de origen acuático o patógenos.

Existe un consenso general de que los efectos específicos sobre la salud por la contaminación microbiológica son pobremente entendidos, la presencia de coliforme es causa de interés inmediato para establecer el origen; el enfermo, el anciano y el niño son mas susceptibles a los efectos sobre la salud de los contaminantes microbiológicos.

Actualmente se usan dos diferentes métodos para determinar las coliformes totales en el agua potable, estas son las técnicas del Número Más Probable(MPN) y el Filtro Membrana(MF); son más los laboratorios que usan el procedimiento MF. Este es el menos caro y requiere menos equipo, por otro lado el MF tarda 22 horas mientras que el MPN 48 horas. También es el método más preferido por la precisión, reproducibilidad y rapidez; su sensibilidad se puede reducir por la turbidez y grandes cantidades de bacterias no coliformes. Los métodos de Presencia-Ausencia(P-A) se consideran como métodos alternativos, las pruebas P-A pueden eliminar algunos de los problemas tradicionales con las pruebas de coliformes. Las ventajas del concepto P-A para la medición de coliforme total incluye:

- Una determinación más fácil de la presencia de coliformes, mas que de la densidad de coliformes.
- Menor dependencia de la rapidez del tiempo de tránsito.
- Eliminación de los problemas de cálculo para determinar el número de coliformes.

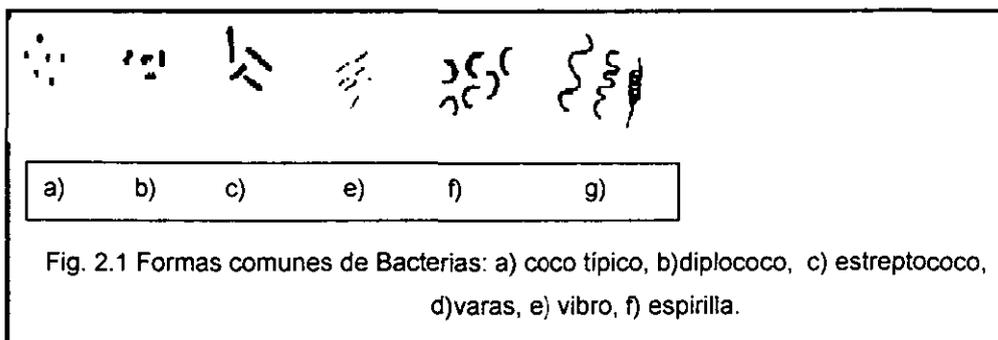
El surgimiento de una enfermedad de origen acuático en un sistema municipal no se puede prevenir aún si la prueba de coliforme total proporciona una alerta, desde el momento que la muestra es tomada y llevada al laboratorio, analizada y los resultados enviados de regreso, el agua ya se ha distribuido y consumido. Esto es demasiado tarde para una acción correctiva en la planta de agua potable, todos los métodos microbiológicos son inadecuados ya que solo dan información de la calidad del agua de unos días atrás y no en el momento actual.

Un estimado de la densidad de coliformes puede ser requerido para determinar el grado de contaminación, los resultados de la coliforme total(MF) se reportan como coliformes totales por 100 ml. Los resultados se reportan como:

Crecimiento confluyente(con o sin coliformes), esto significa que la membrana entera fue cubierta con una variedad de bacterias.

TNTC(demasiado numerosas para contar), demasiadas colonias (más de 200) significa que un conteo aproximado no se puede hacer, se reporta como TNTC por 100 ml(con o sin coliformes). Las coliformes no son adecuadas para indicar la presencia de patógenos no relacionados con contaminación fecal. Esto incluye legionella, giardia y virus (Stewart,1990).

Las formas comunes de bacterias se muestran en la Figura 2.1(Horan,1990).



2.3.2 COLIFORMES FECALES.

Existen muchos tipos de coliformes en las vías de aguas naturales, la presencia de coliformes fecales en el agua potable es una fuerte indicación de contaminación

reciente por aguas fecales. "La presencia de coliformes fecales indica que probablemente existe un problema urgente de salud pública, ya que los patógenos humanos coexisten con los coliformes fecales". Se requieren pruebas para coliformes fecales para el tratamiento de aguas municipales para obtener una descripción clara del grado de contaminación y riesgos.

2.3.3 CONTEO DE LA PLACA HETEROTRÓFICA(HPC).

Las bacterias heterotróficas son aquellas que utilizan y necesitan materia orgánica para crecer y reproducirse, esta amplia categoría comprende las bacterias patógenas, así como otras bacterias no peligrosas. Las pruebas de laboratorio para esta clase de bacterias se llama Conteo de la Placa Heterotrófica (HPC) o Conteo Estándar de la Placa(SPC). La HPC es una prueba simple y ampliamente conocida usada para medir la densidad de una porción sustancial de la población total de bacterias en la muestra. El resultado incluye las bacteria peligrosas, sin embargo es una medida directa del nivel bacterial y no una prueba indicadora, como es el caso de las coliformes totales.

Un resultado muy alto reportado para esta prueba puede ser una señal de la pobre calidad del agua, particularmente si las coliformes totales sustentan el resultado. Es posible que un resultado de la prueba HPC puede ser altamente simple debido a las bacterias peligrosas, por lo tanto es buena idea hacer pruebas para coliformes totales y bacterias HPC; si ambas son altas es claramente probable que exista un problema.

Los procedimientos HPC se han usado para determinar la colonización de bacterias en los filtros de carbono utilizados en el tratamiento de agua doméstica. Otra buena razón para considerar el análisis HPC es que una alta densidad de bacterias HPC pueden ocultar o interferir con el método de coliforme total. Se ha propuesto un límite de bacterias HPC de 500 por ml para el sistema municipal de agua, este nivel puede ser usado como una guía para aquellos que analizan su propio pozo de agua.

2.3.4 GIARDIA.

La giardia lamblia fue identificada inicialmente en 1681, es el microorganismo responsable de la giardiasis. Existe en el ambiente, generalmente en el agua en estado de quistes, cuando se ingiere pasa a su estado reproductivo volviéndose infeccioso. El quiste puede sobrevivir en agua fría por meses.

Casi la mitad de todos los brotes de enfermedades de origen acuático en los sistemas comunitarios de agua se deben a la giardia lamblia, haciéndola el patógeno mas comúnmente identificado. se cree que el número de casos reportados representa solo una fracción de los casos que ocurren. Por otro lado los ataques de giardiasis se incrementan en forma muy rápida, doblándose cada cinco años.

La infección por giardia no causa automáticamente una enfermedad, muchas personas y animales no presentan síntomas durante la infección por giardia. El encontrar quistes de giardia en las evacuaciones del paciente no es evidencia conclusiva de que sea la causa de la enfermedad. No se entiende porque algunas personas se enferman y otras cuando son infectadas no muestran signo de esto. El período de incubación varía de una a tres semanas, los síntomas agudos incluyen gas, flatulencia, diarrea acuosa explosiva y pestilente, vómito y pérdida de peso. En muchas personas estos síntomas duran de una a cuatro semanas, aunque existen casos de tres a cuatro días o de algunos meses.

La mayoría de los ataques son el resultado del consumo de agua superficial no tratada, o solamente tratada con cloro. La cloración es algunas veces el único método utilizado para alcanzar el requerimiento de coliforme total. Aunque los brotes de giardiasis se localizan ampliamente en los sistemas de aguas superficiales, los quistes de giardia se han encontrado en los suministros subterráneos, los cuales normalmente se contaminan por medio de manantiales y pozos, estas fuentes de agua potable son menos riesgosas debido a la filtración natural del suelo hacia el sistema acuífero.

Se han identificado dos factores que contribuyen a un más alto riesgo de infección por giardia, ellos son el agua superficial no tratada y el tener mas de un

hermano entre tres y diez años de edad. Estos factores fundamentan la teoría de que la ruta actual de la infección es la adquisición del quiste de la enfermedad por el ser humano, y la subsiguiente transmisión hacia otros; en otras palabras, el agua es el origen pero el contacto de persona a persona es la ruta de transmisión. El reforzamiento de esta teoría se ha demostrado al no haber diferencia en la presencia de la giardia entre niños que usan agua superficial y agua subterránea.

El origen específico de la giardia de origen acuático en la inmensa mayoría de los brotes es de origen desconocido, los animales salvajes y domésticos; así como el hombre están implicados en la causa de los brotes de giardiasis. Los castores son mencionados como la fuente que originalmente transfiere la enfermedad al hombre, actualmente se cree que adquieren la giardia del hombre y que actúan únicamente como una reserva para el crecimiento de la enfermedad.

2.5 VIRUS.

Se ha encontrado que ciertos virus contaminan los suministros de agua, y se transmiten de persona a persona multiplicándose en un huésped vivo. Los virus relacionados con las enfermedades de origen acuático se llaman virus entéricos, afectando a los intestinos; pueden sobrevivir por largos periodos en las corrientes de agua. La cantidad de virus que causan enfermedad en el agua potable es desconocida, todos los científicos concuerdan en que el agua debe estar libre de bacterias y virus; pero al igual que las bacterias, actualmente los efectos sobre la salud por los virus en el agua se entiende muy poco.

Algunos virus tienen un largo intervalo entre la infección y la aparición de la enfermedad. La hepatitis A, adenovirus y norwalk son los virus para los cuales se han documentado los ataques, se ha encontrado que el virus norwalk es la causa del 23% de las enfermedades de origen acuático.

Las plantas de tratamiento de agua no están diseñadas para remover virus, sino solo bacterias, las pequeñas cantidades de virus que se descargan a los ríos y

corrientes se consideran un peligro potencial a la salud para las comunidades río abajo. La operación apropiada de las plantas de tratamiento convencional que utilizan filtración y desinfección pueden remover o desactivar el 99.99% de los virus entéricos.

La sobrevivencia de los virus es variable y depende de la fuente de agua, son mas resistentes a la cloración que las bacterias, la desinfección no es efectiva si la turbidez es alta y si el cloro no tiene casi tiempo de contacto con el agua y los virus. El nivel y tipo de virus encontrado en un suministro en particular es dependiente del nivel y tipo de virus excretado por la población local.

Un alto porcentaje de arcilla en el suelo se asocia con la remoción del virus del agua que se filtra hacia el subsuelo, la arena y la grava no son buenos removedores sino que ayudan a un rápido movimiento hacia las aguas subterráneas. Se cree que los virus tienen la habilidad de viajar mas rápidamente en las aguas del subsuelo que los contaminantes químicos; los suelos con un pH bajo ayudan a la adsorción de los virus por parte de las partículas del suelo. Los virus aparentemente sobreviven mas tiempo a bajas temperaturas, teniendo en su contra la contaminación, la luz del sol, los sólidos suspendidos y las condiciones salinas. (Stewart, 1990).

2.3.6 LEGIONELLA.

El patógeno legionella pneumophila era relativamente una bacteria desconocida hasta 1976 cuando 34 personas murieron en la convención anual de la Legión Americana en Filadelfia. La infección aguda resultante de la Legionella pneumophila se llama Legionelosis y se asocia con dos enfermedades diferentes, la Fiebre de Pontiac y la Enfermedad del Legionario, ambas no son transmisibles. Es una enfermedad rara adquirida al tomar agua.

El único hábitat científicamente documentado de la legionella pneumophila es el ambiente acuático o húmedo, ocupa un nicho ecológico igual que cientos de microorganismos en el ambiente acuático. Cuando entra a un sistema de distribución

puede proliferar debido a la temperatura, estancamiento y otros factores. Las llaves aereadoras y las regaderas que restringen el flujo de agua y causan taponamiento, son lugares donde puede crecer a un nivel que cause enfermedad. Se ha detectado en calentadores de agua en hospitales, hoteles, fábricas y casas.

El hecho de que exista *L. pneumophila* en un sistema de agua no significa necesariamente que la enfermedad es inevitable, la condición del huésped o paciente es importante para que se desarrolle la enfermedad.

La *Legionella* tiene la habilidad para sobrevivir al tratamiento convencional del agua, se cree que es considerablemente más resistente a la cloración que las bacterias coliformes (Stewart,1990).

2.3.7 ESPORAS.

Como un resultado de cambios en las condiciones ambientales, muchas bacterias son capaces de iniciar cambios fisiológicos y morfológicos lo cual genera estructuras en estado latente. Una de tales estructuras se conoce como espora y está adaptada para sobrevivencia prolongada bajo condiciones adversas por ejemplo: calentamiento, desecación, congelación, químicos tóxicos y radiación.

Una de las bacterias importantes en forma de esporas incluye el *Bacillus anthracis*, el cual causa la enfermedad del ántrax en ganado vacuno y ovejas y el *Clostridium perfringens* el cual se usa como un indicador de contaminación fecal remota. Las esporas se forman ya sea en el centro o en un extremo de la célula y son altamente retráctiles. La célula madre en la cual la espora original se ha formado se conoce como esporangium, desaparece una vez que la espora se ha producido.

Una estructura latente similar a una espora se conoce como quiste, Este difiere en que la bacteria se envuelve así misma con una capa externa protectora resistente (Horan,1990).

2.4 EFECTO DE LOS PROCESOS DE TRATAMIENTO DE AGUA SOBRE LA ELIMINACIÓN DE MICROORGANISMOS.

Las bacterias patógenas y los virus entéricos se encuentran presentes en gran cantidad en aguas superficiales contaminadas con drenaje doméstico. Al usar agua superficial contaminada para la obtención de agua potable se ha efectuado un estimado del número de microorganismos que pueden estar presente en el agua final con respecto a los procesos de tratamiento. El estimado está basado en la presencia de la bacteria indicador para contaminación fecal(bacteria coliforme y bacteria coliforme fecal) y microorganismos que son mas resistentes que las bacterias(virus entéricos), usando dos esquemas de tratamiento(Depósito abierto e Infiltración en arena).

Se ha llevado a cabo un estimado de la capacidad de remoción basado en los datos disponibles en la literatura acerca de los dos tipos de procesos de tratamiento antes mencionados y los resultados se muestran en la Tabla 2.1.

El número de bacterias y virus que pueden estar presente en el agua producto después del tratamiento se muestran en la Tabla 2.2.

De los datos anteriores es evidente que si los procesos de tratamiento hubiesen operado para una remoción óptima de los virus, pocas bacterias y virus deberían estar presente en el agua producto del que se encuentra en el presente.

Algunos microorganismos patógenos son capaces de iniciar infecciones en humanos aun cuando se encuentren en pequeñas cantidades.

Existen algunas desventajas al investigar el agua potable solamente para los patógenos antes mencionados, es importante evaluar la bacteria indicador (coliformes) con respecto a los aspectos higiénicos.

Un enfoque apropiado consiste en correlacionar el número de bacterias coliformes(incluyendo la bacteria coliforme fecal) con el número de microorganismos patógenos (salmonella, shigella y virus entéricos) y la incidencia de enfermedades. Se ha establecido *que la ausencia de 1 coliforme por 100 ml lo cual es un estándar para

agua potable de acuerdo a la experiencia. Esto no excluye la posibilidad de adquirir una infección intestinal, de tal forma que no es un estándar de perfección*

Tabla 2.1 Estimación de la Capacidad de Eliminación de Microorganismos durante la Preparación de Agua Potable.

DEPOSITO ABIERTO			INFILTRACIÓN EN ARENA		
Proceso de Tratamiento	Eliminación de coliforme / virus entérico. (unidades log) Optimo-Práctica		Proceso de Tratamiento	Eliminación de coliforme / virus entérico (unidades log) Optimo-Práctica	
Cisterna	1.7/3	1.7/3	Coagulación	2.7/3.7	0-7/1
Punto de Cloración	4/3	3/2	Filtración rápida en Arena.	0.3/0.3	0.1/0.1
Coagulación	2.7/2.7	0.7/1	Filtración lenta en Arena.	2/2	2/1
Filtración rápida en Arena.	0.3/0.3	0.1/0.1	Cloración	4/3	3/2
Cloración	4/3	3/2	infiltración	4/3	4/4

Fuente: A-James, 1979.

No está claro si el estándar coliforme proporciona una protección comparable contra la enfermedad de virus, pero una buena elección del proceso de tratamiento deberá reducir el problema de manera significativa.

Tabla 2.2 Estimación del Número de Microorganismos presentes en el Agua Potable.

Tipo de Microorganismo	Número de Microorganismos / m ³			
	Agua Superficial	Agua Potable (Infiltración)	Agua Potable (Cisterna)	
		Optimo	Práctica	Optimo Práctica
Bacteria Coliforme	3x10 ⁸	1.5x10 ⁻³	3.8x10 ⁻¹	6x10 ⁻⁵ 9.6x10 ⁻¹
Bacteria Coliforme Fecal	3x10 ⁷	1.5x10 ⁻⁴	3.8x10 ⁻²	6x10 ⁻⁶ 9.6x10 ⁻²
Virus Entérico	1x10 ⁵	5 x10 ⁻⁶	3.2x10 ⁻²	1x10 ⁻⁷ 8x10 ⁻³

Fuente: A-James, 1979.

INTRODUCCIÓN.-

Las sustancias disueltas o partículas finamente dispersas pueden ser separadas de los líquidos por medio de los procesos de Electrodiálisis (ED), Filtración(F), Ultrafiltración (UF), Ultracentrifugación (UC) y Osmosis Inversa(OI).

La electrodiálisis, ultrafiltración y osmosis Inversa se llevan a cabo sobre transporte de membrana, lo cual es el paso de solutos o solventes a través de capas de membranas porosas. La Ultracentrifugación depende de las elevadas fuerzas centrífugas para separar dos líquidos.

3.1 ELECTRODIÁLISIS.

El principio de la electrodiálisis es el de los gradientes de potencial eléctrico, que hacen que una molécula cargada se difunda en un medio dado a velocidades mas grandes que los logrados por potenciales químicos entre dos líquidos. como sucede en una diálisis convencional. Cuando una corriente eléctrica directa es transmitida a través de una solución salina, los cationes emigran hacia la terminal negativa (cátodo) y los aniones hacia la terminal positiva (ánodo). Al ajustar el potencial entre las terminales o placas, la corriente eléctrica y por lo tanto el flujo de iones transportados entre las placas puede ser variado.

La electrodiálisis puede ser aplicada a operaciones del tipo flujo continuo necesitados en la industria, las pilas de membranas pueden ser construidas con un espaciamiento alternado de membranas selectivas aniónicas y catiónicas.

Uno de los problemas técnicos asociados con el proceso de electrodiálisis y quizás el mas serio es la concentración de la polarización, otro problema en aplicaciones prácticas incluye el escamamiento de las membranas por inorgánicos en la solución de alimentación, así bien como el ensuciamiento de las membranas por orgánicos. La separación eficiente o pretratamiento en las corrientes de entrada puede

incluir la absorción en carbón activado para reducir o prevenir tales problemas. Las aplicaciones principales de la electrodiálisis incluye:

- Recuperación de materiales de líquidos efluentes.
- Purificación de fuentes de agua.
- Renovación del agua efluente para su reutilización.

El tratamiento de aguas saladas en la producción de suministros potables es la mas grande aplicación de la electrodiálisis. Como se muestra en la Figura 3.1, el movimiento de los iones puede lograrse al colocar membranas tipo placa de material de intercambio catiónico o iónico entre las placas externas. las placas de resinas selectivas iónicas y catiónicas permiten el paso de los respectivos iones en solución.

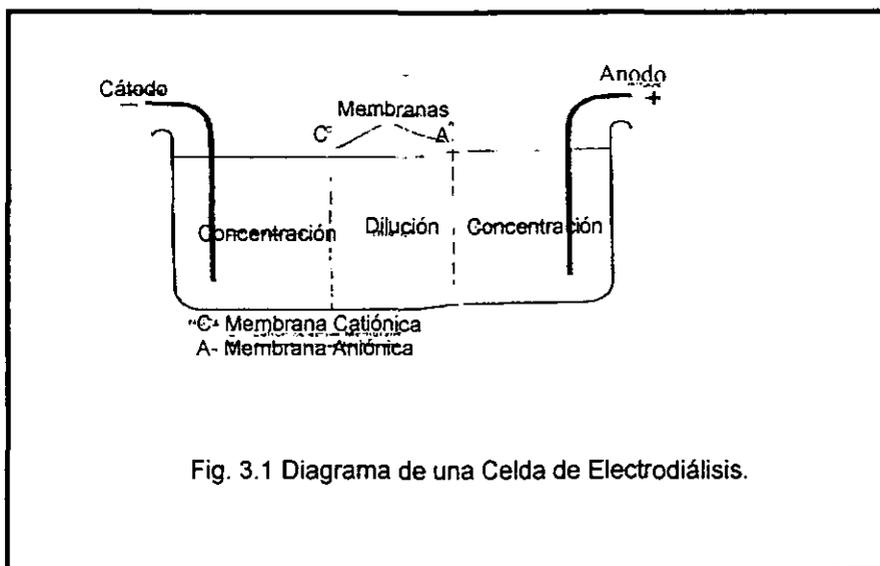


Fig. 3.1 Diagrama de una Celda de Electrodiálisis.

Bajo la aplicación de un campo de corriente directa los cationes y aniones deberán colectarse sobre un lado de cada membrana a través de la cual serán

transportadas y dejarán el otro lado. Por ejemplo si una solución de cloruro de sodio es suministrada a la zona central de la celda, los iones sodio deberán emigrar hacia la membrana C, abandonando la zona central llamada corriente diluida o alimentación del producto, las dos zonas externas donde se colectan los iones se conocen comúnmente como las corrientes concentradas o salmueras.

La electrodiálisis se aplica a operaciones del tipo flujo continuo, el flujo de las soluciones a través de compartimientos específicos y la recombinación apropiada de los iones transportados permite el enriquecimiento deseado de una corriente y el empobrecimiento de otra.

Sin embargo la electrodiálisis es mas compleja que otros procesos de membranas de separación, las características del funcionamiento de una celda es en principio posible de calcular al conocer la geometría de la celda de electrodiálisis, las propiedades electroquímicas de la membrana y la solución electrolítica. En las unidades de electrodiálisis es esencial la inclusión de otros equipos tales como bombas para la circulación de flujos de concentrados y diluidos, sistemas de inyección para el control del pH, alarmas para presión, concentración y pH; tamices y filtros para la alimentación, entre otros.

Debido a un pH alto en la corriente del cátodo, pueden precipitar sustancias tales como carbonatos e hidróxidos sobre la superficie del cátodo y las membranas adjuntas, se inyecta ácido sulfúrico para mantener la corriente a un pH de 2 o menos, también el concentrado recirculado requiere una adición de ácido para disminuir el pH y estabilizarlo con alguna sustancia adicional tal como hexametáfosfato de sodio.

Uno de los problemas asociados con el proceso de electrodiálisis y el mas importante es la concentración de la polarización, este problema también existe en los sistemas de osmosis Inversa y se debe al aumento de la concentración de iones de un lado de la membrana y una disminución en la concentración del lado opuesto, esto afecta negativamente la operación de las membranas y puede dañarlas o destruirlas.

La polarización se origina cuando el movimiento de los iones a través de la membrana es mas grande que los movimientos convectivos y difusivos de los iones en

el seno de la solución hacia y fuera de la membrana, junto con un cambio nocivo en el pH en la superficie de la membrana; la polarización puede causar la contaminación de la solución disminuyendo la eficiencia de la energía.

Un problema con los electrodiálizadores es la variabilidad de la alimentación, el remedio para esto es un monitoreo eficiente de la calidad y un control refinado del pretratamiento. Las membranas selectivas son sensibles a las cargas específicas de la entrada, incluyendo su pH y su concentración; las membranas permeables a los aniones son particularmente susceptibles a daños si se operan fuera de su intervalo de diseño.

3.2 FILTRACIÓN.

La filtración es la separación de una mezcla sólido-fluido involucrando el paso de la mayor parte del fluido a través de una barrera porosa la cual retiene la mayoría de las partículas sólidas contenidas en la mezcla (Perry,1999).

Filtración es el término de la operación unitaria y un filtro es una pieza del equipo de la operación unitaria por la cual se desarrolla la filtración.

El medio filtrante es la barrera que tiene que pasar el líquido mientras que se retiene la mayoría del sólido, a su vez; el medio puede ser una malla, tela, papel o un lecho de sólidos. El líquido que pasa a través del medio filtrante se llama filtrado.

Clasificación de los filtros:

1.- Por Fuerza Motriz. El filtrado es inducido a fluir a través del medio filtrante por la cabeza hidrostática (gravedad), presión aplicada corriente arriba del medio filtrante, vacío o presión reducida aplicada corriente abajo del medio filtrante, o fuerza centrífuga a través del medio.

2.- Por mecanismo de filtración. Cuando los sólidos se detienen en la superficie del medio filtrante y se acumulan para formar una torta de espesor en aumento, la separación se conoce como filtración torta. Cuando los sólidos quedan atrapados dentro de los poros o cuerpo del medio, se le llama filtración profunda.

3.- Por objetivos. El objetivo de la filtración pueden ser los sólidos secos, líquido clarificado o ambos. La mejor recuperación de sólidos se obtiene por filtración torta, mientras que la clarificación del líquido es acompañada ya sea por la filtración profunda o filtración torta.

4.- Por ciclo de operación. La filtración puede ser intermitente (batch) o continua. Los filtros batch pueden ser operados con presión constante de la fuerza motriz, a velocidad constante, o en ciclos que varían con respecto a la presión y la velocidad.

5.- Por naturaleza de los sólidos. La filtración torta puede involucrar una acumulación de sólidos que pueden ser deformables o rígidos. La partícula o agregados de partículas pueden ser del mismo tamaño del orden de magnitud del tamaño mínimo de poro de muchos medios filtrantes ($1 - 10\mu\text{m}$), o pueden ser más pequeños ($1\mu\text{m}$ bajo las dimensiones de bacterias y algunas moléculas grandes).

La filtración en medio granular por gravedad es el tipo más común usado en el tratamiento de agua para remover floc no sedimentable que permanece después de la sedimentación y coagulación química (Hammer, 1996).

La filtración es usada para separar sólidos no sedimentables del agua y agua de desecho haciéndola pasar a través de un medio poroso. El sistema más común es la filtración a través de una capa de lecho de medio granular, normalmente carbón antracita ordinaria sobre una capa de arena más fina (Viessman, 1993).

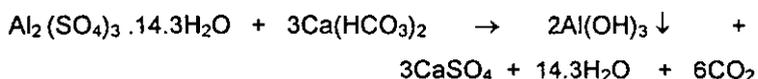
3.2.1 COAGULANTES, FLOCULANTES Y CARBON ACTIVADO.

3.2.1.1 COAGULANTES.

Los coagulantes metálicos usados comúnmente en el tratamiento de agua son 1) aquellos basados en aluminio, tal como sulfato de aluminio, aluminato de sodio, potasio de aluminio y amoniaco de aluminio; y 2) aquellos basados en hierro, tal como el sulfato férrico, sulfato ferroso, sulfato ferroso clorado y cloruro férrico.

El sulfato de aluminio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14.3\text{H}_2\text{O}$) es por mucho el coagulante mas ampliamente usado; el producto comercial es conocido como alúmina, alúmina para filtrar o sulfato de alúmina.

La alúmina para filtrar es un sólido cristalizado color blanco conteniendo aproximadamente 17 por ciento de Al_2O_3 soluble en agua y está disponible en terrones, en polvo o soluciones concentradas. El sulfato de aluminio líquido de color ámbar contiene cerca de 8 por ciento de Al_2O_3 . En la ecuación hipotética de coagulación el floc de aluminio se escribe como $\text{Al}(\text{OH})_3$. Esta es la forma predominante que se encuentra en soluciones diluidas cerca del pH neutro en ausencia de aniones complejos como el hidróxido. La reacción entre el aluminio y la alcalinidad natural se muestra en la siguiente ecuación:



Basada en reacciones del tipo anterior se tiene que 1mg/l de alúmina con un peso molecular de 600 reacciona con 0.5 mg/l de alcalinidad natural, expresada como CaCO_3 . Las dosis de alúmina usadas en el tratamiento de agua están en el rango de 5

a 50 mg/l, con la mas alta concentración necesaria para clarificar la turbidez de las aguas superficiales. La coagulación de la alúmina es generalmente efectiva dentro de los límites de pH de 5.5 a 8.0.(Hammer,1996).

Un coagulante se añade al agua para desestabilizar las partículas e inducir las a agregarse en partículas mayores conocidas como flóculos. La cantidad de coagulante añadida al agua es crítica, demasiada poca cantidad resulta en una coagulación inefectiva de forma que los aparatos de filtración pueden bloquearse rápidamente, mientras que demasiado coagulante puede conducir a un exceso de productos químicos en el agua final(30-100mg/l). La coagulación está completa en un minuto a partir de la adición. Todas las partículas de origen natural en el agua tienen un pequeño potencial eléctrico negativo en su superficie menor a 20 mV. Como los flóculos de los hidróxidos tienen un pequeño potencial eléctrico positivo, hay una atracción mutua entre las partículas en el agua.(Gray,1994).

Los coagulantes inorgánicos como la alúmina se han usado desde los tiempos romanos. Hoy sin embargo están siendo desplazados por los polímeros orgánicos y el cloruro de polialuminio. Aunque más caros estos productos trabajan a mas bajas dosis, minimizando su contribución química al agua.

A diferencia de su contraparte inorgánica, los polímeros no forman hidróxidos metálicos. También generan un volumen menor de lodo y separan mas efectivamente los sólidos de desecho.

Con el incremento en los costos de eliminación del lodo en todo el mundo y la prohibición de enterrar los desechos orgánicos húmedos en la Unión Europea en el 2005, el generar un bajo volumen de lodo es una de sus mas importantes ventajas.

Sin embargo el uso de coagulantes inorgánicos es alto y permanecerá a causa de su mas bajo costo. Una tendencia en la industria es mezclar coagulante orgánicos e inorgánicos para aprovechar las ventajas de ambos. (Crabb, 2000).

3.2.1.2 FLOCULANTES.

Cuando las partículas pequeñas en un líquido colisionan, algunas se agregan naturalmente para formar partículas más grandes. Conforme las partículas más grandes sedimentan, alcanzan a las partículas más pequeñas que están sedimentando a una velocidad más lenta. Si colisionan, entonces las partículas más pequeñas se agregarán a la partícula más grande. En el proceso de tratamiento de agua, la floculación sigue por tanto a la adición química (coagulación), que es requerida para desestabilizar las partículas coloidales presentes. (Gray, 1994).

Las dificultades en la coagulación generalmente ocurren a causa del lento asentamiento del precipitado o la fragilidad del floc que es fácilmente fragmentado bajo las fuerzas hidráulicas en depósitos y filtros. Los floculantes ayudan a beneficiar la floculación mejorando el asentamiento y la resistencia del floc. Los materiales más ampliamente usados son polímeros; otros son la sílica activada, agentes adsorbentes espesantes y oxidantes.

Los polímeros sintéticos son cadenas largas de alto peso molecular comercialmente disponibles bajo una amplia variedad de nombres comerciales. Se clasifican de acuerdo al tipo de carga sobre la cadena del polímero. Los que poseen carga negativa se llaman aniónicos, los de carga positiva se conocen como catiónicos y los que no llevan carga eléctrica se les denomina no iónicos. Los aniónicos o no iónicos se usan con los coagulantes metálicos para proveer un puente entre los coloides para que el floc crezca más grande y pesado. La dosis requerida de floculante es del orden de 0.1 a 1 mg/l. La prueba de jarra debe usarse en la operación de la planta para determinar la eficacia de un polímero en particular en la floculación del agua. (Hammer, 1996).

Un floculante está basado normalmente en una poliacrilamida, el cual tiene una cadena más larga y ramificada permitiendo que la partícula neutralizada se concentre en un floc más pesado. En presencia de un floculante más pesado, más denso deberá

ser el floc, permitiendo que un asentamiento más rápido y una mayor resistencia al esfuerzo cortante.

Los fabricantes de polímeros para el tratamiento del agua están mejorando la funcionalidad ajustando el grado de ramificación y variando las cargas a lo largo de la cadena molecular, esto resulta en un polielectrolito, los cuales se han desarrollado para que no contengan aceite ni surfactantes, lo cual reduce su impacto ambiental, ya que se estima un volumen anual de 90 millones de libras de aceite y surfactante que se incorporan al ambiente anualmente.(Crabb, 2000).

3.2.1.3 CARBÓN ACTIVADO.

Está disponible generalmente en tres formas: polvo (PAC), granulado (GAC) o extrudado (EAC). En polvo es usado casi exclusivamente en purificación batch de líquidos que contienen partículas más pequeñas que la malla 80 y que pueden ser removidas por filtración o sedimentación, pero no es regenerable.

El GAC es adecuado para purificación en fase líquida o gaseosa en un proceso continuo o semicontinuo, es usado generalmente cuando se tiene que purificar un solo producto o corriente. Dependiendo de la aplicación el GAC puede ser reactivado y rehusado. Igualmente el EAC puede ser regenerado y usado. En forma cilíndrica el EAC es usado en purificación en fase gaseosa, soporte de catalizador.

Dependiendo del material adsorbido, la regeneración y rehúso del carbón activado puede ser económicamente factible y ambientalmente deseable. Para regenerar PAC el proceso inicia llenando el lecho de carbón sucio con un solvente que desplaza el material adsorbido en los poros. Los contaminantes son drenados a un depósito. Se le agrega un solvente para cambiar el pH del lecho, lo cual también ioniza al primer solvente. Como ambos son compatibles con el agua pueden ser desalojados, dejando un lecho de carbón limpio. (Silverberg, 1999).

3.2.2 FILTRACIÓN POR GRAVEDAD EN UN MEDIO GRANULAR.

La filtración por gravedad a través de lechos de medio granular es el método más común para remover impurezas coloidales en el procesamiento de agua y tratamiento terciario en aguas de desecho.

Los mecanismos involucrados en la remoción de sólidos suspendidos en un medio granular filtrante es complejo, consiste de intercepción, filtrado, floculación y sedimentación, como se muestra en la Figura 5.1. Inicialmente la filtración en la superficie y la remoción intersticial resulta en la acumulación de depósitos en la porción superior del medio filtrante. A causa de la reducción en el área del poro, la velocidad del agua a través del vacío restante se incrementa, pedazos de floc capturados e impurezas acarreadas hacia lo profundo del lecho filtrante. La zona efectiva de separación pasa a lo más profundo del filtro. La turbulencia y el incremento resultante del contacto de la partícula dentro de los poros promueve la floculación. Resultando en la captura de las partículas de floc más grandes. Finalmente el lecho profundo limpio y el paso ya no está disponible, transportando sólidos en el flujo de descarga causando la terminación de la carrera del filtro.

Partículas de materia microscópica en el agua cruda que no es tratada químicamente deberá pasar a través de los poros relativamente grandes del lecho del filtro. Por otro lado la alimentación de sólidos suspendidos hacia un filtro con exceso de coagulante separable del tratamiento químico produce la obstrucción de los poros en la superficie del lecho.

La filtración óptima ocurre cuando las impurezas en el agua y la concentración causa una filtración a fondo. Las impurezas aunque pasen a través del lecho no todas se cuelan en la superficie, pero una cantidad importante de sólidos floculados es removido a través de la profundidad entera del filtro.

La remoción de contaminantes con un apropiado pretratamiento químico es la siguiente: turbidez (84-96%), bacteria coliforme (97-99.95%) y quistes de Giardia

(100%), no se detectaron quistes en el agua filtrada. La remoción sin pretratamiento químico es: turbidez (35-57%), coliforme (60%), Giardia (80-90%). Viessman (1993).

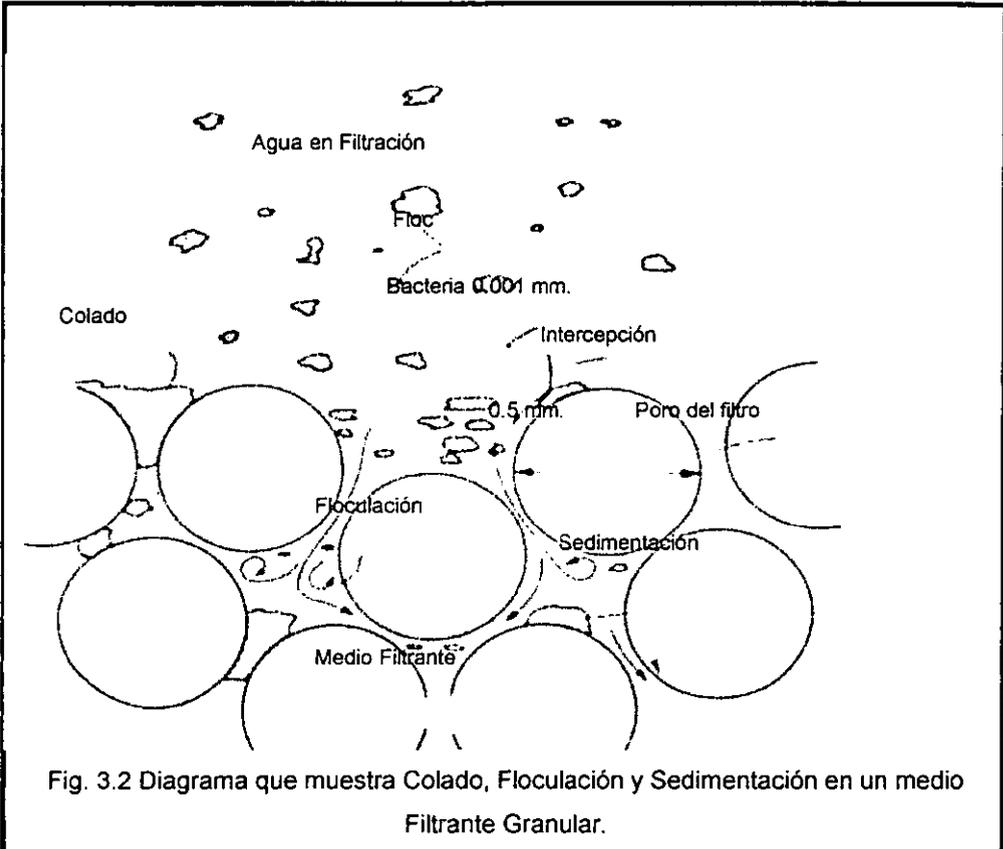


Fig. 3.2 Diagrama que muestra Colado, Floculación y Sedimentación en un medio Filtrante Granular.

El tratamiento más común en la filtración es la adición de agentes floculantes, ya sea químicos inorgánicos o polímeros sintéticos. La principal tarea es determinar la sustancia química y la cantidad de la misma más efectiva para ser usada.

Es normalmente difícil de observar un cambio en la estructura del floc en una mezcla concentrada. Los dos mejores indicadores de que se ha agregado la cantidad

efectiva de químicos es un repentino espesamiento o incremento de la viscosidad de la mezcla. Generalmente es necesario exceder la cantidad límite de químicos antes de una mejora en la medida. La dosis apropiada resulta de un balance económico entre el costo de químico adicional y el ahorro resultante de una reducción del área del filtro.

Las pruebas proyectadas se usan para determinar el mejor químico y su dosis aproximada. Es normalmente conveniente usar recipientes pequeños graduados y cantidades de muestras en el rango de 50 a 150 ml. Los químicos pueden ser agregados con una jeringa o un cuentagotas medicinal, anotando la cantidad usada junto con los resultados. (Perry,1999).

3.2.3 MEDIO FILTRANTE.

El medio filtrante ideal posee las siguientes características: medida suficiente para poros grandes abiertos para retener grandes cantidades de floc todavía suficientemente fino para prevenir el paso de sólidos suspendidos, profundidad adecuada para permitir carreras relativamente largas de filtrado. El primer medio filtrante usado fue una arena fina de tamaño casi uniforme. La primera modificación a este único medio filtrante consistió en incrementar el tamaño de la arena para permitir carreras más largas del filtro y una mayor profundidad de penetración mientras se reducen los efectos indeseables del colado en la superficie. Lechos de medio dual de antracita revistiendo el filtro de arena proporciona una capa superior de mayor porosidad para prevenir el taponamiento de la superficie.

El medio granular está especificado para un tamaño efectivo y un coeficiente de uniformidad. El tamaño efectivo es el 10 percentil del diámetro, lo cual significa que el 10 por ciento del grano del filtro en peso es más pequeño que su diámetro. El coeficiente de uniformidad es la relación del 60 percentil del diámetro al 10 percentil del diámetro. El rango común en el tamaño efectivo para filtros simples de arena es de 0.45 hasta 0.55 mm y la gravedad específica es 2.65, el coeficiente de uniformidad es menor a 1.7.

El perfil de un medio filtrante dual de antracita-arena se muestra en la Figura 3.2. Este filtro usa un medio relativamente ordinario de antracita con un tamaño efectivo entre 0.9 a 1.1 mm y gravedad específica de 1.4 hasta 1.6 sobre una capa de arena más fina, el coeficiente de uniformidad del medio de antracita es menor a 1.7. La capa superior de antracita tiene vacíos cerca del 20 por ciento más grande que la arena, por eso se gradúa el medio de áspero a fino en la dirección del flujo.

Las partículas de floc más grandes se adsorben y atrapan en la superficie de la capa de antracita, mientras que el material más fino es retenido en el filtro de arena; por lo tanto el lecho filtra en lo más profundo previniendo el taponamiento prematuro de la superficie. (Hammer,1996).

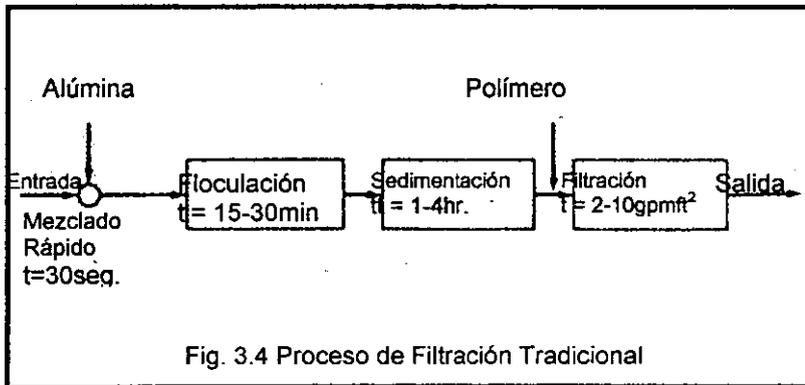


3.2.4 PROCESOS DE FILTRACIÓN.

Básicamente se reconocen dos tipos de filtración, Filtración Tradicional y Filtración Directa.

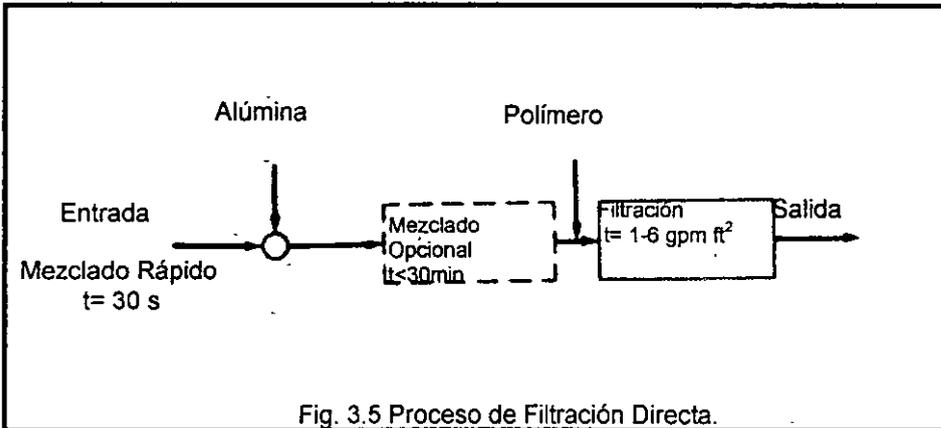
3.2.4.1 FILTRACIÓN TRADICIONAL.

Un esquema típico para procesar suministros superficiales de calidad agua potable se muestra en la Figura 3.4, consiste de floculación con un coagulante químico y sedimentación antes de la filtración. Bajo la fuerza de gravedad el agua fluye hacia abajo a través del medio que colecta el floc y partículas. La destrucción de bacterias y virus depende de un control satisfactorio de la turbidez para aumentar la eficiencia de la cloración. Las velocidades de filtración seguida de floculación y sedimentación están en el rango de $1.4-6.8 \text{ l/m}^2 \cdot \text{s}$ con una velocidad máxima de diseño de $3.4 \text{ l/m}^2 \cdot \text{s}$.



3.2.4.2. FILTRACIÓN DIRECTA.

Este proceso se muestra en la Figura 3.5, no incluye sedimentación antes de la filtración. Las impurezas removidas del agua se colectan y almacenan en el filtro. Aunque se requiere un mezclado rápido de los químicos, la etapa de floculación es casi eliminada o se reduce a un tiempo de mezclado de menos de 30 min. La floculación por contacto de las partículas químicamente coaguladas en el agua tiene lugar en el medio granular. Las aguas superficiales con baja turbidez y color son más adecuadas para procesar por filtración directa. Las aguas con menos de 40 unidades de color, turbidez consistentemente debajo de 5 unidades, hierro y manganeso a concentraciones menores a 0.3 y 0.05 mg/l respectivamente; y un conteo de algas debajo de 2000/ml puede ser procesada exitosamente. Las velocidades de filtración son normalmente de 0.7-4.1 l/m².s.



3.2.5 VENTAJAS DE LA FILTRACIÓN.

Los sistemas de Filtración y Clarificación tienen las siguientes ventajas:

1.- Rápida velocidad de filtración usando coagulantes químicos.

. Capaces de remover turbidez, color y algunos precursores de subproductos desinfectantes.

Es posible modificarlo para permitir el crecimiento biológico en el medio para remover BDOC, pero puede ser maniobrado para mantener otras funciones del filtro.

. Muchas veces es importante para la remoción de manganeso en plantas que agregan cloro u otros oxidantes a la entrada del filtro, de este modo se produce una capa oxidante que puede adsorber manganeso.

. Capaces de remover patógenos.

2.- Filtración con Arena.

. Capaces de remover la turbidez y BDOC.

. Remoción limitada de color y precursores de subproductos desinfectantes.

La preozonación puede también incrementar la remoción de color y Precusores, haciendo a este material más propenso a remoción por biodegradación en filtros de arena.

. Capaces de remover patógenos.

3.- Lechos de Filtración.

. Capaz de remover turbidez.

. Remoción limitada de color y precursores de subproductos desinfectantes y BDOC sin pretratamiento, condicionamiento del medio o aumento de la alimentación.

. Capaz de remover patógenos.

4.- Filtros de Cartucho.

. Capaces de remover turbidez.

. Limitada remoción de color, precursores de subproductos desinfectantes y

BDOC.

. Capaz de remover patógenos.

(Bryant,1992).

3.3 ULTRAFILTRACIÓN.

En Ultrafiltración (UF) una emulsión se alimenta mediante bombeo a través de una unidad de membrana, el agua y algún material disuelto de bajo peso molecular pasa a través de la membrana bajo una presión hidrostática aplicada, las gotitas de aceite emulsionado y partículas suspendidas son retenidas concentradas y removidas continuamente como un fluido concentrado; en contraste con la filtración ordinaria, aquí no se acumula el material retenido sobre el filtro membrana.

La estructura de poros de la membrana actúa como un filtro pasando solutos pequeños como sales, mientras retiene materia emulsionada y suspendida de gran tamaño, los poros de la membrana de la UF son mucho mas pequeños que las partículas rechazadas y por lo tanto no penetran la membrana dando como resultado que los poros no se taponen; la estructura y tamaño de los poros, es menor a 0.005 micrones evitando con esto algún paso de regeneración.

Otro criterio importante de diseño en UF es la capacidad de la membrana llamada flux, la cual es el volumen de agua permeada por unidad de área de membrana por unidad de tiempo, las unidades estándar son galones por día por pie cuadrado (gpd/ft^2) o metros cúbicos por día por metro cuadrado ($\text{m}^3 \text{pd/m}^2$), el equipo de la membrana, costos de capital y operación se incrementa con el área de la membrana requerida; por lo tanto es altamente deseable maximizar el flux de la membrana.

Los filtros de membrana se caracterizan por la pequeñez y uniformidad del tamaño de poro, difícil de lograr con filtros de celulosa. Se caracterizan por ser delgadas, resistentes, baja absorción y adsorción con una superficie de textura lisa, estas propiedades son útiles para una variedad de procedimientos analíticos.

Todas las partículas mas grandes que el tamaño de poro de un filtro membrana se capturan por filtración sobre la superficie de la membrana, esta retención absoluta por la superficie hace posible determinar la cantidad y tipo de partículas ya sean líquidos o gases; cuantitativamente por peso o cualitativamente por análisis. Ya que no existe una trayectoria tortuosa en la membrana para entrapar las partículas mas pequeñas que el tamaño de poro, se pueden separar las partículas en diferentes tamaños por una filtración en serie a través de membranas con tamaño de poro sucesivamente más pequeños.

Los fluidos y gases se pueden limpiar pasándolos a través de un filtro membrana con un tamaño de poro pequeño para prevenir el paso de contaminantes, esta capacidad es especialmente útil en una variedad de procesos industriales que requieren limpieza y esterilización de fluidos y gases. La eficiencia de la retención de la membrana depende del tamaño de partícula, concentración, tamaño y longitud del poro, porosidad y gasto.

Una variedad de polímeros sintéticos se han empleado para membranas de ultrafiltración, algunas de esas membranas se pueden manejar en seco, tienen mayor resistencia a solventes orgánicos, son menos sensibles a la temperatura y el pH que el acetato de celulosa. Resinas de policarbonato, olefinas sustituidas y polielectrólitos complejos se han empleado para formar membranas de ultrafiltración.

El peso molecular que admite se usa como una medida del rechazo, otros parámetros importantes son la forma, tamaño y flexibilidad; para un peso molecular dado las moléculas rígidas son mas rechazadas que las flexibles, las temperaturas de operación para las membranas se pueden correlacionar generalmente con el peso molecular de admisión. Por ejemplo la temperatura máxima de operación para membranas con peso molecular de admisión entre 5, 000 a 10,000 es de casi 65°C y entre 50,000 a 80,000 es de 50°C.

El tiempo de vida de las membranas normalmente es de dos años o mas para el tratamiento de corrientes limpias, como en el caso de procesamiento de agua, pero se

reduce drásticamente cuando se tratan corrientes sucias; como emulsiones de aceite (Cheremisinoff,1993).

3.4 ULTRACENTRIFUGACIÓN.

La ultracentrifugación utiliza las intensas fuerzas de gravedad generadas por las fuerzas centrífugas de una rotación rápida, estas fuerzas de gravedad se usan para determinar los coeficientes de sedimentación y para separar fracciones subcelulares tal como proteínas, las cuales son difíciles de separar por otros medios. La centrifugación se puede usar en la separación diferencial de partículas heterogéneas en suspensión.

Al terminar la centrifugación las partículas grandes se separan formando una pelotilla en el fondo del tubo centrífugo, mientras que las partículas pequeñas permanecen suspendidas en solución, generalmente solo es posible una separación parcial al inicio usando centrifugación diferencial, debido a que todas las partículas sedimentan a diferentes velocidades; para resolver este problema la centrifugación por proporción de zonas usa un gradiente de densidad del líquido, produciendo una resolución mas alta .

Otro problema asociado incluye el efecto de pared, en el cual las partículas se pegan a la pared de la centrífuga antes de alcanzar el fondo del tubo, y el efecto de chorro, en el cual la capa muestra tiende a romperse en gránulos los cuales se asientan en el fondo a través del gradiente.

Para proporcionar el máximo tamaño de la muestra mientras se minimiza el efecto pared y el efecto de chorro, se introduce un rotor hueco de forma redonda; cuyo interior está dividido en compartimentos con arreglo radial vertical. Esto sirve para asegurar la uniformidad de la aceleración y desaceleración del fluido en el rotor, previniendo el cambio o pérdida de la resolución de la separación.

Los gradientes y muestras generalmente se introducen al rotor mientras está girando, la recuperación del gradiente con las zonas separadas se lleva a cabo de la

misma forma. El gradiente puede ser movido radicalmente durante la rotación mediante el bombeo de un fluido denso hacia la orilla del rotor o de un fluido ligero hacia el centro del rotor.

3.5 OSMOSIS INVERSA.

Cuando el agua pura y una solución salada se introducen en lados opuestos de una membrana semipermeable en un recipiente abierto, el agua pura se difunde a través de la membrana y diluye a la solución salada. En el equilibrio el nivel del líquido del lado del agua salina estará arriba del nivel del lado del agua fresca; este proceso se conoce como osmosis.

A causa de que el sistema involucra un flujo continuo de agua en vez de un sistema en balance, la fricción relacionada con el flujo también juega un papel en el transporte continuo a través de la membrana, por lo tanto, la presión requerida para superar las fuerzas de fricción debe ser agregada a los requerimientos de presión osmótica para sostener el nivel deseado de flujo. Como consecuencia existe un efecto de dilución en el cual la concentración de la sal en el producto se reduce cuando el flujo se incrementa junto con la presión. Por lo tanto la selección apropiada de la presión de operación y la proporción de la carga hidráulica son críticos para lograr los objetivos del tratamiento.

De importancia para el proceso de osmosis Inversa son los fenómenos químicos que ocurren en las corrientes concentradas de sal en la entrada de la membrana. Si se permite que la concentración se incremente hasta un cierto nivel, algo de la sal puede empezar a precipitar y a escamar la membrana, interfiriendo el proceso. En el diseño y operación, el nivel de concentración para la sal más insoluble debe ser calculado para determinar el nivel permitido de concentración, antes de que ocurra este tipo de efecto. Se pueden agregar algunos químicos para reducir la precipitación.

Desde un punto de vista práctico, el nivel de sal a la entrada de la membrana se puede limitar desechando una porción del flujo, esto también se requiere para controlar el gradiente de presión a través de la membrana. Como consecuencia se tienen dos corrientes de salida del proceso; una de ellas consiste de un producto desalado o corriente permeada y un desperdicio o descarga concentrada que es necesaria para evitar la acumulación del exceso de sal (Cheremisinoff,1993).

4.1 OZONACIÓN.

El ozono se a usado continuamente por casi 80 años en el tratamiento de agua municipal y en la desinfección de suministro de agua, esta práctica empezó en Francia y se a extendido a Alemania, Holanda, Suiza y otros países europeos, y en años recientes a Canadá. El ozono es una sustancia fuertemente oxidante con propiedades similares a la del Cloro, en condiciones de prueba a mostrado que la destrucción de bacterias es de 600 a 3000 veces mas rápida que por Cloro, además es relativamente afectado por cambios en el pH, la eficacia del Cloro depende en gran medida del pH del agua.

El ozono es altamente reactivo e inestable, lo cual es un obstáculo serio para producir concentraciones arriba del seis por ciento, impidiendo la producción y distribución central cuando se asocia a una economía de escala. En el método de descarga eléctrica(corona) para generar ozono, una corriente alterna se hace pasar a través de una rendija de descarga con voltajes entre 5 y 25 kv convirtiéndose una porción del oxígeno en ozono.

El mecanismo de la generación del ozono es la excitación y aceleración de electrones perdidos dentro del campo de alto voltaje, siendo capaces de dividir algunas moléculas de oxígeno en átomos de oxígeno libres los cuales se combinan con moléculas de O_2 para formar O_3 .

Además de la desinfección de efluentes del alcantarillado, el ozono se usa para esterilizar recipientes industriales tales como botellas de plástico, los cerveceros usan ozono como antiséptico para destruir fermentos patógenos sin afectar la levadura.

4.2 RADIACIÓN ULTRAVIOLETA.

Se a demostrado que:

- 1.- La radiación ultravioleta de alrededor de 254 nm vuelve incapaz de reproducirse a la bacteria al alterar fotoquímicamente el DNA de las células.
- 2.- Una dosis baja de luz UV puede matar el 99 por ciento de la coliforme y estreptococo fecal.
- 3.- La muerte de la bacteria es independiente de la intensidad de la luz, solo depende de la dosis total.
- 4.- El tratamiento simultáneo del agua con UV y ozono da como resultado una mayor muerte de microorganismos que cuando se trata el agua en forma independiente.
- 5.- Cuando se aplica un tratamiento ultrasónico antes de la luz UV, se obtiene una mayor muerte de bacterias.
- 6.- La dosis requerida de UV para reducir la fracción sobreviviente de coliforme y estreptococo fecal hasta 10⁻²(99% de remoción) es aproximadamente 4x10⁸ Einsteins / ml.

Algunas limitaciones asociadas con la radiación UV para desinfección son:

- 1.- El desarrollo del proceso es altamente dependiente de la eficacia de los mecanismos que remueven los sólidos suspendidos
- 2.- Otro factor clave es que las lámparas UV deben mantenerse limpias para sostener su radiación máxima de salida.
- 3.- Otro inconveniente se asocia con el hecho de que una capa delgada de agua(<0.5 cm) debe pasar a 5 cm de las lámparas.

4.3 HAZ DE ELECTRONES.

La idea de usar la radiación ionizante para desinfectar agua no es nueva, se pueden producir por varias fuentes radioactivas (radioisótopos), por rayos X y emisión de partículas de aceleradores, y por electrones de alta energía. Los avances en la

confiabilidad y los mecanismos de relativo bajo costo para producir electrones de alta energía son mas significantes.

Mientras que los rayos X y los Gama emiten electrones que se atenúan rápidamente, el rango máximo de un electrón de un millón de volt es de casi 4m en el aire y de casi 5cm en el agua, en tránsito un electrón pierde energía por las colisiones que ioniza átomos y moléculas en su trayectoria. las bacterias y virus se destruyen por la ionización secundaria producida por el primer cruce del electrón.

Los electrones disocian el agua en los radicales libres H^+ y OH^- , los cuales se combinan para formar moléculas activas, estos fragmentos altamente activos atacan las estructuras vivas y promueven su oxidación, reducción, disociación y degradación. Algunos estudios indican que 400,000 rads parecerían adecuados para la desinfección de aguas de alcantarillado.

4.4 CLORACIÓN.

El Cloro es el desinfectante mas ampliamente usado en el tratamiento del agua y de afluentes, se usa para destruir parásitos, controlar microorganismos molestos y para oxidación; como un oxidante el cloro se usa para remover hierro y manganeso, y para destruir compuestos que producen olor y sabor, y en la eliminación de amoníaco. Sin embargo es una sustancia altamente tóxica y recientemente a despertado interés en sus prácticas de manejo y en un posible efecto residual.

4.4.1 PROPIEDADES DEL CLORO.

El Cloro(Cl_2) es un gas amarillo verdoso que tiene un peso específico de 2.48 comparado con el aire, bajo condiciones estándar de temperatura y presión. Fue descubierto en 1774 en la reacción química entre el dióxido de manganeso(MnO_2) y el

ácido clorhídrico (HCl) por el químico sueco Scheele, quien creyó que era un compuesto conteniendo oxígeno. En 1810 fue nombrado por Sir Humphrey Davy, Cloro (del vocablo griego chloros que significa amarillo-verdoso) quien insistió que era un elemento. En la naturaleza se encuentra solo combinado, normalmente como sal (NaCl), carnalita ($\text{KMgCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) y silvita (KCl).

El Cloro es un miembro de los halógenos (formadores de sal), se deriva de los cloruros por la acción de agentes oxidantes y cada vez más por electrólisis, como gas se combina con casi todo los elementos, a 10°C un volumen de agua disuelve casi 3.1 volúmenes de cloro a 30°C solo 1.77 volúmenes de Cl_2 se disuelven en un volumen de agua.

El cloro se usa además en una gran variedad de productos incluyendo productos de papel, materia prima de tintas, textiles, productos petroleros, farmacéuticos, antisépticos, insecticidas, materia prima de alimentos, solventes, pinturas y otros productos de consumo se usa también en la manufactura de cloratos, cloroformo y tetracloruro de carbono, y en la extracción de bromo.

Como un líquido el cloro es de color ámbar y es 1.44 veces más pesado que el agua, en estado sólido existe como un cristal rómbico, en la Tabla 4.1 se dan varias propiedades del cloro. Como gas es una sustancia altamente tóxica capaz de causar la muerte o daños permanentes debido a una prolongada exposición, vía inhalación.

Es extremadamente irritante a las membranas mucosas de los ojos y al tracto respiratorio, se combina con la humedad para formar ácido clorhídrico, puede causar inflamación de los tejidos con los cuales está en contacto; puede resultar en un edema pulmonar si ataca los tejidos del pulmón.

El cloro gas tiene un olor detectable a concentraciones tan bajas como 3.55 ppm. la garganta se irrita a 15 ppm, una concentración de 50 ppm se considera peligrosa a exposiciones cortas, en o arriba de una concentración de 1,000 ppm la exposición puede ser fatal. Los datos de la Tabla 4.2 proporcionan la toxicidad crítica, el cloro también puede causar fuego o explosiones cuando está en contacto con varios materiales, emitiendo humos altamente tóxicos cuando reacciona con agua o vapor.

Tabla 4.1 Propiedades del Cloro.

Símbolo	Cl
Gas	Cl ₂
Nº atómico	17
Peso atómico	35.453
Punto de fusión(°C)	-101
Punto de ebullición(°C)	-34.5
Densidad(0°C, 3.65 atm, g/l)	1.47
Presión de vapor(mm Hg a 20°C)	4800
Densidad del vapor(a STP; g/l)	2.49
Viscosidad (micropoises) a:	
T(°C)	
12.7	129.7
50	146.9
150	187.5

Fuente: Cheremisinoff,1993.

4.4.2 QUÍMICA DEL CLORO.

En los Estados Unidos el Cloro se usó primero como un desinfectante para el tratamiento de efluentes municipales en la ciudad de Jersey(Nueva Jersey) y en la presa Boonton desde 1908; esto marcó el primer reconocimiento legal del cloro como un desinfectante para la protección de la Salud Pública.

Tabla 4.2 Datos de Toxicidad Crítica del Cloro.

	Concentración	Tiempo de Exposición
	(ppm)	(h)
Inhalación TC ₁₀ (humanos)	15	-
Inhalación LD ₁₀ (humanos)	430	0.5
Inhalación LC ₅₀ (ratas)	293	1

Fuente: Cheremisinoff, 1993.

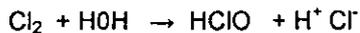
LC₅₀ :Concentración letal hasta el 50% de una población.

LD₁₀ :Dosis letal mínima publicada.

TC₁₀ :Concentración tóxica mínima publicada.

El cloro es un fuerte agente oxidante que puede usarse para modificar el carácter químico del agua, por ejemplo, se usa para controlar bacterias, algas y organismos microscópicos que ensucian biológicamente el condensador de las torres de enfriamiento También se usa para alterar el carácter químico de algunos procesos industriales del agua, tal como la destrucción del dióxido de azufre y el amoníaco, la reducción del hierro y el manganeso, y la reducción del color, por ejemplo; las operaciones de blanqueado en la industria de pulpa y papel.

En el agua el cloro se hidroliza para formar ácido hipocloroso (HClO), como se muestra en la siguiente reacción:

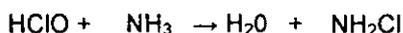


El ácido hipocloroso posteriormente se ioniza para formar iones hipoclorito(ClO⁻):



Las concentraciones en el equilibrio de HClO y ClO⁻ depende del pH del efluente. Si se incrementa el pH se cambia la relación de equilibrio hacia la derecha, causando la formación de una concentración mas alta de HClO.

El cloro se puede aplicar también como hipoclorito de calcio y hipoclorito de sodio, los hipocloritos son sales del ácido hipocloroso. El hipoclorito de calcio (Ca(ClO)₂) se encuentra disponible comercialmente en polvo granular o tabletas, cualquiera de esas formas se disuelve fácilmente en el agua y contiene aproximadamente el 70 por ciento del cloro disponible. El hipoclorito de sodio(NaClO) se encuentra disponible comercialmente en forma líquida a concentraciones entre 5 a 15 por ciento de cloro disponible. La cantidad de HClO mas ClO⁻ en el efluente se llama cloro libre disponible. El cloro reacciona fácilmente con el amoníaco en el agua para formar cloraminas. Un ejemplo es:



Los productos formados en la reacción específica dependen del pH del agua, temperatura, tiempo y la relación inicial de la concentración cloro-amoníaco. En general las mono y dicloroamina se generan en el rango de pH de 4.5 a 8.5, arriba del pH 8.5 existe solo monocloroaminas y abajo del pH 4.4 se produce tricloroamina.

4.4.3 VELOCIDADES DE LA DOSIS DE CLORO Y RESIDUOS.

La cloración ordinaria destruye todos los indicios de coliaerogénes, piocianáceas, tifus y disentería, otros tres tipos se destruyen fácilmente:

- Bacterias vegetativas entéricas (eberthella, shigella, salmonella y especies vibro)
- Lombrices tales como la lombriz del ganado lanar.
- Virus, como el de la hepatitis.

Cada uno de esos grupos de organismos difiere en su reacción con el cloro, es evidente que la reacción comparativa de diferentes organismos a una forma de cloro no se mantiene necesariamente igual. La Tabla 4.3 proporciona rangos recomendados de dosis de cloro para la desinfección de varios afluentes, están basados en la temperatura del agua entre 20 a 25°C para un tiempo de contacto de 10 min. para cloro libre y 60 min. para el cloro combinado. El residuo mínimo requerido para la destrucción de quistes y la inactivación de virus es mucho más grande, las aguas superficiales de drenajes contaminados se tratan normalmente con dosis mas elevadas de cloro. Ver Tabla 4.4.

Tabla 4.3. Rangos de Dosis Recomendadas de Cloro.

Tipo de Efluente	Dosis de Cloro (mg/l)
Alcantarillado Fresco	6-12
Drenaje Fresco(Séptico)	12-25
Alcantarillado Sedimentado	5-10
Efluente de Precipitación Química	3-10
Efluente de Filtro de Goteo	3-10
Efluente de Lodo Activado	2-8
Efluente de Filtro de Arena	1-5

Fuente: Cheremisinoff, 1993.

Tabla 4.4. Residuo Mínimo de Cloro Bactericida(mg/l).

Valor del pH	Cloro Residual Libre Disponible después de 10 min de contacto	Cloro Residual Combinado Disponible después de 10 min de contacto
6.0	0.2	1.0
8.0	0.4	1.8
9.0	0.8	>3.0

Fuente: Cheremisinoff,1993.

4.4.4 SISTEMAS DE CLORACIÓN.

La cloración del agua se lleva a cabo usando residuos libres y combinados. Lo anterior involucró la aplicación de cloro para producir cloramina con el amoníaco natural o agregado, el cual puede ser amoníaco anhídrido; el residuo combinado es menos efectivo que el cloro libre como desinfectante, su aplicación mas común es como postratamiento después de la cloración residual libre suministrado por la desinfección inicial.

La cloración residual libre establece un residuo libre por medio de la destrucción del amoníaco presente en forma natural. Las altas dosis de cloro aplicado durante el tratamiento puede producir residuos que dan mal aspecto o que son indeseables para el uso industrial del agua.

La dechloración se lleva a cabo a veces para reducir el cloro residual agregando un agente reductor, llamado dechlor; el dióxido de azufre es usado ampliamente en las plantas municipales con este objetivo. La aireación también disminuye la concentración de cloro residual.

El cloro usado para la desinfección es disponible en tres formas, gas licuado, hipoclorito de calcio o de sodio y soluciones blanqueadoras de cloro. El cloro líquido es enviado en cilindros de acero presurizados hasta de una tonelada, existen dos tipos de sistemas de venta de cloro: alimentación directa y alimentación en solución.

El hipoclorito de calcio es un blanqueador seco que se halla disponible en forma granular y en tabletas, es relativamente estable bajo condiciones estables; sin embargo puede reaccionar con materiales orgánicos, debe ser almacenado en una área separada. El hipoclorito de sodio está disponible en forma líquida y se vende en pequeñas cantidades en cilindros de plástico, sus soluciones son altamente corrosivas, inestables y requieren almacenamiento a temperaturas abajo de 30°C. Se vende normalmente a concentraciones de 12 a 15 por ciento en peso de cloro disponible.

4.4.5 EFECTOS TÓXICOS DEL CLORO.

La toxicidad del cloro residual para la vida acuática está bien documentado, los estudios indican que a concentraciones mayores a 0.01 mg/l representa un peligro serio para la vida marina y de estuarios. Esto a llevado a la decoloración de las aguas residuales antes de que sean descargadas a los cuerpos de agua superficiales; por otro lado los residuos del cloro pueden producir compuestos orgánicos halogenados que son potencialmente tóxicos para el hombre. Los trihalometanos (cloroformo y bromoformo) son carcinógenos y se producen por cloración.

4.5 DIÓXIDO DE CLORO.

El dióxido de cloro fue descubierto en 1811 por Davy al reaccionar clorato de potasio con ácido hidroclicórico, posteriores experimentos mostraron que el dióxido de cloro exhibe fuerte oxidación y propiedades blanqueadoras. En 1930 la Mathieson

Alkali Works desarrolló el primer proceso comercial para preparar dióxido de cloro desde clorato de potasio. Desde 1939 el clorito de sodio se usa para la generación de dióxido de cloro.

Desde 1958 se usa en los servicios de agua, actualmente se usa principalmente como blanqueador químico en la industria de pulpa y papel, además de la industria textil; como blanqueador de pisos, grasas, aceites y ceras. En el tratamiento de agua potable se usa para el control del olor y el sabor; como decolorante y desinfectante en los sistemas de distribución de agua, en la oxidación del hierro, manganeso y orgánicos.

El dióxido de cloro es un gas amarillo-verdoso soluble en agua a temperatura ambiente hasta casi 2.9g/l a 30 mm de Hg de presión parcial o mas de 10g/l en agua fría. El punto de ebullición del dióxido de cloro líquido es de 11°C, su punto de fusión es de -59°C. El dióxido de cloro gas tiene una gravedad específica de 2.4, se usa como oxidante en una solución acuosa y es cinco veces mas soluble en agua que el cloro gaseoso. El dióxido de cloro no reacciona con el agua de la misma manera en que lo hace el cloro; es volátil, en consecuencia se puede eliminar del agua por aireación. Tiene un olor desagradable similar al del cloro gaseoso y es detectable a 17ppm, irritante para el tracto respiratorio a una concentración de 45ppm en el aire (Cheremisinoff,1993).

4.6 DESINFECCIÓN POR SUBPRODUCTOS.

Los subproductos orgánicos se pueden formar por la sustitución en la molécula, por ejemplo, cloro hacia metano para formar cloroformo, o por oxidación para formar una nueva molécula orgánica, por ejemplo, la reacción del ozono para formar formaldehído La desinfección por subproductos(DBP) también puede incluir productos inorgánicos, el dióxido de cloro es el único desinfectante reconocido que produce inorgánicos tóxicos como el Ion clorito y clorato. La EPA a identificado cerca de dos

docenas de DBP que representan algún riesgo para la salud humana, como se muestra en la Tabla 4.5. Muchos de los DBP son halogenados lo cual significa que se producen por cloración libre. Una excepción es el bromoformo, el cual se puede producir por el ozono si los iones bromuro están presentes en el agua con los precursores orgánicos apropiados.

Los no halogenados son el resultado de los oxidantes fuertes como el ozono y dióxido de cloro. En los hechos la cloramina es el único productor de cloruro cianógeno. Ordenados sobre la base de la producción de los DBP menos tóxicos se tienen, ozono, cloramina, dióxido de cloro y cloro.

En referencia a la Tabla 4.5, los trihalometanos son los dominantes, pero los ácidos haloacéticos son los mas importantes por ser de interés para la salud. Además constituyen casi el 75 por ciento del total de los halogenados.

Basados solo en la toxicidad residual el orden puede ser, Ozono, Cloro, Cloramina y Dióxido de Cloro. Como se muestra en la Tabla 4.6. Existe una tercera consideración que debe ser tomada en cuenta, esta es la potencia de desinfección; en este caso el Ozono es primero seguido del dióxido de cloro, cloro y cloramina.

El uso del ozono puede necesitar el uso de un proceso para remover el exceso de químicos orgánicos asimilables(AOC) después de la distribución del agua, el método mas ampliamente usado para reducir los AOC son los filtros biológicamente activos, normalmente estos contienen carbón activado granular (Gilbert,1992).

Tabla 4.5 Desinfección por Subproductos en Agua Potable.

Subproducto	Conc. Promedio($\mu\text{g/l}$)
Cloroformo	14
Bromodiclorometano	6.6
Dibromoclorometano	3.6
Bromoformo	0.6
Total de trihalometanos	36
Tricloroacetoniitrilo	<0.03
Dicloroacetoniitrilo	1.2
Bromocloroacetoniitrilo	0.6
Dibromoacetoniitrilo	0.5
Total de haloacetoniitrilos	3.3
1,1-Dicloropopanona	0.5
1,1,1-Tricloropropanona	0.6
Total de haloacetonas	1.2
Ácido monocloroacético	<1.0
Ácido Dicloroacético	6.4
Ácido Tricloroacético	5.5
Ácido Monobromoacético	<0.5
Ácido Dibromoacético	1.1
Total de Acidos Haloacéticos	17
Formaldehído	3.6
Acetaldehído	2.2
Total de Aldehídos	5.7
Cloropicrin	0.1
Hidrato de Cloral	2.1
Cloruro Cianógeno	0.6
2,4,6-Triclorofenol	<0.4

Fuente: Gilbert, 1992.

Tabla 4.6 Calidad de los Desinfectantes.

Toxicología					
	Desinfección	DBP	Residual	Costo	Total
Ozono	1	1	1	4	7
Dióxido de Cloro	2	3	4	3	12
Cloro	3	4	2	1	10
Cloramina	4	2	3	2	11

Fuente: Gilbert, 1992.

INTRODUCCIÓN.

Uno de los obstáculos que se presenta para poder suministrar agua potable a los habitantes de las zonas ribereñas del río Usumacinta es que son comunidades muy dispersas y por lo tanto de un número muy reducido de habitantes, lo cual imposibilita la acción.

5.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

La mayoría de las veces se pretende concientizar a la población rural acerca de las ventajas de que se aplique hipoclorito de sodio al agua cruda o se recomienda que se hierva el agua, sin embargo en la práctica se ha observado que estas medidas no son acatadas por la población, argumentando que el sabor del agua cuando se aplican las medidas antes mencionadas no les es del todo satisfactoria; simplemente para estas personas estas medidas no son de aplicación práctica. Otra cuestión es que los filtros de que se dispone comercialmente utilizan agua corriente, lo cual no es posible de utilizar en las comunidades antes mencionadas.

5.1.1 OBJETIVOS.

- 1.- Diseñar y construir una unidad o módulo de clarificación-filtración.
- 2.- Diseñar y construir al menos un sistema de tres filtros para ser utilizados para ser utilizados en el módulo de clarificación filtración.
- 3.- Efectuar las pruebas necesarias para obtener las dosis recomendada de reactivos a ser suministrados al agua de río.
- 4.- Llevar a cabo el análisis biológico del agua producto para asegurar su calidad.

5.1.2 HIPÓTESIS DE TRABAJO.

Se plantea la posibilidad de poder diseñar y construir una unidad o módulo de clarificación-filtración utilizando lo mas que se pueda materiales de la región como lecho filtrante, además de obtener las dosis adecuadas de reactivos para lograr obtener agua que pueda ser consumida por el ser humano.

5.1.3 MATERIAL Y MÉTODOS.

Los materiales a utilizar para el lecho filtrante son arena de río, gravilla, grava y carbón activado, los reactivos: hipoclorito de sodio, sulfato de aluminio; botellas de plástico desechable de un litro y medio, cuentagotas(venoclísis), tanques de plástico de 6 galones(aproximadamente 19 litros) del tipo utilizado para vender agua purificada y perfiles metálicos de acero galvanizado. Además de manguera de plástico de diámetro pequeño para la circulación del fluido.

La metodología consiste en colocar agua de río en un tanque situado en la parte superior de la estructura metálica, al cual se le agregaran los reactivos en ppm en el siguiente orden: sulfato de aluminio, polímero(Bubond-65), hipoclorito de sodio agitando manualmente de tal forma que actúe como un sedimentador. Posteriormente mediante una válvula(cuentagotas) se alimentará al primer filtro, después mediante una manguera de plástico se suministrará el filtrado al segundo filtro y este a su vez al tercer filtro; finalmente mediante una manguera se depositará el agua filtrada en un tanque de plástico de 19 litros.

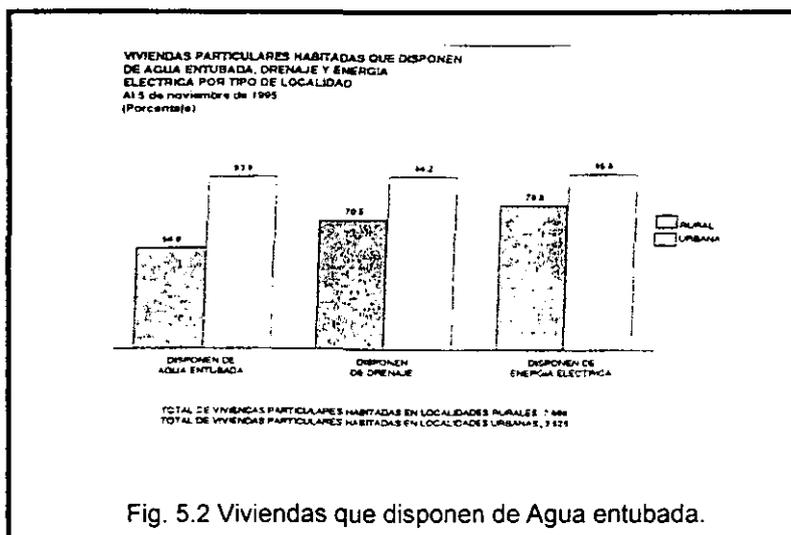
El agua filtrada se someterá a una postcloración y un análisis microbiológico para cumplir con las Normas Oficiales, se realizarán tantas corridas como sean necesarias para obtener agua para consumo humano a partir de agua de río.

5.2 ASPECTOS HIDROLÓGICOS.

El río Usumacinta es el más caudaloso de los ríos mexicanos su nombre significa "Mono Sagrado". Nace en Guatemala con un recorrido aproximadamente 612 Km., se une al Grijalva en el punto conocido como Tres Brazos y juntos desembocan en el mar por la barra de Frontera, como se muestra en la Figura 5.1.

En su recorrido el río Usumacinta pasa por el Municipio de Balancán uniéndosele el río San Pedro a 15 Km. de la ciudad de Balancán formando la subcuenca del río Usumacinta con un 24.44 por ciento de la superficie municipal, además de las corrientes de agua el Pimental, Salsipuedes, Pejelagarto, entre otros y los cuerpos de agua siguientes: Laguna Multé, L. Suniná, L. Leona Vicario, L. El Chinal, L. Santa Anna, entre otros, como se muestra en la Figura 5.2. (CNA,1998).

En relación a los servicios de agua potable y alcantarillado, se disponen de datos tomando como referencia el año 1995 para viviendas particulares en zonas rurales y urbanas, como se muestra en la Figura 5.2. (INEGI,1995).



5.3 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO.

Se toma una muestra de agua de río con un volumen aproximado de 19 litros y se vierten 17 litros en un bote de plástico para agua purificada al cual se le a quitado el cuello para facilitar la adición de los reactivos: solución de sulfato de aluminio (coagulante), solución de polímero Bubond-65 (floculante) y solución de hipoclorito de sodio(bactericida) mezclando durante 1 min y dejando que sedimente durante 10 min, antes del filtrado; el recipiente antes mencionado se a colocado previamente en la parte superior del módulo de filtración a una altura aproximada de 2 metros; el objeto en cuestión tiene adaptado en su parte lateral inferior a una altura de la base de aproximadamente 5 centímetros una unidad dosificadora utilizada en medicina (venoclísis).

Por medio de la válvula reguladora se alimenta al primer filtro colocado a una distancia de 83 centímetros, el cual consiste de un bote de plástico de un litro y medio al cual se le cortado el fondo y se encuentra colocado en forma invertida, dicho filtro tiene una capa de 6 centímetros de carbón activado en polvo, medidos a partir de la tapa del bote, se le ha agregado una capa de 5.5 centímetros de arena sílica(arena de río), sobre ella se coloca una capa de 2 centímetros de grava fina y media(gravilla) y al final se encuentra una capa de 2 centímetros de grava gruesa. El filtro tiene colocado en la parte inferior una manguera de plástico de un diámetro aproximado de 8 milímetros adaptada a la tapa, la cual a su vez tiene en su interior un tapón de fibra sintética para retener el carbón activado. Este filtro alimenta al filtro de abajo.

El segundo filtro tiene una capa de carbón activado de 7 centímetros medidos a partir de la tapa del bote de plástico, una capa de arena sílica de 4 centímetros , una capa de 4 centímetros de grava fina y media y una capa de 3 centímetros de grava; este filtro se encuentra a 19 centímetros de primer filtro y suministra al tercer filtro.

El tercer filtro se encuentra a 19 centímetros del segundo filtro y a 19 centímetros de la base del módulo, contiene una capa de 8 centímetros de carbón activado, 2.5 centímetros de arena sílica, 5.5 centímetros de gravilla y 4.5 centímetros de grava. Obteniéndose por la manguera colocada en su parte inferior el agua filtrada(producto), con un volumen aproximado de 15 litros, la cual se almacena en un tanque de plástico de 19 litros. El tiempo que se toma el proceso en filtrar una carga de agua cruda es de 1 hora ya que el área filtrante es de 0.062ft^2 , dando como resultado una descarga de 1.05 gpmft^2 aproximadamente.

El módulo de filtración está construido con perfiles de acero galvanizado de $\frac{1}{2}$ y $\frac{3}{4}$ de pulgada, con una base de 1m^2 , recubierto con una capa de pintura sintética. En la Figura 5.3 se muestra un plano isométrico del módulo de filtración y en la Figura 5.4 se puede observar un plano de la vista en planta del módulo antes mencionado.

Un diagrama de flujo del proceso de filtración (simplificado) se puede apreciar en la Figura 5.5.

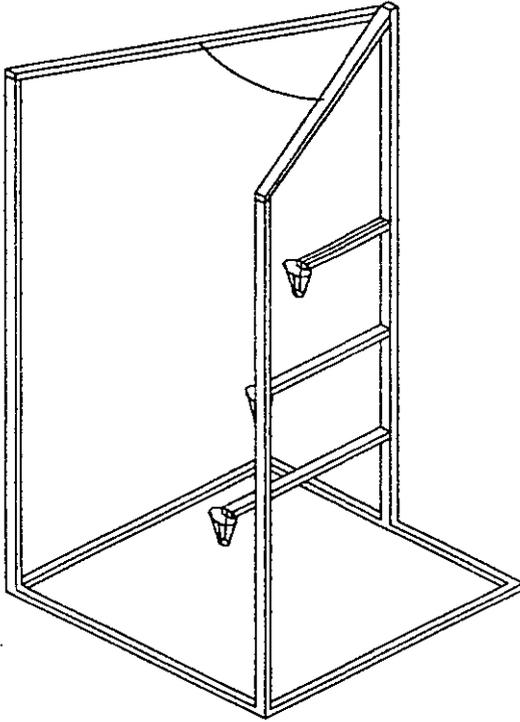


Fig. 5.3Módulo de Filtración (Isométrico)

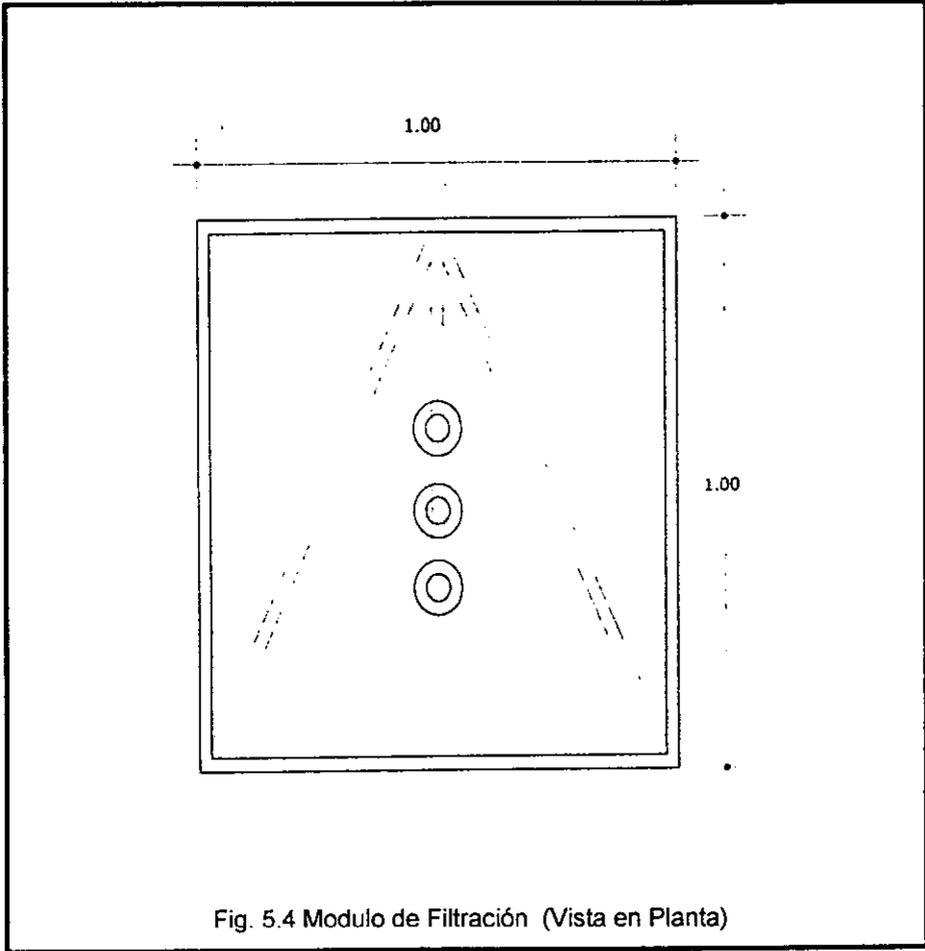
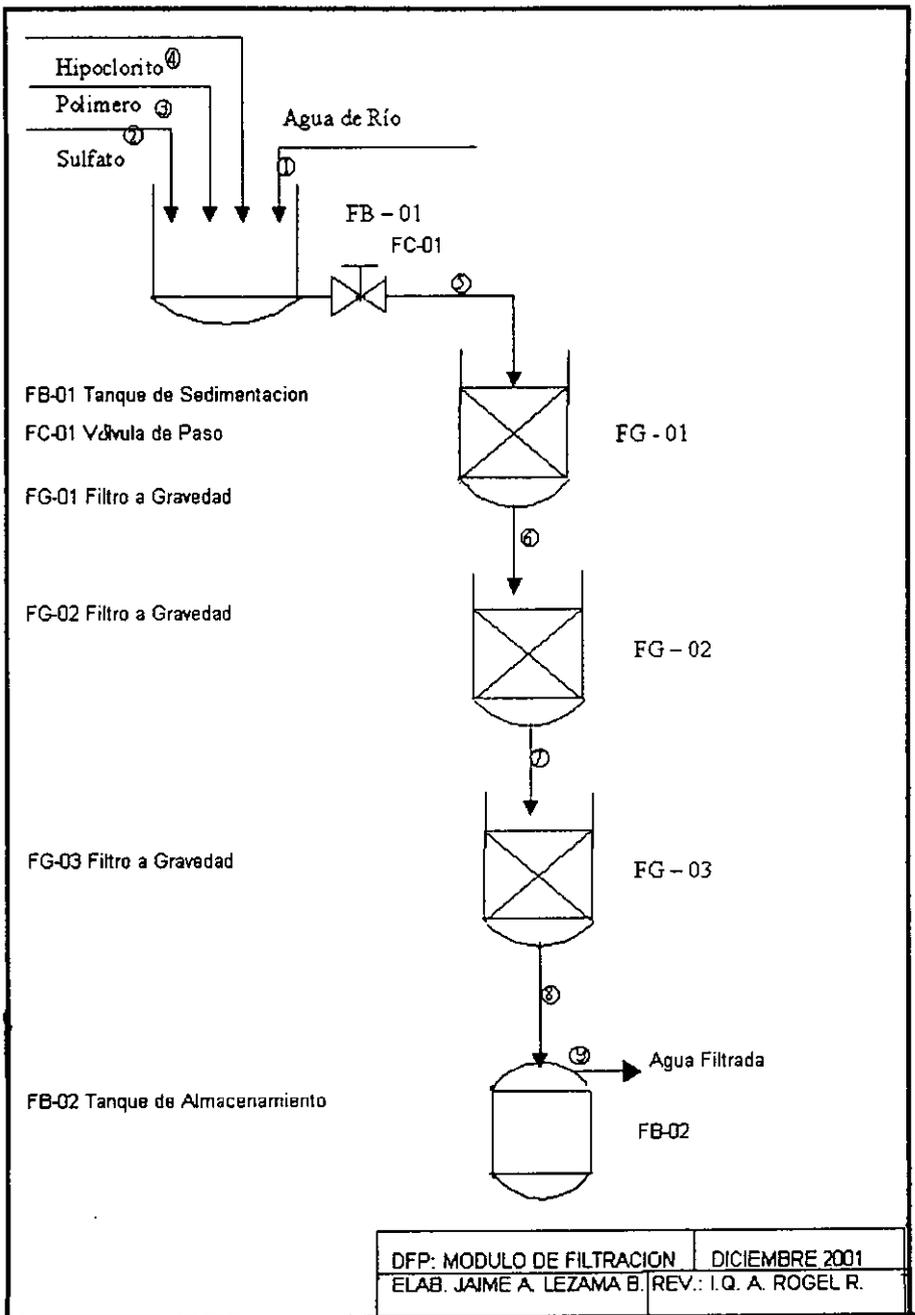


Fig. 5.4 Modulo de Filtración (Vista en Planta)



Se prepararon soluciones en concentraciones de ppm (mg/l) de las siguientes sustancias: Sulfato de Aluminio, Bubond-65 e Hipoclorito de Sodio, las cuales se agregaron en diferentes concentraciones a las distintas corridas, tomando los criterios mencionados en la Literatura y de la experiencia de los operadores de las Plantas de Potabilización de SAPAET(Sistema de Agua Potable y Alcantarillado del Edo. De Tabasco), incorporando el criterio de apreciación de el sabor del agua filtrada y midiendo el pH en el tanque de sedimentación(FB-01); como se muestra en la tabla 5.1.En la cual "D" significa sabor desagradable y "A" sabor agradable.

Como puede apreciarse en la tabla anterior, en el primero y segundo bloque de corridas se pudo apreciar un mal sabor del agua producto, lo cual nos indica que básicamente se debe a la concentración de Hipoclorito de Sodio, en el tercer bloque se pudo apreciar un sabor agradable para las concentraciones de sulfato de 30,35,40,45 y 50 ppm cuando la concentración de hipoclorito es de 1 ppm.;estos resultados se volvieron a obtener en el cuarto bloque de corridas.

Posteriormente se tomaron muestras de los filtrados anteriores midiéndose el cloro residual utilizando un kit "aquality" marca STA-RITE, encontrándose que los valores de cloro residual eran menores a 0.2 por lo que se procedió a una postcloración con una ppm de Hipoclorito.

Se tomaron muestras de los filtrados elegidos como Sabor Agradable en recipientes con un volumen de 250 ml y se procedió a rotularlos como M-1,M-2,M-3, M-4,M-5 . Enviándose a los Laboratorios Chontalpa (ver Apéndice A) para su análisis, arrojando los siguientes resultados, como se muestra en la Tabla 5.2.

Tabla 5.1 Resultados del Proceso de Filtración.

Sulfato (ppm)	Hipoclorito (ppm Cl ₂)	Bubom-65 (ppm)	pH	Sabor
30	2	1	7.4	D
35	2	1	7.4	D
40	2	1	7.4	D
45	2	1	7.4	D
50	2	1	7.6	D
55	2	1	7.6	D
60	2	1	7.6	D
65	2	1	7.6	D
70	2	1	7.8	D
75	2	1	7.8	D
80	2	1	8	D
85	2	1	8	D
90	2	1	8	D
95	2	1	8	D
100	2	1	8	D
30	1.5	1	7.2	D
35	1.5	1	7.2	D
40	1.5	1	7.2	D
45	1.5	1	7.2	D
50	1.5	1	7.4	D
55	1.5	1	7.4	D
60	1.5	1	7.4	D
65	1.5	1	7.4	D
70	1.5	1	7.6	D
75	1.5	1	7.6	D
80	1.5	1	7.6	D
85	1.5	1	7.6	D
90	1.5	1	7.6	D
95	1.5	1	7.6	D
100	1.5	1	7.6	D

Continuación de la Tabla 5.1.

Sulfato (ppm)	Hipoclorito (ppm Cl ₂)	Bubom-65 (ppm)	pH	Sabor
30	1	0.5	7.2	A
35	1	0.5	7.2	A
40	1	0.5	7.2	A
45	1	0.5	7.2	A
50	1	0.5	7.2	A
55	1	0.5	7.4	D
60	1	0.5	7.4	D
65	1	0.5	7.4	D
70	1	0.5	7.4	D
75	1	0.5	7.4	D
80	1	0.5	7.6	D
85	1	0.5	7.6	D
90	1	0.5	7.6	D
95	1	0.5	7.6	D
100	1	0.5	7.6	D
30	1	0.5	7.2	A
35	1	0.5	7.2	A
40	1	0.5	7.2	A
45	1	0.5	7.2	A
50	1	0.5	7.2	A
55	1	0.5	7.4	D
60	1	0.5	7.4	D
65	1	0.5	7.4	D
70	1	0.5	7.4	D
75	1	0.5	7.4	D
80	1	0.5	7.6	D
85	1	0.5	7.6	D
90	1	0.5	7.6	D
95	1	0.5	7.6	D
100	1	0.5	7.6	D

Tabla 5.2. Resultados del Análisis Microbiológico de las Muestras de Agua Filtrada.

Muestra	Mesofílicos Aerobios* (vaciado en placas)	Coliformes Totales** (vaciado en placas)
1	Cero UFC/ml	Cero UFC/ml
2	Cero UFC/ml	Cero UFC/ml
3	Cero UFC/ml	Cero UFC/ml
4	Cero UFC/ml	Cero UFC/ml
5	Cero UFC/ml	Cero UFC/ml

Fuente: Laboratorios Chontalpa.

* Referencia: 100 UFC/ml.

** Referencia: Cero UFC/ml.

Por otro lado a las muestras de filtrado se les determinó la Turbidez y el Color, arrojando los resultados que se muestran en la Tabla 5.3.

Tabla 5.3. Resultados de la Turbidez y Color de las Muestras de Filtrado.

MUESTRA	TURBIEDAD(NTU)	COLOR(Pt/Co)
M-1	0.3	5
M-2	0.3	5
M-3	0.3	5
M-4	0.2	5
M-5	0.2	5

5.4 COSTOS DE OPERACIÓN.

Se cotizó el costo de la estructura metálica, del Sulfato de Aluminio, del Hipoclorito de Sodio , del Polímero(Bubond-65) y del Carbón Activado; obteniéndose los siguientes resultados:

Estructura Metálica	\$400.00
Sulfato de Aluminio/kg	\$ 1.30
Hipoclorito de Sodio/l	\$ 1.65
Polímero(Bubond-65)/Kg.	\$ 17.02
Válvula (venoclisis)	\$ 20.00
Carbón Activado/kg	\$ 15.00

De lo anterior se concluye que si se toman los datos anteriores en relación a los costos de reactivos de manera anual y la estructura metálica, se tendría un costo total de \$ 454.97.

5.5 CONCLUSIONES.

De los resultados obtenidos se concluye que una alta concentración de sulfato de aluminio junto con una concentración elevada de cloro propician que el agua producto adquiera un mal sabor, La cantidad agregada de floculante debe ser tal que nos permita una rápida sedimentación, sin llegar a ser un factor de obstrucción del medio filtrante o de materia agregada al agua producto final.

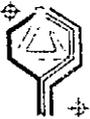
Por lo que una baja dosis de sulfato y cloro nos proporcionan un sabor agradable; sin descuidar que la dosis de cloro nos debe asegurar un filtrado libre de patógenos, por lo que se hace necesaria una postcloración en el tanque de almacenamiento(FB-02), de lo contrario estaríamos arriesgando la salud del consumidor, de los resultados obtenidos del análisis microbiológico de las muestras de agua filtrada (M-1, M-2, M-3, M-4, M-5) de acuerdo a la NOM-041 se concluye que las muestras de agua producto cumple n con la norma antes mencionada.

6.1 CONCLUSIONES GENERALES.

Se tiene un total desconocimiento de los parámetros de la calidad del agua entre la mayoría de la población, guiándose fundamentalmente por el sabor del producto, es decir, si se detecta un sabor a cloro es indicio de una mala calidad del producto, aunque la S.S.A. Tabasco exige a los sistemas de potabilización que el agua enviada a la red local tenga cuando menos 1ppm de Cloro para asegurar que el producto esté libre de patógenos; desgraciadamente los pobladores de las márgenes del río no pueden contar siquiera con un sistema de purificación de agua debido a los costos que esto representa ya que son poblaciones muy dispersas, aunque se han dado casos de cólera no se tiene conciencia del peligro que representa el consumir agua cruda, es decir, se obtiene agua del río y se deja sedimentar para su posterior ingesta.

La propuesta de purificación de agua de río tiene como objetivo fundamental el de proveer de un sistema de filtración para los pobladores ribereños que sea viable desde el punto de vista económico ya el costo inicial del módulo de filtración es de aproximadamente \$455 y además de una fácil operación. Se obtuvo un volumen de filtrado de 15 litros en una hora, lo cual nos permite suponer que el módulo ,si se opera 8 veces en el día nos proporcionaría 120 litros de agua filtrada en forma diaria, cantidad suficiente para el consumo de unas 6 familias promedio.

Por otro lado se le podría proporcionar a los pobladores de los filtros de repuesto y de las dosis de los reactivos para su operación sin contratiempo. Lo cual redundaría en una mejoría en las condiciones higiénicas en la cual viven esta personas. Además que de acuerdo a los datos obtenidos del análisis microbiológico de las muestras enviadas al laboratorio, en el cual se aplicó la norma oficial mexicana NOM-041 se considera que se tiene una calidad de acuerdo a la NOM-127. Finalmente se recomienda que en la práctica se apliquen las concentraciones de la muestra M-1:sulfato(30 ppm), hipoclorito(1ppm), polímero(1 ppm).



**Laboratorios
Chontalpa**

Calidad y Seguridad...es el Resultado!

VILLAHERMOSA, TAB
MANUEL GIL Y SAENZ No. 325 C1 1170
TEL: (97) 312 54 03 FAX: (97) 312 49-35
E-MAIL: chontalpa@netnet.net.mx

COATZACOALCOS, VER.
AV LOPEZ MATEOS No. 501 ESQ. ALBUCA
CO: PETHOLERA TEL: (97) 4-43-25
E-MAIL: chontalpa@netnet.net.mx

Trabajamos bajo la norma internacional ISO-9002

VILLAHERMOSA, TAB. A 22 DE NOVIEMBRE DE 2001

No. 618

AT'N: SR. JAIME ARTURO LEZAMA BALLINA

PRESENTE

MUESTRA: AGUA FILTRADA M- 1

FECHA DE MUESTREO: 19 DE NOVIEMBRE DE 2001

FECHA DE RECEPCION: 19 DE NOVIEMBRE DE 2001

NOM-041-SSA1-1993

PARAMETROS	RESULTADOS	REFERENCIA
MESOFILICOS AEROBIOS (VACIADO EN PLACAS)	CERO UFC/ml.	100 UFC/ml.
COLIFORMES TOTALES (VACIADO EN PLACAS)	CERO UFC/ml.	CERO UFC/ml.

ATENTAMENTE


Q.E.P. SERGIO CHAVEZ CURIEL
DIRECTOR GENERAL



**Laboratorios
Chontalpa®**

Calidad y Seguridad... ¡es el Resultado!

VILLAHERMOSA, TAB.
MAPUEL OIL Y SAENZ No. 225 CERITHO
TEL. (91) 312 64 23 FAX. (91) 312 36 35
E-mail: chontalpa@inter.net.mx

COATZACOALCOS, VER.
AV. LOPEZ MATEOS No. 501 ESQ. JAL. 500
CPL. (91) 1802111A TEL. (921) 4 43 25
E-mail: chontalpa@inter.net.mx

Trabajamos bajo la norma internacional ISO-9002

VILLAHERMOSA, TAB. A 22 DE NOVIEMBRE DE 2001

No. 619

AT'N: SR. JAIME ARTURO LEZAMA BALLINA
P R E S E N T E

MUESTRA: AGUA FILTRADA M- 2

FECHA DE MUESTREO: 19 DE NOVIEMBRE DE 2001
FECHA DE RECEPCION: 19 DE NOVIEMBRE DE 2001

NOM-041-SSA1-1993

PARAMETROS	RESULTADOS	REFERENCIA
MESOFILICOS AEROBIOS (VACIADO EN PLACAS)	CERO UFC/ml.	100 UFC/ml.
COLIFORMES TOTALES (VACIADO EN PLACAS)	CERO UFC/ml.	CERO UFC/ml.

ATENTAMENTE

Q.B.P SERGIO CHAVEZ CUriEL
DIRECTOR GENERAL

UNIDADES
 CHONTOCOS, VER.
 AV. SAENZ No. 225
 TEL. (91) 312 64 23
 COATZACOALCOS, VER.
 AV. LOPEZ MATEOS No. 501
 TEL. (921) 4 43 25
 COAHUILA, COA.
 AV. LAZARO CARDENAS No. 123
 TEL. (41) 2 23 45 67
 GUANAJUATO, GTO.
 AV. GARCIBUENOS No. 123
 TEL. (47) 2 23 45 67
 HIDALGO, HGO.
 AV. GARCIBUENOS No. 123
 TEL. (47) 2 23 45 67
 JALISCO, JAL.
 AV. GARCIBUENOS No. 123
 TEL. (33) 2 23 45 67
 MEXICO, D.F.
 AV. GARCIBUENOS No. 123
 TEL. (55) 2 23 45 67
 MORELOS, MOR.
 AV. GARCIBUENOS No. 123
 TEL. (77) 2 23 45 67
 NAYARIT, NAY.
 AV. GARCIBUENOS No. 123
 TEL. (91) 2 23 45 67
 OAXACA, OAX.
 AV. GARCIBUENOS No. 123
 TEL. (95) 2 23 45 67
 PUEBLA, PUE.
 AV. GARCIBUENOS No. 123
 TEL. (22) 2 23 45 67
 QUERETARO, QRO.
 AV. GARCIBUENOS No. 123
 TEL. (46) 2 23 45 67
 SAN LUIS POTOSI, SLP.
 AV. GARCIBUENOS No. 123
 TEL. (41) 2 23 45 67
 TABASCO, TAB.
 AV. GARCIBUENOS No. 123
 TEL. (99) 2 23 45 67
 TAMAULIPAS, TAM.
 AV. GARCIBUENOS No. 123
 TEL. (81) 2 23 45 67
 VERACRUZ, VER.
 AV. GARCIBUENOS No. 123
 TEL. (91) 2 23 45 67
 YUCATAN, YUC.
 AV. GARCIBUENOS No. 123
 TEL. (99) 2 23 45 67
 ZACATECAS, ZAC.
 AV. GARCIBUENOS No. 123
 TEL. (24) 2 23 45 67

AGENCIAS C E R A C O M
 AV. DORTCH URIBE No. 215
 COL. NUMERO DE MAYO
 TELS. (91) 312 64 23 Y 312 36 35

PLAZA ROMANA
 PLAZA/AV. CARLOS PESQUERA CAMANA,
 PLAZA ROMANA LDCM NO. 47,
 COL. SAN JOAQUIN. TEL. (91) 308 63 66

UNIDAD MEDICA SANTA HEREDIA
 CALLE MIGUEL HEREDIA No. 282
 ESQ. 17 DE FEBRERO CDE. ATATLA
 TEL. (91) 344 63 48

CLINICA MASA BOLD 99
 PASAD. DE LA SIERRA No. 102 ESQ.
 PARRISURABACHTA COL. 1mo. OF. MAYO
 TEL. (91) 345 19 15

UNIDAD C I S M
 AV. JOSE MIGUEL LLERENA No. 131
 COL. LOPEZ MATEOS
 TEL. (91) 312 64 23

- 1) Bhave R.R., Inorganic Membranes; Ed. Van Nostrand Reinhold; N.Y., 1991.
- 2) Brennan, J.G., J.R. Butters, N.D. Cowell; Food Engineering Operations; Ed. Elsevier Applied Science; London and New York.; 1990.
- 3) Bryant, E.A.; Desinfection Alternatives for Safe Drinking Water; Ed. Van Nostrand Reinhold; N.Y.; 1992.
- 4) Chapman, D.; Water Quality Assessments; Ed. Chapman & Hill; U.S.A.; 1990.
- 5) Cheremisinoff, N.P.; Water Treatment and Waste Recovery; Ed. Prentice Hall; U.S.A.; 1993.
- 6) C.N.A.; Informe Estadístico Anual; 1998.
- 7) Crabb, C.; Fine-tuning, Flocculations & Coagulants, Chem. Eng. Vol. 107, No.9.
- 8) Fellows, P.; Food Processing Technology; Ed. Ellis Horwood; N.Y.; 1988.
- 9) Gilbert, C.E.; Regulating Drinking Water Quality; Ed. Lewis Publishers; U.S.A.; 1992.
- 10) Gillespie, R.J.; Chemistry; Ed. Allyn and Bacon; U.S.A.; 1989.
- 11) Gleick, P.H.; Water in Crisis: A GUIDE TO THE WORLD'S FRESH WATER RESOURCES; Ed. Oxford University Press; N.Y.; 1993.
- 12) Gray, N.F.; Calidad del Agua Potable, Problemas y Soluciones; Ed. Acribia, S.A.; España, 1994.
- 13) Gray, N.F.; Biology of Wastewater Treatment; Ed. Oxford University Press; U.S.A.; 1989.
- 14) Hammer, M.J.; Water and Wastewater Technology; Ed. Prentice Hall; U.S.A.; 1996.
- 15) Horan, N.J.; Biological Wastewater Treatment Systems; Ed. John Wiley & Sons; England, 1990.
- 16) INEGI. Censos 1995.
- 17) James. A.; Biological Indicators of Water Quality; Ed. John Wiley & Sons; Great Britain; 1979.
- 18) McGregor. W.C.; Membrane Separations in Biotechnology; Ed. Marcel Dekker; U.S.A.; 1986.

- 19) Penfield, M.P.; Experimental Food Science; Ed. Academic Press; U.S.A.; 1990.
- 20) Perry; Chemical Engineering Handbook; Ed. McGraw-Hill; U.S.A.; 1999.
- 21) Silverberg, P.; ACTIVATED CARBON FOR THE "HOLE" CLEANUP JOB; Chem. Eng.; Vol. 106, No. 13; U.S.A.; 1999.
- 22) Siverns, S.; PROCESS WATER TREATMENT: Navigating the Options; Chem. Eng.; Vol.107, No.6; U.S.A.; 2000.
- 23) S.S.A.; NOM-127" Agua para uso y Consumo Humano"; 1994.
- 24) Stewart, J.C.; Drinking Water Hazards; Ed. Envirographics; U.S.A.; 1990.
- 25) Viessman W.J.; Water Supply and Pollution Control; Ed. Harper Collins; U.S.A.; 1993.
- 26) Kawamura. S.; Integrated Design of Water Treatment Facilities; Ed. John Wiley & Sons; U.S.A. 1991.