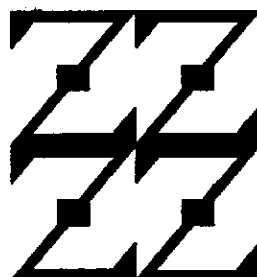


33



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
"ZARAGOZA"

REHABILITACION Y AMPLIACION DEL SISTEMA
CUTZAMALA

300057

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
QUIMICO FARMACEUTICO BIOLOGO

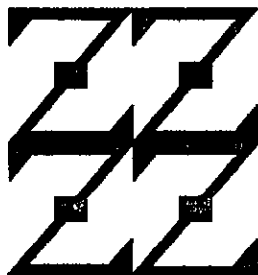
P R E S E N T A N :

CARLOS GUZMAN ARTEAGA

SAUL LEGORRETA FLORES

DIRECTOR DE TESIS:

Q. CARLOS SALVADOR VALADEZ SANCHEZ





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.

HONORABLE JURADO.

Q. Ma. GUADALUPE MIRANDA JIMENO

Q. CARLOS SALVADOR VALADEZ SANCHEZ

Q. SAMUEL SOSOL MENDEZ

BIOL. JUANA MARIA PAZ LOPEZ

BIOL. MARICELA ARTEAGA MEJIA

DEDICATORIAS

A MI ESPOSA Y MI BEBE:
POR SER UN MOTIVO DE
SEGUIR SUPERÁNDOME.
Y DE CONTAR SIEMPRE
CON SU APOYO.

A MI PADRE.
POR SU APOYO INCONDICIONAL
EN MI FORMACIÓN PROFESIONAL
Y EN LA VIDA.

A MIS HERMANOS.
CON LOS CUALES SIEMPRE
CUENTO Y QUE ESTAN EN
LOS MOMENTOS DIFICILES

A MIS AMIGOS.
LES DOY GRACIAS POR
SU COMPRENSIÓN .

A TODOS AQUELLOS.
QUE DE ALGUNA MANERA
LOGRARON QUE CONCLUYERA
ESTE TRABAJO.

INDICE

	Pág.
Indice	1
Resumen	2
Introducción	3
Objetivos	6
Hipótesis	6
Problemática	7
Capitulo I Antecedentes	
I.1.-Usos y costos que tiene el agua.	8
I.2.- Antecedentes de sistema Cutzamala	10
I.3.- Como se realiza el suministro de agua	19
I.4.- Tratamiento de agua	23
I.5.- Calidad del agua potable	30
I.6.- Toma y conservación de muestras para el análisis de agua	41
I.7.- Control de calidad de agua potable	44
Capitulo II Experimentación	
II.1.- Parámetros de diseño utilizados en la planta potabilizadora Los Berros del sistema Cutzamala	50
II.2.- Descripción de la planta piloto potabilizadora de agua.	51
II.3.- Metodología de operación de la planta piloto potabilizadora	53
II.4.- Métodos de análisis de laboratorio	55
Capitulo III Resultados y discusión de resultados	
III.1.- Operación de la planta piloto potabilizadora	63
III.2.- En base a los análisis de laboratorio	69
Capitulo IV Conclusiones y recomendaciones	
IV.1.- Conclusiones	83
IV.2.- Recomendaciones	85
Bibliografía	87

RESUMEN

Debido a la perspectiva que presenta el Sistema Cutzamala para proporcionar agua potable a millones de Mexicanos en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM), fue necesario hacer estudios por medio de una planta piloto potabilizadora en la cual se pudieran hacer el mayor número de cambios posibles en las condiciones de operación, así como de adición de diferentes reactivos utilizados a los del Sistema Cutzamala y sobre todo que los resultados obtenidos pudieran ser extrapolados a dicho sistema. Para de esta manera se pudiera posteriormente ampliar las instalaciones y rehabilitarlas, ya que la demanda de agua cada vez es mayor en diferentes partes de la ZMCM.

De los estudios efectuados se encontro que se puede sustituir el coagulante normal (sulfato de aluminio), por cloruro férrico, polimeros (anionicos o cationicos), o mezcla de estos polimeros con el mismo sulfato de aluminio y cloruro férrico, así como también se puede incrementar la alcalinidad del agua al mezclar sulfato de aluminio con cal y cloruro férrico con cal.

Tambien se obtuvo que en la unidad de mezcla rápida se pueden adicionar los reactivos (coagulante, desinfectante y cal). Dentro de la masa de agua para mayor efectividad en el tratamiento. En la camara de floculación se recalcularon los valores de agitación al variar el caudal de entrada de agua al 50 y 200% del valor normal (1 Lps), así como se encontro que los polimeros actúan mejor adicionados dentro de la segunda cámara de floculación que en la unidad de mezcla rápida y las otras cámaras de floculación. En el sedimentador no existe variación en cuanto se hagan cambios de adición de productos químicos, solo que el volumen de sedimentación de lodos depende de la calidad de agua tratada y del coagulante adicionado. En los filtros se obtuvo que resultan ser iguales los filtros rápidos de arena que los filtros de antracita de acuerdo a los análisis de laboratorio. Se propuso un nuevo sistema de lavado de filtros, resultando este ser más efectivo en comparación con el convencional (aire solo y agua sola después).

Al tratar agua de alta turbidez se obtuvo que la dosis de reactivo no era alta como se esperaba, sino que depende de la calidad del agua cruda.

De acuerdo a los resultados operacionales, siendo cuantificados por análisis de laboratorio, El agua potable obtenida por la planta piloto cumple con las normas de la Ley General de Salud, NOM-127-SSA1-1994, así como la de la Ley General del Equilibrio Ecológico Para el Agua (LGEEPA) y los Criterios Ecológicos de México (CEM). Siendo esto de suma importancia para poder hacer los cambios pertinentes en el Sistema Cutzamala y cumplir con los objetivos planteados por la Comisión Nacional del Agua (CNA) de Ampliar y Rehabilitar este Sistema.

INTRODUCCIÓN

La mayor parte de la superficie de la tierra (71%) esta cubierta por enormes extensiones de agua. Si hay tanta ¿cual es el problema con ella?. Resulta que solo una pequeña fracción del volumen total es aprovechable para las actividades humanas. Esto se debe a que el 97.2% del agua del planeta es salada; solo el 2.8% restante es dulce, aunque la mayor parte de esta se encuentra en forma de hielo en los casquetes polares y en la cima de las montañas más elevadas. Se considera, entonces, que el volumen disponible para las actividades humanas es el que se encuentra en ríos, lagos, arroyos, manantiales y depósitos subterráneos y que representan únicamente el 0.63% del total. (1)

DISPONIBILIDAD DEL AGUA

México tiene una superficie aproximada de 2 millones de kilómetros cuadrados con más de 80 millones de habitantes. De la lluvia media anual de 780 mm. en el territorio, aproximadamente el 27% se convierte en escurrimiento superficial (410,000 millones de m³); se estima un volumen renovable de agua subterránea de 31,100 millones de m³ y un almacenamiento en los acuíferos, no renovable, de 110,000 millones de m³.

La precipitación pluvial es muy irregular tanto espacial como temporalmente; se concentra en unos cuantos meses y en las regiones menos pobladas. Sucede que la ubicación de la población y de las actividades económicas se relaciona de manera inversa con la distribución de la disponibilidad del agua.

Menos de la tercera parte del escurrimiento ocurre en el 75% del territorio de México, donde se localizan las principales ciudades, las industrias y las tierras aptas para el riego. En consecuencia, el escurrimiento superficial y el agua de los acuíferos resulta insuficiente para apoyar las altas tasas de desarrollo que requiere el país y se traduce en la sobre explotación de los acuíferos y en la necesidad de realizar transferencias entre cuencas.

En contraposición la abundancia de agua en el 25% restante del territorio de México, provoca también problemas de consideración y es necesario construir obras de drenaje de suelos y control de las avenidas para permitir el desarrollo socioeconómico de las comunidades en esta zona. El riego en estas áreas es poco importante, las actividades principales se concentran en torno a la producción y refinación del petróleo, que se ha incrementado notablemente en los últimos 20 años. También se tiene un gran potencial hidroeléctrico mediante esquemas de presas de usos múltiples. No ha sido posible llevar a cabo el desarrollo pleno de la infraestructura hidráulica para estos fines debido a aspectos financieros y de preservación del medio ambiente. (2)

¿DE DONDE SE OBTIENE EL AGUA DE LA CIUDAD DE MÉXICO?

En la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM) consumimos más de 74 m³/s de agua, lo que equivaldría a llenar más de 6 veces el estadio azteca cada día.

El agua que consumimos diariamente proviene tanto del subsuelo como de cuerpos superficiales; ríos, lagos o manantiales.

La ZMCM obtiene el fluido que requiere para sus actividades de tres fuentes principales: el 71% se extrae de los mantos acuíferos; el 26.5% de las cuencas de los ríos Lerma y Cutzámala; y el 2.5% restante de las pocas fuentes superficiales que aún quedan en la cuenca de México; como el río Magdalena.

Los acuíferos son la principal fuente de abastecimiento en la ZMCM. debido a que en esta zona el suelo es de tipo volcánico, por lo que es propicio para su formación. La lluvia desempeña un papel muy importante en la recarga de los mantos, ya que, al escurrir por la superficie del suelo, se infiltra directamente en el subsuelo hasta llegar a los acuíferos.

Actualmente el volumen de agua que extraemos del subsuelo de la ZMCM es mucho mayor de la que se recupera naturalmente por la lluvia. Cada segundo se extraen del subsuelo 45m³ del líquido, mientras que se reponen naturalmente tan sólo 25 m³. Tal desequilibrio tiene consecuencias poderosas para el medio ambiente y la ciudad, ya que el subsuelo en el que esta se asienta es arcilloso, lo cual ocasiona que mientras más agua se extrae, más compacta el suelo y se propicia su hundimiento. Algunos estudios muestran que cada año la ciudad se hunde 10 cm en promedio, aunque en ciertos lugares como Xochimilco, Tlahuac, Ecatepec, Nazahualcoyotl y Chalco- el suelo se ha compactado hasta 40 cm en tan sólo un año.

La sobreexplotación de los mantos acuíferos no solo causa dificultades en los edificios de la ciudad, sino también en el medio ambiente, porque al extraer más agua de la que se recupera se están contaminando y terminando las reservas del líquido que aún nos quedan (1)

Hay en la ZMCM y D.F. plantas potabilizadoras ubicadas en varios puntos, estas plantas utilizan el agua de los mantos acuíferos para el aprovechamiento de la misma que pasa por estas zonas y se efectua su potabilización. (tabla 1). (3)

Tabla 1.- Plantas potabilizadoras y capacidad instalada en la ZMCM y D.F.

Lugar	Operan			No operan		Plantas totales
	Número de plantas	Capacidad instalada (L/s)	Gasto de operación (L/s)	Número de plantas (L/s)	Capacidad instalada (L/s)	
D.F	6	1,241	696	0	0	6
ZMCM	4	16,810	15,725	2	15	6

Como ya se mencionó, el sistema Lerma-Cutzamala es la segunda fuente de abastecimiento más importante de la ZMCM. Principalmente surte de agua a los habitantes del norte de la capital y a los municipios conurbados del estado de México. Sin embargo, es necesario precisar que importar líquido de estos ríos representa un gasto considerable, tanto de dinero como de energía, debido a que el agua del Lerma y del Cutzamala antes de llegar a la ciudad recorre de 60 a 154 Km de distancia a una altitud de más de 1000 metros, lo que requiere de 284 plantas de bombeo que la impulsan para que pueda llegar a nosotros.

Aunque el abastecimiento del líquido es una preocupación constante en la ZMCM, desde los finales del siglo pasado y hasta principios de la década de 1960, los manantiales superficiales y los mantos acuíferos eran la única fuente de suministro. Al ver que la población aumentaba de forma acelerada, en 1967 se inició la extracción de la cuenca del río Lerma, y en 1970 se comenzó a traer este recurso del sistema Cutzamala. La importación de este recurso de otras zonas es una situación favorable para los habitantes de la ciudad, pero que está dejando sin suministro a otras regiones. De hecho, la laguna de Chápala se está secando en parte por el agua que se extrae del río Lerma, que es una de sus principales fuentes abastecedoras.

Debe mencionarse que la mayoría de las fuentes de abastecimiento están ubicadas al poniente al norte y al sur de la ciudad, lo que provoca que exista una distribución irregular del agua y ocasiona que al oriente de la ZMCM sufra escasez del líquido. (1)

OBJETIVOS

GENERAL:

Construcción de una planta potabilizadora "piloto" para rehabilitar y ampliar la planta potabilizadora de agua "Los Berros" del sistema Cutzamala de la Comisión Nacional del Agua (CNA) y evaluar los cambios que puedan hacerse en este sistema, para que se aplique un proceso que sea rentable y eficiente una vez que se obtengan los resultados de los análisis de la planta piloto en un período de 6 meses.

ESPECÍFICOS:

1.-Evaluar la eficiencia de los productos químicos aplicados, así como los costos entre los diferentes coagulantes y polielectrolitos a utilizar.

2.-Evaluar el comportamiento de la floculación cuando se recibe mayor o menor flujo que el de diseño, así como ajustar los gradientes de agitación haciendo óptima la formación del floculo.

3.-Evaluar el comportamiento de las unidades de sedimentación respecto a los cambios en las dosificaciones de productos químicos.

3.1.-Estimar la producción y consistencia de los lodos producidos por las modificaciones en la operación.

4.-Evaluar en la filtración el mayor número de cambios en la operación.

4.1.- Analizar simultáneamente el funcionamiento de diferentes medios filtrantes. En ese sentido se podrán modificar tanto la granulometría como el espesor del medio filtrante en cada una de las columnas de filtración.

4.2.- Comparar diferentes métodos de retrolavado: Utilizando agua solamente, aire y agua en etapas sucesivas, o aplicando aire y agua simultáneamente. Para obtener la mejor secuencia de retrolavado y el menor consumo de agua y energía.

4.3.- Evaluar la calidad del agua obtenida en base a los estándares establecidos en las NOM específicas para cada análisis (tabla I.7.2).

HIPÓTESIS

Al efectuar los cambios pertinentes en las condiciones de operación de la planta piloto y a través de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos de laboratorio, se obtendrán las bases científicas para aplicarlos en la planta potabilizadora del sistema "Cutzamala" y hacer de esta manera que la potabilización de agua sea eficiente, rentable y que cumpla con las normas oficiales Mexicanas para agua potable.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Hoy en día en el umbral del siglo XXI, las sociedades nacionales y la comunidad internacional se dan cuenta que la senda del desarrollo económico seguida en los dos últimos siglos, ha afectado severamente tanto la cantidad disponible como la calidad del agua. Es por ello que ahora se ha convertido en un tema de principal importancia, el planteamiento de interrogantes respecto a los costos que representará en los próximos años, disponer en forma adecuada del vital líquido.

Se ha dejado ver con toda claridad que, de continuar la tendencia observada, en un futuro cercano habrá una enorme disparidad entre la demanda y la disponibilidad del recurso. En ese sentido, existe el inminente peligro de la ocurrencia de una crisis nacional de agua la cual se manifestaría a través de sequías prolongadas con el secuento efecto sobre la degradación de suelos, bosques y tierras cultivables, incluso con la misma desaparición de cuerpos de agua. Esto generaría déficits alarmantes en la producción de alimentos y energía, afectando severamente economías y zonas habitables.

Estos problemas motivan al estudio de mejores formas para el manejo del agua y promueven su uso racional en todo el mundo, ya que es un recurso natural indispensable para cualquier actividad humana.

Debido a la gran demanda de agua potable y a los costos que implica su potabilización, dentro del proyecto de rehabilitación y modernización de la planta potabilizadora de agua "Los Berros" del sistema Cutzamala, se diseñó y construyó una planta potabilizadora "piloto" para realizar simulaciones de las condiciones de operación, así como para predecir los resultados de los cambios que puedan efectuarse al proceso en cuanto a mejoría y costos del mismo para obtener agua de igual o de mejor calidad de la que se obtiene actualmente en el sistema Cutzamala y hacer que dicho proceso sea rentable.

CAPÍTULO I.-ANTECEDENTES

I.1.-QUE USOS Y COSTOS TIENE EL AGUA

El agua que se extrae o llega a la ZMCM se distribuye con el fin de satisfacer las necesidades de una población de más de 21 millones de habitantes. De ahí se desprende que exista una legislación que regula y establece los diferentes usos del agua potable. (1)

Los usos de agua autorizados en la legislación de nuestro país son cinco: Como fuente de abastecimiento de agua potable, para uso recreativo (como son albercas), para riego agrícola, para uso pecuario y para la protección de la vida acuática (tanto agua dulce como agua salada). (4)

En la ZMCM se dan básicamente 3 usos al agua. La mayor parte (67%) se destina al sector doméstico (para sanitarios, la ducha o el lavado de trastes y ropa por ejemplo). El 17% lo utilizan las industrias, y el 16% se destina a servicios como son las escuelas, los hospitales y las oficinas, entre otros. (4)

En el D.F. cada persona consume actualmente 364 litros de agua al día. En el Estado de México el gasto es un poco menor; 230 litros diarios por persona. Sin embargo, cualquier habitante de los países europeos usan un promedio cotidiano de 120 litros por día. Esto quiere decir que en la ZMCM todos los días estamos gastando entre dos y tres veces más líquido que en otras partes del mundo. (4)

Hay que comentar que las bajas tarifas de agua prevalecientes propician, en primer lugar: el desperdicio, ya que a menudo se hace fácil derrochar el agua puesto que no se paga su costo real; y en segundo lugar: estas tarifas impiden ampliar y mejorar la red de distribución ya que solo se recupera el 6.67% de lo que se invierte en ella. (tabla I.1.1).(4)

Tabla I.1.1.- Nuevas tarifas aplicables por derecho de suministro bimestral de agua a partir del 1 de Enero de 2001 en el código financiero del D. F. (Art. 196 Fr I y Art. 198 Fr IV)

Uso doméstico				Uso no doméstico			
Consumo en m ³		Tarifa		Consumo en m ³		Tarifa	
Límite inferior	Límite superior	Cuota mínima	Cuota adicional por m ³ excedente del límite inferior	Límite inferior	Límite superior	Cuota mínima	Cuota adicional por m ³ excedente del límite inferior
0.0	10.0	11.50	0.00	0.0	10.0	69.04	0.00
10.1	20.0	11.50	1.36	10.1	20.0	138.01	0.00
20.1	30.0	25.06	1.58	20.1	30.0	207.05	0.00
30.1	50.0	50.73	3.00	30.1	60.0	207.05	10.26
50.1	70.0	110.80	3.84	60.1	90.0	514.77	13.34
70.1	90.0	187.65	4.91	90.1	120.0	914.87	16.42
90.1	120.0	285.71	9.76	120.1	140.0	1,407.37	19.49
120.1	180.0	578.53	12.34	240.1	420.0	3,746.00	22.57
180.1	240.0	1,319.09	17.73	420.1	660.0	7,808.54	25.65
240.1	420.0	2,383.01	20.43	660.1	960.0	13,964.66	28.88
420.1	660.0	6,059.46	23.80	960.1	1,500.0	22,628.76	32.45
660.1	960.0	11,770.98	25.72	1,500.1	en adelante	40,095.85	33.18
960.1	1,500.0	19,485.25	29.58				
1500.1	en adelante	35,458.15	31.48				

Una vez que usamos el agua, es necesario que nos deshagamos de ella; y en la ZMCM solo hay una forma de colectar las aguas de desechos. Aunque cada lugar tiene su propia tubería para el desalojo del agua usada, de una u otra manera todas las alcantarillas descargan sus desechos en el sistema general de drenaje, que cumple con la función de sacar las aguas residuales hacia afuera de la cuenca. (4)

Toda el agua sucia que sale de la cuenca se vierte en el río Tula; de ahí pasa al río Moctezuma, después al río Panuco y finalmente desemboca en el Golfo de México. Es parte de esto que la contaminación que se genera afecta directamente a varios estados de la República mexicana: San Luis Potosí, Hidalgo, Tamaulipas, y a las aguas del Golfo de México. (1)

CICLO DEL AGUA

Aun cuando se gastan considerables cantidades de agua y se contamina esta en la tierra, se recupera continuamente el líquido por medio del ciclo hidrológico o ciclo del agua. Gracias a este siempre hay un volumen constante disponible sobre la superficie terrestre.

El ciclo del agua es un proceso natural de limpieza del agua, a lo largo del cual este se colecta, se purifica y se distribuye en el planeta. El proceso inicial cuando el calor del sol evapora el agua de los océanos, los ríos, los lagos, o del suelo; al evaporarse queda libre de algunos de los contaminantes que están disueltos en ella.

El agua evaporada sube a la atmósfera, que es más fría que la superficie terrestre. Debido a este cambio de temperatura, el vapor se condensa y forma pequeñísimas gotas que nosotros conocemos como nubes. El viento transporta las nubes de un lugar a otro llevando el agua hacia otras regiones. Cuando ocurren cambios de temperatura y presión en la atmósfera, el agua condensada se enfría formando gotas de mayor tamaño; la lluvia, el granizo o la nieve. El líquido que vuelve a la superficie del planeta puede tomar diferentes caminos: puede escurrir y acumularse formando cuerpos de agua como los océanos, ríos y lagos; se puede filtrar a través del suelo y las rocas purificándose de nuevo, dando lugar a pozos y ríos subterráneos; finalmente, se puede solidificar integrándose a las masas de hielo en los polos o en los picos de las montañas más altas.

Los seres vivos obtienen el agua que necesitan ya sea directamente de la lluvia, de los ríos, los lagos o la absorben del suelo. El agua que utilizan las plantas y los animales se puede reincorporar a la atmósfera de dos maneras: Por la transpiración o por la deshidratación de sus cuerpos cuando mueren. El ciclo hidrológico se repite una y otra vez cuando el agua superficial vuelve a reincorporarse por el calor del sol y formar nubes. (1)

1.2.-ANTECEDENTES DEL SISTEMA CUTZAMALA

Se analizaron desde el punto de vista de su factibilidad hidrológica, técnica, política, social, económica y financiera a las cuencas altas de los ríos Cutzamala, Tecolutla y Amacuzac para saber cual sería la cuenca para abastecer de agua a la zona metropolitana de la ciudad de México.

Para ello se estudiaron los caudales disponibles, topografía, la longitud del recorrido, los desniveles entre puntos de captación y entrega, la energía eléctrica para su operación, la calidad del agua, la tenencia de la tierra, los aspectos tecnológicos, el cambio de uso del agua de generación eléctrica a agua potable y las repercusiones económicas.

Se calculó también el costo medio por metro cubico en cada proyecto y se determinó que el más viable era el de la cuenca alta del río Cutzamala, pues brindaba la posibilidad de aprovechar la infraestructura existente del sistema hidroeléctrico Miguel Alemán y permitía satisfacer, en menor plazo, la demanda de agua potable a la zona metropolitana de la ciudad de México. (5)

Es importante señalar que la planeación para la utilización del agua de esta cuenca se consideró tanto el abastecimiento de la zona metropolitana de la ciudad de México como la satisfacción de las necesidades de las regiones de captación y de las poblaciones ubicadas a lo largo de la conducción, estableciendo un programa de obras de compensación y beneficio social en los sitios afectados para la construcción de las obras. (5)

CONCEPCIÓN DEL SISTEMA CUTZAMALA

El proyecto para el aprovechamiento de la cuenca del río Cutzamala contempló una parte importante de los recursos hidráulicos superficiales utilizados en la generación de energía eléctrica a elevaciones superiores de 1400 m.s.n.m. mediante captaciones de las presas Villa Victoria, Valle de Bravo, así como en el vaso regulador de Colorines, alimentado por un sistema de presas interconectadas que comprenden a la presa Tuxpan, El Bosque e Ixtapan del Oro.

Para transportar los caudales de los sitios mencionados al Valle de México, fue necesario cruzar el valle de Toluca-La zona más alta de la cuenca del río Lerma-y atravesar la Sierra de las Cruces por un túnel.

Los estudios hidrológicos realizados indicaron que la presa de Villa Victoria se podría aprovechar para agua potable a un gasto medio de 4 m³/s, de Valle de Bravo a 6m³/s y de Colorines a 8m³/s. Para la utilización de las aguas del río San José Malacatepec antes de su escurrimiento a la presa Colorines, se planeo la construcción de la presa Chilesdo, con vista a captar un gasto medio de 1 m³/s. (5)

VARIABLES ANALIZADAS

Con el objeto de fundamentar técnica y económicamente la selección más conveniente del acueducto, se analizaron varias posibilidades definidas por las siguientes variables.

- Rutas posibles
- Tiempos de bombeo: 20 y 24 horas.
- Gastos por conducir: 11, 20 y 24 m³/s.
- Tipo de conducción: Tubería de acero, tubería de concreto, canales y túneles. (5)

LOCALIZACIÓN DE LA PLANTA POTABILIZADORA

Para la localización de la planta potabilizadora se eligieron preliminarmente dos sitios, uno en las cercanías de la presa de Villa Victoria, por ser la fuente de abastecimiento que se utilizará en primer término, y otro en las cercanías de la Ciudad de México. Dichas alternativas de localización se evaluaron económicamente tomando en cuenta los procesos de potabilización, el ahorro en el transporte de productos químicos, el costo del terreno y los problemas para su adquisición.

Después de analizar estos aspectos se llegó a la conclusión de que lo más conveniente era localizar la planta potabilizadora en la vecindad de la presa de Villa Victoria,

con un proceso completo de potabilización para las aguas mezcladas de todas las captaciones. (5)

DEMANDA DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Para determinar los requerimientos eléctricos del sistema se tomaron en cuenta las estaciones de bombeo de Colorines y Valle de Bravo operando a 20 h/d y la estación de Villa Victoria a 24 h/d, el voltaje de los motores eléctricos a 13.2 Kv; la eficiencia de las bombas se estimó en un 85% y se consideró un factor de potencia de 0.9. De la suma de los requerimientos eléctricos del sistema se obtuvo una carga de 291 Mw.

En función de los estudios previos realizados sobre las afectaciones al sistema hidroeléctrico Miguel Alemán, se determinó eliminar las plantas Martínez de Meza, Agustín Millan y el Durazno, con lo que la capacidad del sistema se reduce de 377.2 Mw a 316 Mw, potencia que no podrá considerarse como carga base, ya que se dispondrá únicamente de un gasto medio de 3 m³/s. Para las plantas hidroeléctricas de Ixtapantongo y Santa Barbara en Tingambato para generar energía eléctrica exclusivamente en las horas pico.

ELEMENTOS CONSTITUTIVOS DEL SISTEMA

El sistema utiliza las aguas de las presas de almacenamiento de Villa Victoria, Valle de Bravo y El Bosque, así como las de las presas derivadoras Tuxpan, Ixtapan del Oro, Colorines y Chilesdo, y tienen en proyecto una estructura de este tipo para aprovechar los escurrimientos del río Temascaltepec. (Tabla I.2.1).(5)

Tabla I.2.1: Características de las presas que constituyen el sistema Cutzamala.

Concepto	P. Villa Victoria	P. Valle de Bravo	Presa. Colorines	P. Tuxpan	P. El Bosque	P. Ixtapan del oro	Presa. Chilesdo
Ubicación	Villa Victoria Mex.	Valle de Bravo Mex.	Valle de Bravo Mex.	Tuxpan Mich.	Zitacuaro Mich.	Ixtapan del oro Mex.	Villa de Allende Mex.
Elevación corona (msnm)	2,562.04	1,788.11	1,630.31	1,764.00	1,745.00	-----	2,359.20
Elevación ideal (msnm)	2,560.37	1,785.61	1,629.21	1,762.00	1,743.00	1,635.00	2,359.05
Capacidad útil (mill. de m³)	214.30	403.00	1.60	20.00	201.00	0.50	0.80
año de terminación	1994	1994	1994	1957	1954	1954	1992

(5)

PLANTAS DE BOMBEO

El sistema cuenta con 6 plantas de bombeo. Las 6 plantas de bombeo en su conjunto están integradas por 35 bombas (tabla I.2.2), teniendo 29 de ellas una capacidad unitaria de 1.7 m³/s. (5)

Tabla I.2.2: Características de las plantas de bombeo.

Plantas	Elevación del eje de descarga (msnm)	Gasto por unidad m ³ /s	Numero de unidades	Gasto por planta m ³ /s	Carga (m)
1	1,751.30	4.0	5	20.0	157.3
2	1,723.00	4.0	6	24.0	121.8
3	1,833.95	4.0	6	24.0	399.3
4	2,177.75	4.0	6	24.0	399.3
5	2,497.00	4.0	6	24.0	174.2
5(A)	2,497.00	1.7	3	5.1	174.2
6	2,323.13	1.7	3	5.1	275.0
total	14,623.13	23.4	35	126.2	1,151.9

Tabla I.2.2.- continuación

Planta	Potencia unitaria		Potencia por planta	
	Kw	Hp	Kw	Hp
1	7,960	10,670	39,800	53,350
2	5,550	7,440	33,300	44,640
3	16,500	22,118	99,000	132,708
4	16,500	22,118	99,000	132,708
5	7,960	10,670	47,760	64,020
5(A)	3,170	4,249	9,510	12,747
6	4,200	5,630	12,600	16,890
total	61,840	82,895	340,970	457,063

(5)

TORRES DE SUMERGENCIA Y DE OSCILACION

Cada planta de bombeo cuenta con una torre de sumergencia y una torre de oscilación que son estructuras cilíndricas de concreto reforzado.

La función de las torres de oscilación y de sumergencia es el de minimizar el fenómeno conocido como Golpe de Ariete, que se produce tras el arranque o paro de los equipos de bombeo, provocando en las tuberías variaciones en la presión hidráulica que de no ser controladas producirían rupturas o deformaciones de estas. (5)

PLANTA POTABILIZADORA

La planta potabilizadora Los Berros percibe los caudales captados por el sistema que logra que el agua suministrada a la zona metropolitana de la Ciudad de México sea de alta calidad. El proyecto integral de esta planta contempla un tanque de recepción de aguas crudas, 6 canales Parshall, 6 módulos de potabilización, un tanque de recepción de aguas claras, un edificio de dosificación de Sulfato de Aluminio, una planta de cloración, un sistema de tratamiento de lodos y un laboratorio para análisis fisicoquímicos y bacteriológicos, logrando con este conjunto de elementos una capacidad para procesar hasta 24 m³/s. (5)

CONTROL DE CALIDAD

La planta potabilizadora cuenta con un laboratorio de control de calidad para realizar los análisis fisicoquímicos y bacteriológicos que permiten determinar la calidad del agua entregada, para lo cual se efectúan cada tres horas muestreos de agua en las diferentes etapas del proceso. (5)

FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

A partir de las fuentes de aprovechamiento de agua conformadas por las presas de Villa Victoria, Valle de Bravo, Chilesdo y Temascaltepec (en proyecto), se desarrolló la infraestructura requerida para captar, elevar y potabilizar y conducir 24 m³/s hasta la zona metropolitana de la ciudad de México.

Las obras del sistema iniciaron en 1976 con la construcción del túnel Analco-San José, para continuar 3 años después con las correspondientes a la captación de la Presa de Villa victoria, que entro en funcionamiento en 1982 con un gasto medio de 4 m³/s, en 1985 se concluye y entran en operación las obras para aprovechar 6 m³/s de la presa de Valle de Bravo, cuya conducción requirió la puesta en marcha del túnel Analco-San José.

Hacia 1993 inicia la operación de la captación de la presa Chilesdo para obtener un gasto promedio de 1 m³/s y en 1994 se dispone de la infraestructura para el aprovechamiento de 8 m³/s en promedio de las presas Colorines, con lo cual se cubrirán los incrementos en la demanda de agua potable originados por el crecimiento poblacional hasta 1997.

Por otra parte, con la ejecución del proyecto para el aprovechamiento del río Temascaltepec, se dispondrá de los volúmenes requeridos hasta principios del próximo siglo.(rehabilitación y ampliación del sistema Cutzamala). (5)

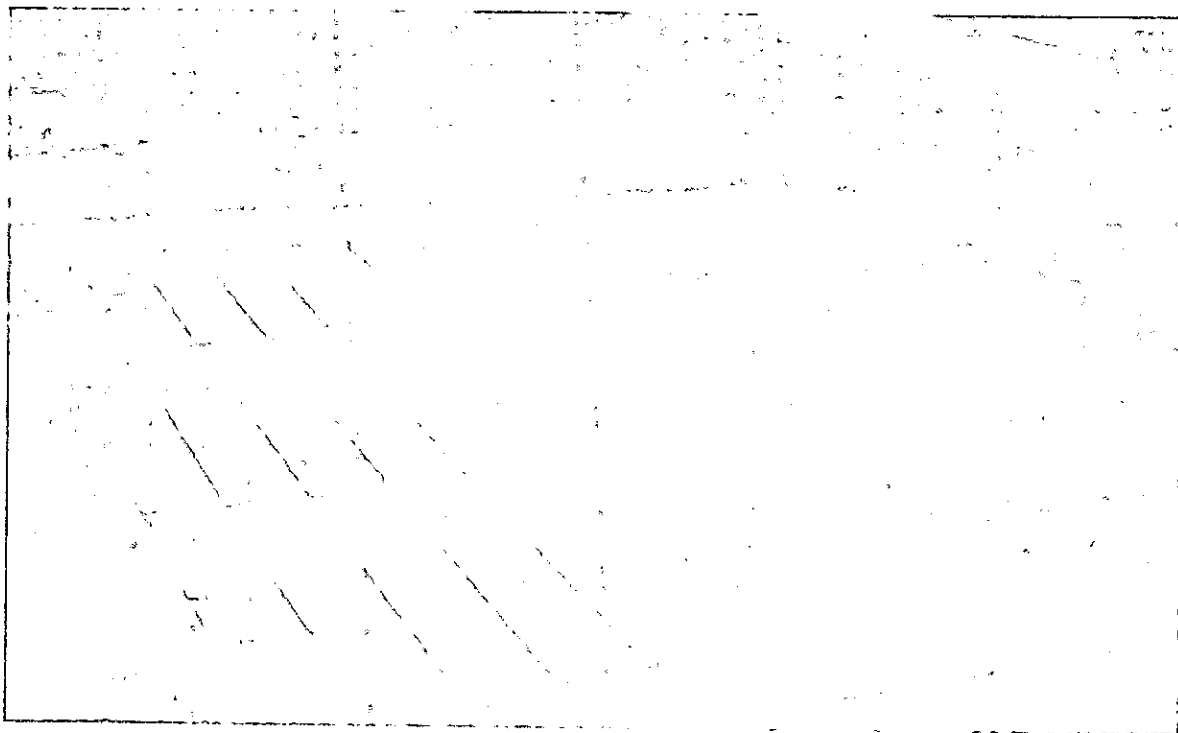
CAPTACIÓN TEMASCALTEPEC REHABILITACIÓN Y AMPLIACIÓN DEL SISTEMA CUTZAMALA

El proyecto que resulta viable técnica y económicamente para aprovechar un promedio de 5 m³/s de agua del río Temascaltepec consiste en la construcción de una presa derivadora de 20 m de altura y 70 m de longitud, de tipo gravedad, ubicada a 2 Km aguas abajo del poblado Temascaltepec, en el sitio denominado Las Juntas.

Adicionalmente, el proyecto requiere la construcción de una obra de toma para derivar un gasto máximo de 15 m³/s; un túnel denominado Temascaltepec de 4.7 Km de longitud y 3.50 m de diámetro. (5)

También dentro del sistema Cutzamala se puso en obra la construcción de un módulo más de potabilización de agua que consta de un canal parshall, cuatro cámaras de floculación, 4 cámaras de sedimentación y ocho módulos de filtración, para sostener el gasto de agua proveniente del río Temascaltepec. (Figura 1) (5)

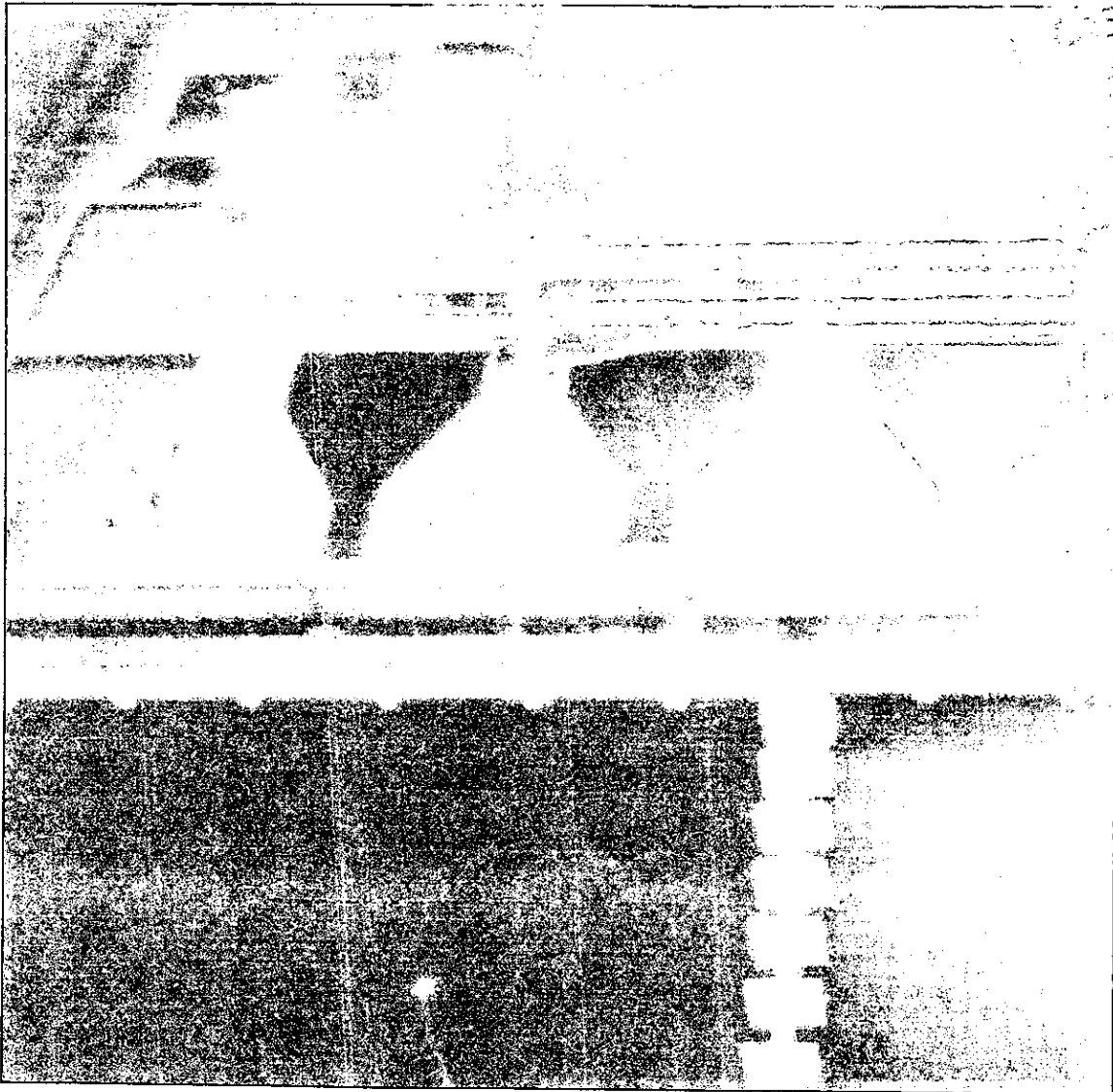
Figura 1: Obra en construcción para la ampliación del sistema



PROCESO DE POTABILIZACIÓN DEL SISTEMA CUTZAMALA

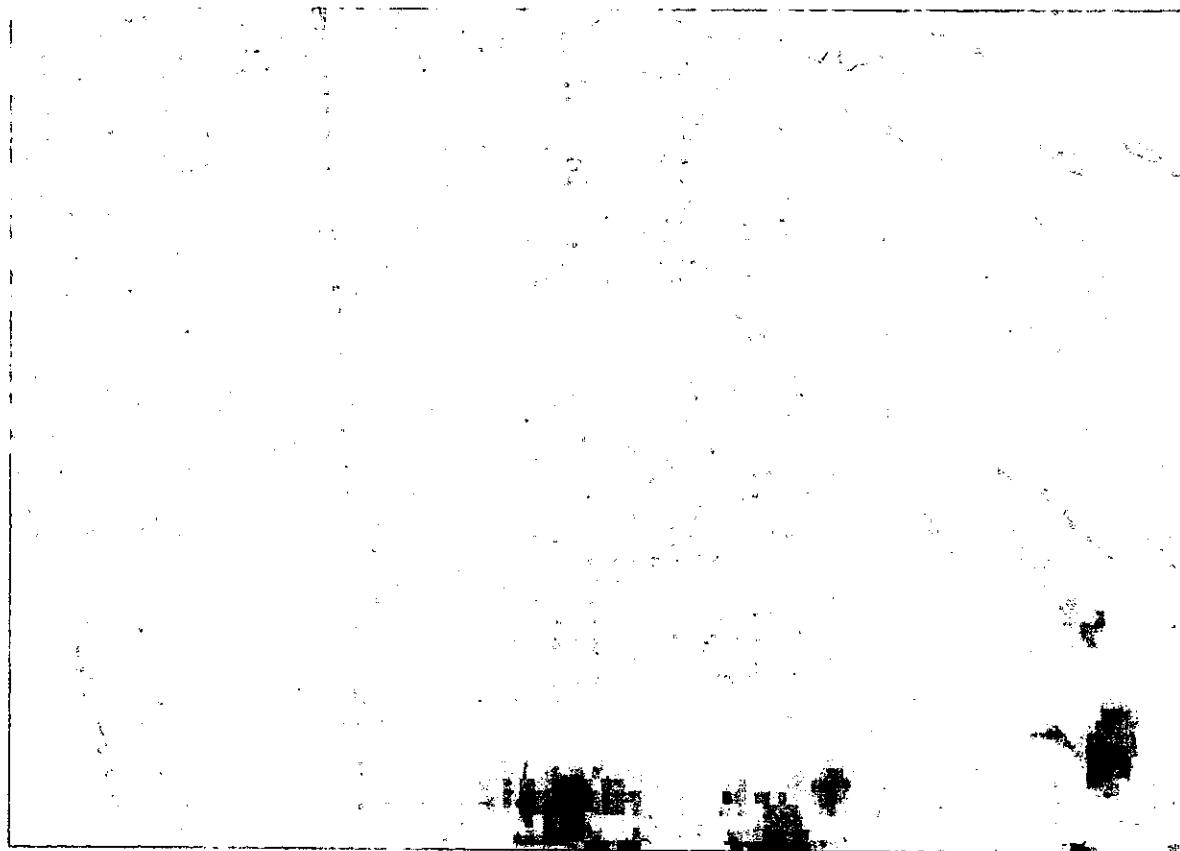
El agua que proviene de las presas que integran el sistema Cutzamala, llega a un tanque de concreto formado por dos cámaras donde se mezclan las aguas crudas (figura 2); de este las aguas se conducen a través de los canales Parshall (figura 2), donde se mide el caudal y se inicia el proceso de potabilización al adicionar sulfato de aluminio como coagulante y cloro como desinfectante y para controlar el desarrollo de organismos en las siguientes etapas del proceso. El desarrollo de organismos de el grupo coliforme se controla adicionando la cantidad de cloro determinada mediante las pruebas de jarras para valorar el cloro libre residual y así inhibir el crecimiento.

Figura 2: Tanque de aguas crudas y canales Parshall



Posteriormente, el agua se conduce a 6 módulos de potabilización con capacidad de $4 \text{ m}^3/\text{s}$ cada uno, continuando el proceso en la sección de floculación donde el agua se agita lentamente con paletas de eje horizontal para optimizar la formación de los floculos accionadas por motores de 10 y 20 Hp instalados en cuatro tanques (figura 3), pasando a la sección de sedimentación, cuyos tanques están equipados con placas paralelas de asbesto-cemento separadas 5 cm. entre sí y con inclinación de 60° (figura 3).

Figura 3: Módulos de Floculación, Sedimentación y Filtración.



Estas placas propician la precipitación de los grumos en suspensión, depositándolos en forma de lodos en el fondo de los tanques, de donde son extraídos mediante un succionador suspendido de un flotador que los recorre longitudinalmente y descarga a un canal lateral para finalmente llevarlos a la planta de tratamiento de lodos.

Después de la sedimentación de lodos, el agua es conducida al área de filtración que consiste en 8 tanques conformados por lechos de grava y arena sílica con un falso fondo de losas con boquillas microranuradas (figura 3). La eficiencia de estos lechos es mantenida periódicamente mediante un proceso de retrolavado que consiste en inyectar agua y aire a presión en sentido inverso al flujo normal del filtrado de agua.

El agua descargada por los filtros es conducida al tanque de aguas claras que es una estructura de concreto reforzado dividida en dos cámaras con capacidad de 48,000 m³/s cada una (figura 4). (5)

Figura 4: Tanque de aguas claras (almacenamiento de agua potable).



PROCESOS AUXILIARES

Para la dosificación de sulfato de aluminio se dispone de 9 tanques de fibra de vidrio con capacidad de 50,000 litros cada uno, de los cuales fluye por gravedad el sulfato líquido a 4 tanques de dilución para bombearlo al tanque de dosificación, desde donde se adiciona a cada canal Parshall la cantidad óptima indicada por las muestras de laboratorio.

Por su parte, la planta de cloración esta integrada por 8 evaporadores, 12 cloradores con capacidad de 4,550 Kg. diarios cada uno y dos consolas de operación automática.

El agua de lavado de filtros, así como los lodos son conducidos por gravedad a los concentradores de lodos, donde se acelera su espesamiento mediante la dosificación de polímeros; de aquí el lodo es bombeado a un tanque de lodos para almacenarlos y el agua decantada se envía por bombeo a la entrada de la planta potabilizadora. Estos lodos se concentran en el tanque de lodos para ser parcialmente secados al aire libre, debido a que no se consideran peligrosos. A estos lodos se les da uso agrícola para el crecimiento de las cosechas por el contenido de carbono, oxígeno e hidrógeno, así como el potasio, calcio, magnesio, hierro, por lo que el lodo secado al aire ya sea total o parcialmente, se regala a granjeros de la zona para rellenar sus tierras y así enriquecer los suelos agrícolas. (5)

I.3.-COMO SE REALIZA EL SUMINISTRO DE AGUA

CONDUCCIÓN DE AGUA DE LA PLANTA POTABILIZADORA A LA ZONA METROPOLITANA DE LA CIUDAD DE MÉXICO

Una vez potabilizada, el agua se distribuye en el tanque de aguas claras que sirve de regulador y de sumergencia a los equipos de la planta de bombeo N° 5, mediante tubería de acero. La planta de bombeo N° 5 cuenta con 6 equipos de 4 m³/s y 3 equipos de 1.7 m³/s que permite bombear distintos caudales de agua potable para su envío a la zona metropolitana de la ciudad de México. Con esta planta y mediante una tubería de acero se vence una carga de 174 m hasta la torre de oscilación N° 5, el punto más alto de la conducción del sistema. A partir de aquí el agua fluye por gravedad por medio de dos tuberías de concreto prerenforzado que terminan en el portal de la entrada del túnel Analco-San José.

En este tramo la conducción se cruza la barranca de los Berros y el río Lerma mediante 2 tubos-puente de acero con longitud de 210 y 63 m respectivamente; aquí también se localizan las cajas rompedoras de presión denominadas Santa Isabel y Pericos. Contiguo a esta última caja se construyó el tanque de almacenamiento de agua potable pericos de 200,000 m³ de capacidad, del que parte una derivación hacia la ciudad de Toluca. Así mismo se construyó en el sitio denominado Cruz de la Misión una derivación hacia el acueducto Lerma.

A continuación el agua fluye por el túnel Analco-San José hasta la lumbrera N° 3. A partir de este punto se inicia la distribución del líquido a la zona metropolitana de la ciudad de México. (5)

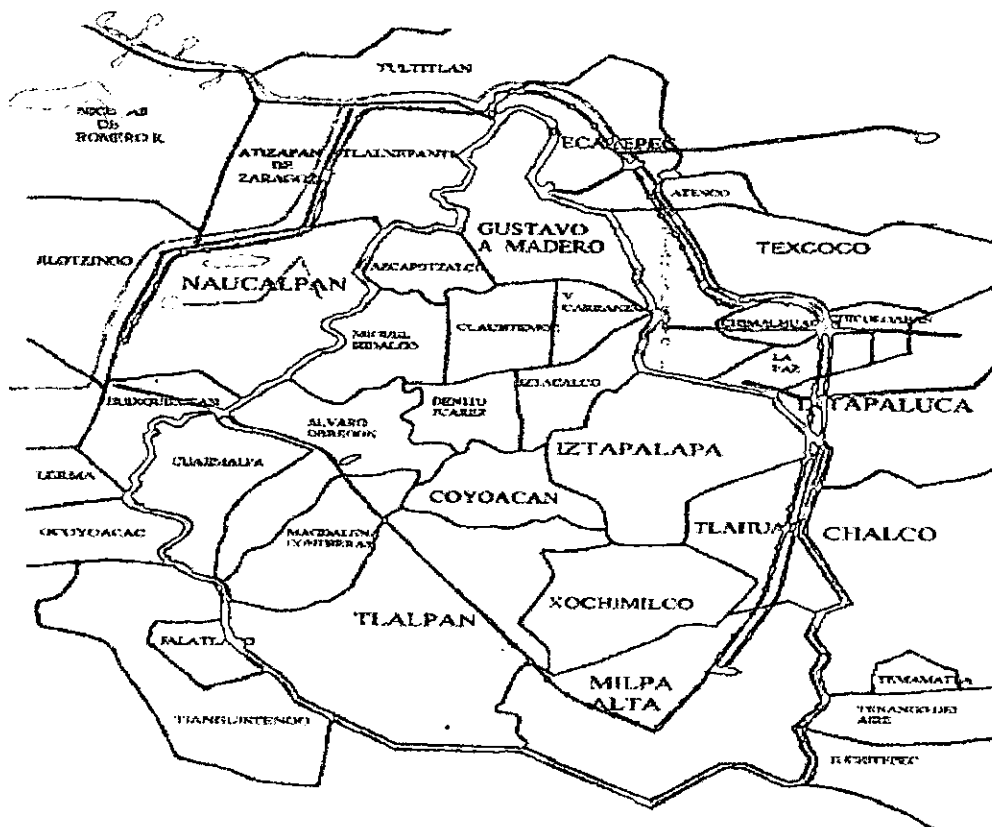
DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE DEL SISTEMA CUTZAMALA EN LA ZONA METROPOLITANA DE LA CIUDAD DE MÉXICO

Para aprovechar el caudal proveniente del sistema se coordinaron las obras de recepción de Agua en bloque entre la SARH, el Gobierno del Estado de México y el DDF., estableciéndose un sistema primario de distribución a la salida del túnel Analco-San José, que inicia con una estructura de bifurcación localizada en la lumbrera N° 3, de donde parten los ramales sur y norte.

La parte sur, denominada Acuaférico, está a cargo del DDF. y abarca las delegaciones Magdalena Contreras, Tlalpan, Xochimilco, Milpa Alta y Tlahuac.(figura 5)

El ramal norte se denomina Macrocírculo y su construcción está a cargo de la Comisión Nacional del Agua y el Gobierno del Estado de México. (5)

Figura 5: Acuafero perimetral. (distribución de agua en la ZMCM y D.F.).



Compañías encargadas de las obras

- CNA.
- DDF.
- CEAS.
- - - - - DDF. Y CNA Obras por construir

SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN RAMAL NORTE MACROCIRCUITO

Su objetivo es distribuir en forma adecuada los gastos provenientes del sistema, a fin de mejorar el servicio de agua potable en los municipios conurbados del estado de México.

La primera etapa del macrocircuito está formada por 31.0 Km de conducción. En sus primeros 12.5 Km, desde la lumbrera N° 3 del túnel Analco-San José, en el municipio de Huixquilucan, hasta la toma 4, en el municipio de Naucalpan, está construida por una conducción en túnel de sección tipo herradura de 3.5 m de diámetro, con una capacidad de conducción de 1.0m³/s. A lo largo de su desarrollo se distribuye un gasto de 4.4 m³/s en las tomas La Mina, La Magdalena, El Olímpico y Loma Colorada, ubicadas las tres primeras en el municipio de Huixquilucan y la última en el municipio de Naucalpan.

La conducción continua, siguiendo con una tubería de 6 Km que termina en el tanque Bellavista.

En este tanque se realiza una derivación para la distribución del líquido en el municipio de Naucalpan, formando parte de esta conducción los tanques de regulación Lomas Verdes, Lomas Verde Alto y Diplomáticos.

Los 11.5 Km restantes de esta etapa tienen una capacidad de 3.0 m³/s y están contruidos con tubería de 1.20 m de diámetro. A lo largo de la conducción se encuentran ubicados los tanques San Javier, Atizapan III y Emiliano Zapata, localizados en el municipio de Atizapan de Zaragoza, finalizando en este último tanque la primera etapa de distribución.

Las derivaciones de los tanques San Javier y Atizapan III tienen diámetros de 45 y 60 cm. y longitudes de 1.1 y 2.8 Km. respectivamente. Esta etapa, que alimenta parte de los municipios de Huixquilucan, Naucalpan, Tlalnepantla, Atizapan de Zaragoza, México Nuevo y Nicolas Romero beneficia en su conjunto a 2,560,000 habitantes con una dotación promedio de 250 L/h/d.

La segunda etapa del ramal norte, denominada Tanque Emiliano Zapata-Planta Barrientos-Tanque Coacalco, se encuentra en proceso de construcción y empieza en el municipio de Atizapan, pasa por el municipio de Tlalnepantla y concluye en el municipio de Coacalco. Su desarrollo es de 25 Km. de tubería de concreto preesforzado de 1.20 m de diámetro.

Esta conducción a partir del Tanque Chalma cuenta con la derivación hacia los tanques Bosques del Lago, Gemelos, Tanque 6 y 3, en el municipio de Cuautitlan Izcalli, con una longitud total de 13.5 Km.

Considerando el aumento de la población en la zona y el consecuente incremento en la demanda de agua, así como la necesidad de abatir las deficiencias actuales en la distribución del líquido, el proyecto contempla la ampliación del acueducto a partir de la planta Barrientos hacia el municipio de Ecatepec para distribuir un caudal de 3.6 m³/s en beneficio de 1,200,000 habitantes más. (Rehabilitación y Ampliación del Sistema Cutzámala).
(5)

CARACTERÍSTICAS DEL AGUA

El agua absorbe rápidamente tanto las sustancias naturales como las producidas por el hombre, generalmente convirtiendo el agua en inadecuada para su consumo sin algún tipo de tratamiento. Los grupos importantes de sustancias que pueden considerarse indeseables en exceso son:

- 1.-COLOR: Esto se debe a la presencia de materia orgánica disuelta proveniente de suelos de turba, o sales minerales de hierro y manganeso.
- 2.-MATERIA SUSPENDIDA: Esto es mineral fino o materia vegetal que no es capaz de sedimentar en las condiciones reinantes.
- 3.-TURBIDEZ: Está es una medida de la claridad o transparencia del agua. La turbidez se puede deber a numerosos factores como finas partículas de mineral en suspensión, alta concentración de bacterias, o incluso finas burbujas debido a la excesiva aireación.

4.-PATÓGENOS: Pueden ser virus, bacterias, protozoarios u otro tipo de organismos patógenos que pueden afectar a la salud del consumidor. pueden provenir de las aguas residuales tanto de humanos como de animales que contaminan los recursos de agua.

5.-DUREZA: La excesiva y extremadamente baja dureza son igualmente indeseables. La excesiva dureza se alcanza principalmente en los recursos de agua subterránea mientras que las aguas blandas son características de algunas cuencas de captación de las tierras altas.

6.-SABOR Y OLOR: El sabor y el olor desagradables se deben a una variedad de razones tales como la contaminación por aguas residuales, excesiva concentración de algunos productos químicos como el hierro, manganeso o aluminio, vegetación en estado de putrefacción, condiciones de estanquidad debido a la falta de oxígeno en el agua, o a la presencia de ciertas algas.

7.-PRODUCTOS QUÍMICOS NOCIVOS: Hay una gran variedad de productos químicos orgánicos e inorgánicos que son tóxicos y nocivos que pueden aparecer en los recursos de aguas. Estos son absorbidos por los sólidos y se debe a la contaminación por aguas residuales industriales y domésticas.

El tratamiento y la distribución de agua es el proceso por el cual esta se toma de los recursos naturales, se convierte en apta para el consumo y entonces se transporta hasta el consumidor. Esta es la primera mitad del ciclo del agua de consumo humano, antes de que esta sea realmente usada por el consumidor. La segunda mitad es la recolección, tratamiento y vertido una vez que ya ha sido utilizada (agua residual).

El objetivo del tratamiento, es producir un adecuado y continuo suministro de agua que es química, bacteriológica y estéticamente agradable. Más específicamente, el tratamiento del líquido debe producir agua que sea:

1.-GRATA: Esto es, que no tenga un sabor desagradable.

2.-SALUDABLE: No debe contener ningún organismo patógeno o producto químico que pueda ser nocivo para el consumidor.

3.-LIMPIA: Libre de materia suspendida y turbidez.

4.-SIN COLOR Y SIN OLOR: Esto es, estética para el consumo.

5.-RAZONABLEMENTE BLANDA: Para permitir a los consumidores la higiene personal, y lavar la ropa y la vajilla sin el excesivo uso de detergentes o jabones.

6.-NO CORROSIVA: El agua no debe oxidar las tuberías o facilitar el lixiviado de metales de las tuberías o depósitos.

7.-BAJO CONTENIDO EN MATERIA ORGÁNICA: Un alto contenido en materia orgánica facilitará un indeseado crecimiento biológico en tuberías y depósitos de almacenamiento que pueda afectar a la calidad del agua suministrada.

Los consumidores esperan tener en sus grifos agua limpia y saludable las 24 horas del día, cada día. Aunque el agua que es antiestética, por ejemplo debido al color o a la turbidez, puede ser perfectamente sana para beber, los consumidores consideran que es imbebible y probablemente peligrosa para la salud. Los problemas no se originan solamente en los propios recursos, sino también durante el tratamiento, distribución y en el hogar del consumidor. (6)

I.4.-TRATAMIENTO DEL AGUA

Las plantas de tratamiento de agua deben ser capaces de producir un producto final de alta calidad independientemente de cual sea la demanda. Con la excepción de aguas subterráneas puras, todas las suministradas requieren una purificación. Aunque en teoría, la más sucia se puede purificar hasta calidad de potable, en la práctica incluso el tratamiento de agua relativamente pura para producir un agua final de una calidad estable, y en suficiente volumen, es técnicamente muy difícil. El tratamiento consiste en una serie de procesos los cuales operan generalmente en serie. (coagulación, floculación, sedimentación y filtración). Sin dejar de hacer mención sobre el proceso de captación y el de distribución como se menciona anteriormente en el párrafo de concepción del Sistema Cutzamala. (5,6)

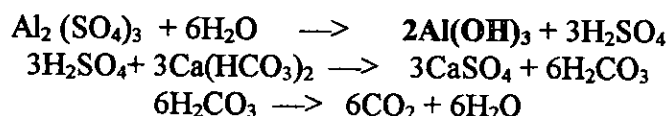
COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN

Muchas impurezas en el agua natural y en la residual están presentes como sólidos coloidales que no se sedimentan. Su remoción se puede lograr si se promueve la aglomeración de esta clase de partículas por floculación, con o sin el uso de un coagulante, seguida por procesos de sedimentación.

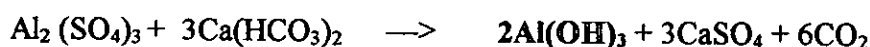
La coagulación desestabiliza estos coloides al neutralizar las fuerzas que los mantienen separados. Esto se logra por lo general, añadiendo coagulantes químicos y aplicando energía de mezclado. Las sustancias químicas de uso común son las sales de aluminio, las sales de hierro y los polielectrolitos.

Antes de que la floculación pueda efectuarse, es esencial dispersar el coagulante, cuya dosis normal es de 30 a 100 ppm en todo el cuerpo de agua. Esto se lleva a cabo en una cámara de mezclado rápido con una turbina de alta velocidad o agregando el coagulante en un punto de turbulencia hidráulica. El coagulante es una sal metálica que reacciona con la alcalinidad del agua para producir un flóculo insoluble de hidróxido del metal que incorpore a las partículas coloidales. Mediante la floculación de esta fina precipitación se producen sólidos sedimentables.

El coagulante más popular para el tratamiento de agua es el sulfato de aluminio (alumbre) $Al_2(SO_4)_3$ y las reacciones complejas que tienen lugar después de su adición al agua se simplifican como:



Esto es en general:



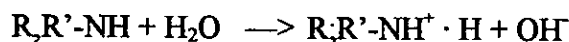
La solubilidad del $\text{Al}(\text{OH})_3$ depende del pH, la cual es baja entre un pH de 5 y de 7.5, fuera de estos límites la coagulación con sales de aluminio no tiene éxito. Otros coagulantes que algunas veces se usan son sulfato ferroso y cloruro férrico.

Las sales férricas dan coagulación satisfactoria arriba de un pH de 4.5, pero las sales ferrosas solo son adecuadas por encima de un pH de 9.5. Las sales de hierro son más baratas que el alumbre, pero, el hierro residual, en solución puede causar problemas principalmente por su propiedad de producir manchas en las máquinas lavadoras. (7)

Debido a la limitante que tienen los coagulantes metálicos como son el pH en el que funcionan mejor, fue necesario la introducción de Sílice activada como coagulante.

Posteriormente se desarrollaron diversos polímeros orgánicos, denominados polielectrólitos (tabla I.4.1). Los polielectrólitos son grandes moléculas orgánicas solubles en agua, formadas por bloques denominados monómeros, repetidos en una cadena larga. De ordinario incorporan en su estructura sitios para intercambio iónico que dan a la molécula una carga iónica. Aquellas que tienen una carga positiva son catiónicas y las que tienen carga negativa son aniónicas. Estas moléculas reaccionan con el material coloidal en el agua neutralizando la carga o enlazando partículas individuales para formar un precipitado visible e insoluble, esto es, un floculo. (7,8)

Los polielectrólitos catiónicos son poliaminas o aminas cuaternarias. Una poliamina se hidroliza en agua como sigue:



El ion oxidrilo (OH^-) favorece la reacción hacia la izquierda, de modo que los polímeros catiónicos se vuelven no iónicos cuando el pH es alcalino.

Los polímeros aniónicos incorporan en su estructura a un grupo carboxilo ($-\text{COOH}$). Este se ioniza como sigue:



El ion hidrógeno (H^+) favorece la reacción hacia la izquierda, de modo que los polímeros aniónicos se vuelven no iónicos cuando el pH ácido.

Tabla I.4.1: Algunas características de los polímeros orgánicos.

Clase	intervalos P.M.	Forma y disponibilidad
1.-Coagulantes catiónicos Poliaminas Policuaternarios Poli CDADMA Epi-DMA	Abajo de 100,000	Todos disponibles como soluciones acuosas
2.-Floculantes catiónicos Copolímeros de: Acrilamida y DMAEM Acrilamida y CDADMA Aminas Mannich	Arriba de 1,000,000	Polvos o emulsiones

3.-Floculantes no iónicos Poliacrilamidas	Arriba de 1,000,000	Polvos o emulsiones
4.-Floculantes aniónicos Poliacrilatos Copolimeros de acrilamida y acrilato	Arriba de 1,000,000	Polvos o emulsiones

Así como regla general, los polímeros catiónicos son diseñados para trabajar con valores bajos del pH, y los aniónicos con valores altos. Los no iónicos solo son debilmente influidos por el pH. (6)

A diferencia de los coagulantes metálicos, los polímeros no afectan el pH ni su desempeño es sensible al pH del agua tratada. (8)

SEDIMENTACIÓN

Muchas de las impurezas en el agua natural o en la residual existen como materia suspendida que permanece en tal condición en los líquidos que fluyen, pero que se mueven verticalmente debido a la influencia de la gravedad en condiciones estáticas o semi-estáticas. Como por lo regular las partículas son más densas que el líquido circundante, ocurre la sedimentación, pero si se trata de partículas muy pequeñas o de baja densidad, la flotación es el proceso de clarificación más recomendable. Las unidades de sedimentación tienen una función dual: la remoción de los sólidos sedimentables y la concentración de los sólidos removidos en un volumen mas pequeño de lodo.

Cuando se trata de suspensiones floculentas, no se aplica la Ley de Stokes "que supone la presencia de partículas discretas (que no cambian de tamaño o de forma durante la sedimentación). Cuando tal partícula se pone en un líquido de densidad más baja, se acelerará hasta que se alcance una velocidad terminal limitante". Debido a que la aglomeración de las partículas de floculo resulta en una mayor velocidad de sedimentación en el fondo, debido a la formación de partículas más grandes y pesadas.

De esta manera para el tratamiento de aguas se puede utilizar principalmente la sedimentación de clase 2, que no es más que la sedimentación de partículas floculentas que aumentan su velocidad durante el proceso, caso que no ocurre con la sedimentación clase 1 que se refiere a la sedimentación de partículas discretas.

Para partículas floculentas, la profundidad del tanque de sedimentación si afecta la remoción de sólidos ya que entre más profundo sea el tanque, es más probable que ocurra la aglomeración, lo que facilita la separación de una mayor proporción de sólidos.

Existen diferentes tipos de tanques de sedimentación que se utilizan en la práctica. El tanque *horizontal* es compacto pero la longitud del vertedor del efluente es corta. Los lodos se mueven del fondo por medio de un raspador. Los tanques *circulares* tienen la ventaja de que la longitud de vertedor es mayor y los mecanismos de raspado más simples, pero no son compactos. Los tanques *con fondo de tolva y flujo horizontal* son preferidos en las instalaciones pequeñas de agua residual en donde el costo extra de su construcción está más que compensado por la ausencia de mecanismos de raspado; el tanque *con fondo de tolva de flujo vertical*, se usa en las plantas de tratamiento de agua y su operación se basa en manto

de lodos que sirve para filtrar partículas más pequeñas que serían removidas únicamente por sedimentación a tasa de desbordamiento.

los tanques de sedimentación tienen dos funciones: La remoción de sólidos sedimentables para que el efluente sea aceptable y la concentración de los sólidos removidos en un volumen más pequeño. (7)

FILTRACIÓN

El filtrado de suspensiones por medios porosos, normalmente la arena, es una etapa importante en el tratamiento del agua potable para que alcance su clarificación final. Aunque cerca del 90% de la turbiedad y el color se eliminan durante la coagulación y la sedimentación cierta cantidad de floculo se pasa de los tanques de sedimentación, y mismo que debe separarse. El filtrado en arena se emplean también para dar tratamiento terciario a efluentes de agua residual. Otros usos del flujo en medios porosos son los lechos de intercambio iónico y las columnas de absorción, donde el objetivo no es quitar materia suspendida sino lograr el contacto entre dos sistemas.

Contrariamente a lo que se piensa, la remoción de materia suspendida en el lecho de un medio poroso no es una simple acción de colado. La remoción de sólidos depende de mecanismos de transporte tales como gravedad, intercepción, difusión, sedimentación y procesos hidrodinámicos. Una vez que es transportada a los poros de un lecho, la materia suspendida se mantiene ahí por mecanismos de adhesión a fuerzas fisico-químicas e intermoleculares.

Lavado del filtro: Con un filtro lento la penetración de los sólidos es superficial y su limpieza se logra: quitándolo, lavándolo y volviendo a colocar la capa superior del medio filtrante en intervalos de unos cuantos meses. El filtro rápido se obstruye más rápido debido a que su carga hidráulica es mas alta y los sólidos penetran a mayor profundidad en el lecho. La limpieza se logra por el retrolavado a una velocidad de diez veces superior a la velocidad normal del filtrado. El flujo hacia arriba de agua expande el lecho, lo que produce una condición fluidizada en la que el desecho acumulado es desprendido de las partículas. El estregado con aire comprimido antes de o al mismo tiempo que el retrolavado inverso, mejora la limpieza y reduce el consumo de agua en el lavado.

Tipos de filtro: En la industria del agua se han usado por muchos años dos tipos básicos de filtros; en la (tabla I.4.2) se resumen algunas características principales.

Tabla I.4.2: Algunas características de los principales filtros.

Características	Filtro lento	Filtro rápido
Tasa de filtrado m ³ /m ² d	1-4	100-200
Profundidad del lecho m	1 (sin estratificar)	0.5-0.8 (Estratificado)
Tamaño del lecho m ²	Cerca de 2000	Cerca de 100
Tamaño de la arena mm.	0.5-1.0	0.5-1.5
Pérdida de carga máxima m	1	2.5
Duración de la corrida días	20-90	1-5

La limpieza de los filtros lentos es costosa, ya que se tiene que quitar y lavar una capa pocos centímetros de la parte superior del lecho. Por esta razón, es importante que no se usen filtros lentos con aguas crudas que regularmente tengan más de 20 unidades de turbiedad. En consecuencia, no son adecuados para usarse después de la coagulación química, en la cual hay inevitablemente algún acarreo de flóculo.

Los filtros rápidos, que se usan ampliamente en el tratamiento de agua y en el tratamiento terciario de efluentes, operan bajo condiciones de gravedad pero se pueden usar como filtros a presión en circunstancias en la que no se desea tener una superficie libre de agua y así destruir la carga. (7)

DESHIDRATACIÓN Y ELIMINACIÓN DE LODOS

Uno de los principales problemas en el tratamiento de agua natural o agua residual es el de la eliminación de los lodos. En los tanques de sedimentación se producen grandes volúmenes de lodos con alto contenido de agua y su deshidratación y eliminación final pueden representar casi la mitad del costo del tratamiento debido a que se necesita un mayor gasto de energía para transportarlos a un espesador de lodos donde son tratados con polímeros para eliminar la mayor cantidad de agua, además de las operaciones unitarias que están involucradas. (7)

PRINCIPIOS DE LA DESHIDRATACIÓN

Son cinco los tipos de lodo que se producen en los procesos de tratamiento.

- 1.-Lodos primarios de la sedimentación del agua residual.
- 2.-Lodos secundarios del tratamiento biológico del agua residual.
- 3.-Formas digeridas de los dos anteriores en forma separada o mezclada.
- 4.-Lodo de hidróxido por la coagulación y sedimentación de las aguas y desechos industriales.
- 5.-Lodos de precipitación de las plantas de ablandamiento y del tratamiento de desechos industriales.

La principal preocupación en el tratamiento de lodos es concentrar los sólidos por medio de la remoción de tanta agua como sea posible. La densidad y la naturaleza de las partículas de sólidos tiene una influencia considerable en el grosor del lodo producido. (7)

ACONDICIONAMIENTO DE LODOS

Para mejorar la eficiencia del proceso de la deshidratación es útil aplicar una etapa preliminar de acondicionamiento para eliminar tanta agua como sea posible de las partículas de lodo. El objeto de este tratamiento preliminar es facilitar la aglomeración de sólidos y aumentar su contenido. Para este fin se emplean varios métodos de acondicionamiento, lo que depende de las características del lodo que se va a tratar:

- 1.-ESPESAMIENTO. Con muchos lodos flocculentos, especialmente los excedentes de los activados, el agitado a baja velocidad en un tanque con un mecanismo de tipo de cerca con estacas estimula una floculación mayor y puede aumentar significativamente el contenido de

sólidos y la capacidad de sedimentación al mismo tiempo que permite el retiro del sobrenadante.

2.-ACONDICIONAMIENTO QUÍMICO. Los coagulantes químicos pueden ser útiles en la promoción de la aglomeración de las partículas de flóculo y en la liberación de agua.- Los más comunes son: sulfato de aluminio, clorhidrato de aluminio, sales de hierro, cal y polielectrolitos o ambos. El costo de estos reactivos está más que compensado por el aumento en el contenido de sólidos y la mejora en las características de deshidratado que resultan de su uso.

3.-ELUTRIACION. El requerimiento químico para el acondicionamiento se puede reducir si se mezcla el lodo con agua o efluente, se permite que se sedimente y se retira el sobrenadante antes de agregar las sustancias químicas. Este proceso de lavado quita mucho de la alcalinidad que en los lodos digeridos ejerce una alta demanda química.

4.-TRATAMIENTO CON CALOR. Se han empleado varios procesos para calentar los lodos de agua residual bajo presión con el fin de estabilizar la materia orgánica y mejorar su capacidad de deshidratación. (5)

DESHIDRATACIÓN DE LODOS

En muchos de los métodos de eliminación de lodos, la deshidratación preliminar es esencial para que los costos de la eliminación se mantengan bajo control.

Se emplean varios métodos de deshidratación lo que depende del terreno disponible y los costos relacionados con una situación particular. (7)

LECHOS DE SECADO.

El proceso de deshidratación mas sencillo y más antiguo es el que usa lechos rectangulares poco profundos con fondos porosos arriba de una red de drenaje subterráneo. Los lechos se dividen en áreas convencionales con paredes bajas. El lodo se pasa a los lechos hasta que la profundidad es de 125 a 250 mm.; la deshidratación tiene lugar debido al drenaje de las capas inferiores y a la evaporación de la superficie bajo la acción del sol y del viento. La pasta se agrieta a medida que se seca, lo que permite mayor evaporación y el escape del agua de lluvia de la superficie. (7)

FILTRADO DE PRESIÓN

El filtrado de presión es un proceso intermitente en el que se bombea lodo acondicionado con presión creciente en cámaras revestidas con telas de fieltro; estas cámaras retienen los sólidos pero permiten que el líquido escape por las estrías que tienen las placas metálicas de apoyo. (7)

FILTRADO AL VACÍO

Este es un proceso continuo en el cual un tambor giratorio segmentado cubierto con tela de fieltro se sumerge parcialmente en lodo acondicionado. Se forma un vacío de 90 KPa

en los segmentos sumergidos para que el lodo se adhiera a la superficie de la tela. A medida que gira el tambor y la capa de lodo emerge del tanque, se jala aire a través de éste por el vacío para ayudar a la deshidratación. (7)

CENTRIFUGACIÓN

Las centrífugas de operación continua tienen aplicación en el deshidratado de lodos. La mayoría son del tipo de carcaza sólida en el cual se alimenta lodo acondicionado al centro de una carcaza que gira rápidamente. Los sólidos son lanzados a la orilla exterior de donde son removidos por un raspador-transportador. (7)

ELIMINACIÓN DE LODOS

El lodo de agua residual tiene valor como acondicionador de suelos ya que contiene cantidades importantes de nitrógeno y fósforo. Los lodos que se provienen de instalaciones sin descargas industriales importantes pueden ser destinados de inmediato a los terrenos agrícolas. Con lodos que contienen materiales potencialmente tóxicos, como metales pesados, no es posible utilizar la tierra agrícola para su desecho. Frecuentemente se requiere una digestión anaerobia de los lodos anterior a la disposición en tierra, para asegurar la destrucción de los microorganismos patógenos que pudieran estar presentes en el lodo crudo. La aplicación del lodo a la tierra agrícola se hace cuando esta aun húmedo.

Una gran cantidad de lodos se arroja en canteras viejas y sitios similares. Esta practica de rellenar con lodo deshidratado hace posible la recuperación de terrenos agotados. Siempre se debe tener en mente la posibilidad de que el agua subterránea se contamine como resultado de tales prácticas. En áreas costeras es muy común desechar el lodo líquido en el mar en lugares de aguas profundas; hay poca evidencia de daño ambiental importante causado por tales acciones cuando se controlan apropiadamente. Sin embargo, algunas autoridades prohíben ahora echar lodos de agua residual en el mar.

El comportamiento de lodos de agua residual con basura doméstica produce un material estable con buenas propiedades como acondicionador de suelos, pero con poca reducción en volumen. Por esta razón, la fabricación de composta sólo es justificable si hay un mercado para el producto. Todo el lodo del agua residual y toda la basura de una comunidad producen una mezcla muy húmeda para hacer la composta y es necesario deshidratar el lodo para tener un 25% de sólidos y que el proceso opere satisfactoriamente.

Cuando no se cuenta con sitios para desechar los lodos a una distancia que resulte económica, o si el lodo contiene materias tóxicas, la mejor solución es incinerarlo. Esta operación se lleva acabo en hornos de hogar múltiple; la operación es normalmente autosustentable cuando los lodos de agua residual se deshidratan hasta un 25% en solidos. Después de la incineración la ceniza residual equivale únicamente al 5% o 10% de los solidos originales con lo que disminuye en gran parte el problema de la eliminación. Sin embargo, desechar los lodos de esta manera significa un gran costo de capital y un costo de operación considerable.

El volumen y naturaleza de los lodos producidos en las operaciones de tratamientos de agua son tales que su disposición no causa normalmente grandes problemas. Son prácticas comunes desecharlos en tierra, lagunas o por medio de filtrado de presión con

eliminación en tiraderos. Los lodos con hidróxido de aluminio no tienen valor como fertilizante, pero los lodos de cal que se obtienen de las operaciones de ablandamiento tienen un valor considerable en la agricultura. (7)

I.5.-CALIDAD DE AGUA POTABLE

Las técnicas de tratamiento de agua requieren un límite de la concentración de los químicos, coagulantes, polímeros y sus aplicaciones.

QUÍMICOS INORGÁNICOS

Las fuentes de trazas de metales se asocia con las actividades humanas y manufactura y procesos naturales. La corrosión en la distribución de agua por pipas y tuberías puede desprender trazas de metales al llevar el agua de un lugar a otro.

Arsénico, bario, cadmio, cromo, mercurio, níquel, selenio y talio, son metales tóxicos que afectan los órganos internos y la sangre en humanos. El arsénico está distribuido en agua a bajas concentraciones y algunas veces a altas concentraciones. El bario se encuentra en bajas concentraciones en aguas superficiales y en muchas aguas tratadas. El cadmio puede estar presente en aguas superficiales en cantidades significativas para el humano. El cromo se encuentra en las rocas en su forma insoluble se encuentra en aguas naturales en cantidades extremadamente bajas. El mercurio es un elemento escaso en la naturaleza con aplicaciones como fungicida (metilmercurio) que contamina las aguas, los síntomas por ingestión son disturbio mental y pérdida del habla, oído, visión y movimiento. El níquel, sus sales, causan irritación gastrointestinal con toxicidad. El selenio es un metal natural que se encuentra en rocas en forma de trazas, está presente en el aire, suelo, polvo, pinturas, comida y agua, causa efectos de toxicidad en células sanguíneas rojas, sistema nervioso y riñones. (9)

NITRATOS: ORIGEN EN EL AGUA.

El fertilizante de nitrato es el producto químico más importante y el más utilizado en la agricultura.

Hay dos orígenes principales de la contaminación por nitratos en los recursos de agua. (1) El nitrato se libera cuando la materia orgánica se descompone por las bacterias del suelo. Sin embargo, si los cultivos no están en crecimiento entonces el nitrato producido por la acción microbiana no es utilizado por las plantas y así es arrastrado del suelo por el agua de lluvia hasta el acuífero contaminando el agua subterránea. (2) Los agricultores añaden directamente el nitrógeno inorgánico a los campos en forma de fertilizantes artificiales. Donde la aplicación excede las necesidades de la planta o la habilidad de la planta para utilizar el nitrato, entonces el exceso o bien se quedará ligado al suelo o, lo más seguro, será

arrastrado del suelo por la lluvia tanto a las aguas superficiales como a las aguas subterráneas. (6)

EFFECTOS EN LOS CONSUMIDORES.

Todas las consideraciones sanitarias relativas a los nitratos están relacionadas a su conversión a nitritos, que es una molécula relativamente asociada a numerosos problemas, la conversión más común a compuestos N-nitrosos, la formación de la meta hemoglobina y cáncer.

En el tracto gastrointestinal, los nitritos reaccionan con ciertos compuestos de los alimentos en condiciones de acidez para producir compuestos N-nitrosos con aminas y amidas. Muchos de estos compuestos se conocen como carcinógenos.

La principal preocupación asociada con la alta concentración de nitratos en el agua potable es el desarrollo de meta hemoglobinemia en bebés. Para causar un aumento de los niveles meta hemoglobina en sangre, el nitrato se debe reducir primero a nitrito, como nitrato solo no causa la enfermedad. El nitrito se combina con la hemoglobina en las células rojas de la sangre para formar la meta hemoglobina, que es incapaz de transportar el oxígeno y así se reduce la captación de oxígeno en los pulmones. (6)

PESTICIDAS Y MICROCONTAMINANTES ORGÁNICOS

MICROCONTAMINANTES ORGÁNICOS.

Los compuestos orgánicos encontrados en el agua potable se dividen en tres amplios grupos: (1) Compuestos orgánicos de origen natural; (2) compuestos orgánicos sintéticos (producidos por el hombre); y (3) compuestos orgánicos sintetizados durante el tratamiento del agua (subproductos clorados).

Un gran número de compuestos orgánicos se encuentran en forma natural así como sintetizados para usos industriales (como disolventes, compuestos de limpieza, desengrasantes, productos petrolíferos, productos plásticos y, desde luego, sus derivados) y para usos agrícolas (principalmente pesticidas).

Los microcontaminantes orgánicos, incluyendo los pesticidas, son similares a los nitratos en que su toxicidad no se debe atribuir solamente al agua potable, están localizados en el medio ambiente y se encuentran en los alimentos e incluso en el aire. Son también similares a los nitratos en que muchos de ellos percolan dentro del suelo y se acumulan en los acuíferos o en las aguas superficiales.

Los microcontaminantes como el DDT, están presentes en el agua en cantidades infinitesimales. Las concentraciones que se pueden manejar para estos a diferencia de los contaminantes inorgánicos(mg./L), son las cantidades de micro gramos por litro(mcg/L) que es lo mismo 0,001 mg./L, ejemplos de estos son (cloronitrobenceno y anilina, entre otros). (6)

QUIMICOS ORGÁNICOS

Los químicos orgánicos en agua para beber se encuentran en forma de trazas, algunos en concentración baja que un efecto potencial en humanos sería difícil. A largo plazo algunos estudios revelan que la exposición a estos al ser ingeridos producen enfermedades crónicas y riesgo carcinógeno. (9)

QUIMICOS ORGÁNICOS VOLÁTILES (QOV)

Alcohol, cloroformo, benceno, dioxano, etc, son producidos en grandes cantidades por la industria, comercios, agricultura y actividades domésticas. Los efectos adversos producidos por los QOV. incluyen cáncer y efectos crónicos en riñon y sistema nervioso. La volatilidad reduce en aguas superficiales al ser más fácilmente evaporados, algunos de estos son, hexano, benceno, dioxano, etc. (9)

QUIMICOS ORGÁNICOS SINTÉTICOS (QOS)

La gran fuente de contaminación en agua potable son los pesticidas, otros son los plásticos y sus derivados, insecticidas y herbicidas, todos estos pueden estar presentes en aguas superficiales. Algunos pesticidas son absorbidos por la sangre, pulmones, piel tracto gastrointestinal. Los síntomas son vértigo, visión borrosa, náuseas y dolor abdominal.

Los pesticidas se pueden clasificar por usos como: un insecticida, un hervicida o un fungicida. Se utilizan tanto para matar un amplio espectro de plagas o grupos específicos o especies de plagas. Aunque los herbicidas son con mucho el grupo más grande en cuanto a número de compuestos y utilización, han sido los insecticidas los que han poseído, en el pasado, los mayores riesgos para la salud y el medio ambiente. Hay cuatro grupos principales de insecticidas: organoclorados; organofosforados; carbamatos y piretrinas.

Los compuestos organoclorados (DDT, Lindano y Aldrin), están relacionados con la afección del sistema nervioso central e hígado. Los compuestos organofosforados utilizados como pesticidas (malation, diazinon y dicloros) están muy relacionados con los gases nerviosos. Los carbamatos son sustancias de origen natural se encontró que eran unos insecticidas efectivos. También atacan el sistema nervioso central. Las piretrinas son compuestos de origen natural aunque en la actualidad se fabrican de síntesis. son relativamente no tóxicos y muy empleadas por jardineros.

En general, el envenenamiento por pesticidas puede suceder rápidamente. Los efectos agudos son náuseas, vértigo, respiración dificultosa y finalmente inconsciencia y muerte. Los más comunes son los efectos a corto plazo de una exposición cuando los pesticidas pueden actuar como irritantes, afectando la piel, pulmones, ojos y tracto intestinal. (6,9)

CONTAMINACION POR TRIHALOMETANOS

Los trihalometanos son organohalogenos derivados del metano cuando tres de sus cuatro átomos de hidrógeno son reemplazados por tres átomos de cloro, bromo o yodo. Algunos organohalogenos detectados en aguas potables son el cloroformo (triclorometano), bromodiclorometano, dibromoclorometano, tribromometano y dicloroyodometano. El cloroformo es el trihalometano más comunmente encontrado en agua potable está usualmente presente a altas concentraciones.

Los trihalometanos son producidos durante el tratamiento de aguas superficiales como resultado de la interacción química del cloro aplicado para la desinfección y sustancias orgánicas naturales presentes en el agua. Las sustancias naturales orgánicas incluyen, ácido húmico y ácido fúlvico producidos por la vegetación. La reacción general que producen los trihalometanos es:



La formación de trihalometanos no es instantánea pero continua por un período extenso de cloración. La cloración del agua tiene un límite (3.5 ppm) para que exista un total de trihalometanos en el agua potable de tal manera que no causen carcinogenicidad en el humano. (9)

OLOR Y SABOR.

En su estado puro el agua es tanto inodora como o insípida; sin embargo, Cuando sustancias orgánicas e inorgánicas se disuelven en el agua, comienza a adquirir un sabor característico y algunas veces olor. Generalmente, las sales inorgánicas a las concentraciones encontradas de forma natural en agua potable no afectan adversamente al sabor, de hecho, muchas de las botellas de agua mineral se compran por sus sales características o su sabor sulfuroso. tanto los olores como los sabores están originados por la interacción de muchas sustancias presentes. Estas pueden incluir partículas sólidas, vegetación muerta, organismos (plancton, bacterias, hongos), varias sales inorgánicas (por ejemplo, cloruros y sulfuros de sodio, calcio, hierro y manganeso), compuestos orgánicos y gases. (6)

CLASIFICACIÓN

Los problemas de olores se clasifican según el origen de las sustancias causantes del problema. Las sustancias pueden estar presentes en el agua bruta, pueden ser añadidas o formadas durante el tratamiento de agua, o pueden aparecer en la distribución o en las tuberías domésticas. Desde luego la calidad del agua bruta frecuentemente contribuirá a la producción de olores durante el tratamiento y la distribución.

No está siempre clara la identificación del origen de un olor o sabor en el agua potable. Hay 7 causas comunes:

1.-Vegetación pútrida. Las algas cuando se pudren producen olores a pescado, hierba y a hongos y ciertas especies pueden originar serios problemas organolépticos cuando están vivas.

- 2.-*Mohos y Actinomicetales*. Estos organismos producen olores y sabores a hongo a tierra y a moho. Tienden a encontrarse donde el agua se deja estancada dentro de las tuberías y también cuando el agua está tibia.
- 3.-Bacterias férricas y sulfurosas. Ambas bacterias producen depósitos que liberan olores desagradables cuando se descomponen.
- 4.-Hierro, manganeso, cobre y zinc. Todos los productos de la corrosión de los metales le dan al agua un cierto sabor amargo.
- 5.-Cloruro sódico. Cantidades excesivas de cloruro sódico harán que el agua sepa inicialmente insípida, después progresivamente salada.
- 6.-Desechos industriales. Muchos desechos y subproductos producidos por la industria pueden impartir al agua un fuerte sabor y olor a medicina o producto químico. Los compuestos fenólicos que forman los clorofenoles en la cloración son un problema particular.
- 7.-Cloración. La cloración por si mismo no produce un olor o sabor pronunciado a no ser que el agua se sobre dosifique durante la desinfección, El cloro reaccionará con una amplia variedad de compuestos para producir compuestos clorados, muchos de los cuales dan al agua un sabor a cloro. (6)

SUSTANCIAS DE ORIGEN NATURAL QUE ORIGINAN OLORES.

La mayoría de los problemas de olores en los suministros de las aguas brutas tratadas incluyen sustancias orgánicas de origen natural, principalmente de algas y/o vegetación pútrida. Grandes cultivos de algas pueden estar presentes en los embalses sin que causen ningún problema. Sin embargo hay unas algas poco comunes que producen subproductos orgánicos como aceites esenciales que pueden producir olores desagradables incluso cuando las algas están presentes en pequeño número el olor se forma cuando estos materiales se liberan dentro del agua, normalmente cuando mueren las algas.

Hay 4 grupos principales de algas que son capaces de originar problemas de olores:

- 1.-Algas verde azuladas (*Cyanophyceae*). Los géneros importantes (grupos) son *Anabaema*, *Anacytis*, *Aphanizomenon*, *Gomphosphaeria* y *Oscillatoria*. Estas generalmente dan un olor que comienza a hierba y que cuando se intensifica termina en olor a cerdo, casi séptico, cuando las células se desintegran. Algunas algas pueden producir sustancias tóxicas.
- 2.-Diatomeas (*Bacillariophyceae*). Géneros importantes son *Asterionella*, *Fragillarina*, *Melosira*, *Tabellaria* y *Synedra*. Segregan aceites que dan un olor a pescado o aromático. Cuando están presentes en una densidad moderada entonces producen un olor a geranios (*Asterionella* y *Tabellaria*).
- 3.-Algas verdes (*Chlorophyceae*). Pueden dar un olor a pescado o hierba. Géneros importantes son *Volvox* y *Staurastrum*.
- 4.-Algas doradas (*Chrysophyceae*). Pueden producir olores picantes. *Uroglenopsis* puede producir un fuerte olor a pescado, mientras que *Symura* produce un olor a pepino en bajo número, un olor a pescado en número moderado y un olor a cerdo en alto número. (6)

CONTAMINANTES SINTÉTICOS CAUSANTES DE OLORES.

Hay un gran número de contaminantes orgánicos industriales que aparecen en las aguas superficiales y subterráneas que son desagradables en un sentido organoléptico (por ejemplo, alquil bencenos, clorobencenos, alcanos, benzaldéidos y benzotiazoles). Conforme estos productos se degradan sus productos de descomposición son frecuentemente incluso más desagradables. (6)

HIERRO Y MANGANESO

HIERRO

El hierro es un metal extraordinariamente común y se encuentra en grandes cantidades en suelos y rocas, aunque normalmente en forma insoluble. Sin embargo, debido a un gran número de complejas reacciones que se suceden en forma natural en el suelo, se pueden formar formas solubles del hierro que pueden contaminar cualquier agua que lo atraviese. Por tanto el exceso de hierro es un fenómeno común de las aguas subterráneas, especialmente aquellas encontradas en zonas de aguas subterráneas blandas.

El hierro es un elemento esencial y es muy difícil que origine una amenaza para la salud en las concentraciones que ocasionalmente se registran en los suministros de agua. (6)

MANGANESO

El manganeso también se encuentra ampliamente en minerales y rocas, y como el hierro aparece en las aguas subterráneas debido a las condiciones reductoras de los suelos y rocas convirtiéndolo en una forma soluble. Una vez expuesto al aire por la aireación, el manganeso se oxida a su forma insoluble y se deposita. Es idéntico al hierro en todos los aspectos y en el fondo provoca los mismos problemas de sabor, decoloración y manchas. Las manchas son mucho más severas, con el manganeso que con el hierro, así como es inaceptable el sabor que da el agua. (6)

ELIMINACIÓN POR TRATAMIENTO

El hierro se puede separar de la disolución por precipitación, por una combinación de aireación del agua e incremento del pH antes de la filtración. El manganeso es más difícil de eliminarlo ya que requiere un pH entre 8.5 a 9.0, donde la aireación juega un menor papel. El problema de utilizar tan elevado pH en la eliminación del manganeso es que cualquier resto que quede de coagulante de aluminio insoluble en el agua después de la sedimentación se disolverá. Para superar esto se necesitan dos etapas de filtración, la primera para eliminar la turbidez y coagulante y la segunda para eliminar el manganeso a un pH superior. Este pH superior también significa que la desinfección con cloro se requerirá alrededor de tres veces más de cloro residual a pH 9 que a pH 8. (6)

DUREZA

La dureza o blandura del agua varia de un lugar a otro y refleja la naturaleza de la geología del área a la cual ha estado en contacto con el agua. En general las aguas superficiales son más blandas que las aguas subterráneas, aunque no es siempre este el caso. Las aguas duras están asociadas a cuencas de captación de creta y caliza, mientras que las aguas blandas están asociadas con rocas impermeables como el granito. (tabla I.5.1) (6)

Tabla I.5.1.-Clasificación de dureza utilizada para las aguas

Clasificación	
Concentración (mg/L)	Grado de dureza
0 - 50	Blanda
51 - 100	Moderadamente blanda
101 - 150	Ligeramente duro
151 - 250	Moderadamente dura
251 - 350	Dura
351 en adelante	Excesivamente dura

QUÍMICA DE LA DUREZA

La dureza está causada por cationes como el calcio (Ca^{2+}), pero de hecho todos los cationes divalentes originan dureza (tabla I.5.2). Reaccionan con ciertos aniones tales como carbonato o sulfato para formar un precipitado. Los cationes monovalentes como el sodio (Na^+) no afectan a la dureza.

Estroncio, ion ferroso (Fe^{2+}) y manganeso son generalmente componentes tan minoritarios de la dureza que generalmente son ignorados, tomándose como dureza total la suma de las concentraciones de calcio y magnesio. Aluminio³⁺ (Al^{3+}) y el ion férrico (Fe^{3+}) pueden afectar a la dureza pero su solubilidad es limitada al pH de las aguas naturales, de modo que estas concentraciones iónicas pueden considerarse despreciables. El bario puede también originar dureza, pero su concentración en el agua normalmente es extremadamente baja. La dureza total ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$) se expresa en mg./L de CaCO_3 .(tabla I.5.2). (6)

Tabla I.5.2.-Principales cationes metálicos que causan la dureza y los principales aniones asociados con ellos.

Cationes	Aniones
Calcio (Ca^{2+})	Carbonato ácido (HCO_3^-)
Magnésio (Mg^{2+})	Sulfato (SO_4^{2-})
Estroncio (Sr^{2+})	Cloruro (Cl^-)
Fierro (Fe^{2+})	Nitrato (NO_3^-)
Manganeso (Mn^{2+})	Silicato (SiO_3^{2-})

ASPECTOS RELATIVOS A LA SALUD

Un considerable número de estudios, principalmente en USA, han indicado una correlación entre la dureza de sólidos disueltos totales y mortalidad, especialmente en enfermedades cardiovasculares. Un estudio realizado en el Reino Unido publicado en 1982 confirmó que la mortalidad por enfermedades cardiovasculares estaba estrechamente relacionada con la dureza del agua, con un descenso de mortalidad conforme la dureza se incrementaba. El efecto se presentaba tanto para el ataque al corazón como para enfermedades sistémicas, pero no para enfermedades no cardiovasculares. La diferencia en la relación de mortalidad entre las áreas de aguas blandas (alrededor de 25 mg. CaCO₃ /L) y las áreas de aguas duras estaban desde un 10 hasta un 15%. Esto está en concordancia con los datos anteriores de un descenso de la mortalidad en un 0.8% con cada incremento de 10 mg. CaCO₃ /L en la dureza hasta los 170 mg. CaCO₃ /L. (6)

CALIDAD MICROBIOLÓGICA DE AGUA POTABLE

El agua potable debe estar libre de microorganismos patógenos, virus, bacterias, protozoos y helmintos que pueden ser transportados por el agua y transmitir enfermedades. Los test de agua para la diversidad de patógenos son un tanto difíciles para los análisis de laboratorio y no son muy reproducibles. Por lo tanto, la calidad microbiológica del agua potable es controlada por tratamientos específicos y monitoreado por la presencia de bacterias Coliformes.

La desinfección de aguas superficiales es definida por técnicas de tratamiento, para remover los protozoos del agua es por medio de la coagulación química y la filtración, (*Giardia* y *Cryptosporidium*) que son resistentes a la cloración residual. La inactivación y la remoción de virus entéricos es por tratamiento químico, comúnmente la cloración. Una efectiva coagulación y filtración de las aguas tratadas es determinada por la turbiedad. (9)

PATÓGENOS

Hay tres grupos de microorganismos diferentes que se pueden transmitir a través del agua potable: virus, bacterias y protozoos. La transmisión de todos ellos se realiza por vía fecal-oral y se produce principalmente por la contaminación, tanto directa como indirecta, de los recursos de agua por aguas residuales o en ocasiones por desechos de animales. Es teóricamente posible, pero improbable, que otros organismos patógenos tales como nemátodos (lombrices y anquilostomas) y cestodos (*tenia*) se puedan transmitir a través del agua potable. (6)

PROTOZOARIOS

Hay dos protozoos que frecuentemente se encuentran en el agua potable que se conocen que sean responsables de epidemias. Estos son *Cryptosporidium* y *Giardia lamblia*.

Cryptosporidium

Este protozoo parásito está ampliamente distribuido en la naturaleza infectando a un gran número de animales hospedadores incluyendo animales de compañía y de granjas. Sin embargo, relativamente poco se ha encontrado que es también un patógeno humano. El primer caso registrado de infección humana ocurrió hace poco tiempo, en 1976. El problema está en que el protozoo presenta estados protegidos conocidos como oocistos que les permiten sobrevivir durante largos períodos mientras esperan ser ingeridos por el hospedador. Son también capaces de completar su ciclo de vida en un mismo hospedador así como de tener capacidad de provocar una autoinfección. Una vez infectado, el hospedador es un portador durante todo su ciclo vital y está sujeto a recaídas. En pacientes normales el protozoo provoca unas limitadas gastroenteritis las cuales pueden perdurar hasta dos semanas. En pacientes inmunodepresivos la infección será una amenaza de por vida. (6)

Giardia

Como el *Cryptosporidium*, la *Giardia lamblia* se encuentra en un amplio rango de animales, donde vive en forma libre (trococito) en los intestinos. En los recursos de agua los quistes de *Giardia* a diferencia de aquellos del *Cryptosporidium* que son redondos, son ovalados y alargados (8-14mcm de largo y 7-10mcm de ancho). El protozoo intestinal origina diarreas agudas y está distribuido por todo el mundo.

Giardia es el parásito más común de los humanos en el mundo desarrollado, aunque es probable que el agua no sea el modo más común de transmisión. Sin embargo, *Giardia* permanece como una de las causas más comunes de enfermedades transmitidas por el agua.

Los síntomas de giardiasis se desarrollan entre la primera y la cuarta semana después de la infección. Estos incluyen sudoración repentina, diarrea hedionda, gases en el estómago o intestino, náuseas y, nada sorprendente, una pérdida de apetito. A diferencia de *Cryptosporidium*, *Giardia* puede ser tratada con numerosos fármacos, pero no hay medio de prevenir la infección excepto el adecuado tratamiento del agua. Hervir el agua durante 20 minutos esto matará los quistes. (6)

VIRUS

Los virus están constituidos por un núcleo de ácido nucleico (ARN o ADN) rodeado por una cubierta proteica. No se puede reproducir por una célula hospedadora, pero pueden sobrevivir en el medio ambiente durante largos periodos. Los virus entéricos humanos son producidos en grandes cantidades por el individuo afectado y se excretan en las heces. Generalmente pasan sin verse afectados a través de la planta de tratamiento de aguas residuales y así se encuentran en las aguas superficiales.

Hepatitis infecciosa, *Enterovirus*, *Retrovirus* y *Adenovirus*, se piensa que todos son transmitidos vía el agua.

Enterovirus, virus de la *poliomelitis*, *coxsackievirus* y *ecovirus*, todos producen infecciones respiratorias y están presentes en las heces de las personas infectadas. Se piensa que el *reovirus* está asociado a la gastroenteritis mientras que el *adenovirus* 3 está asociado con las piscinas y origina fiebre faringoconjuntivitis.

La mayoría de los virus permanecen viables en el agua a bajas temperaturas durante varias semanas, siempre que haya algo de materia orgánica presente. Se han encontrado virus en suministros de aguas superficiales y subterráneas

El virus *Norwalk* origina severas diarreas o vómitos. Es de particular preocupación para la industria del agua que parece que no se ve afectado por los niveles normales de cloración. (6)

BACTERIAS

Las bacterias son el grupo más importante en cuanto a frecuencia de detección en el agua potable y de epidemias de enfermedades registradas. Las enfermedades por bacterias más importantes están comúnmente asociadas con la contaminación fecal del agua. Por ejemplo, en regiones templadas estas incluyen *Salmonella* (tifoidea y paratifoidea), *Campylobacter*, *Shigella* (disentería bacteriana), *Vibrio cholerae* (cólera), *Escherichia coli* y *Mycobacterium* (tuberculosis).

Salmonelosis

Los varios serotipos que conforman el genero *Salmonella* son ahora, posiblemente, el grupo más importante de bacterias que afectan la salud publica de humanos y animales. La *Salmonella* se presenta comúnmente en el agua bruta pero solo ocasionalmente se la ha aislado en las aguas finales, ya que la cloración es altamente efectiva para controlar la bacteria. Los síntomas típicos de la salmonelosis son gastroenteritis aguda con diarrea, frecuentemente asociada con dolores abdominales fuertes, fiebre, náuseas, vómitos, dolores de cabeza y en casos graves incluso colapsos y posible muerte. Comparada con los animales de granja la incidencia de la salmonelosis en los humanos es baja y muestra una variación estacional diferente. (6)

Campylobacter

Los *Campylobacter* son bacterias curvas en espiral de 2.000-5.000 nm de longitud consistentes de 2-6 anillos. Aunque descubierta a finales del siglo XIX no fueron aisladas de heces de diarrea hasta 1972. El agua se contamina tanto directamente con aguas residuales que son ricas en *Campylobacter* como indirectamente en las heces de animales. Hay una variación estacional definida en el número de *Campylobacter* en el agua de río, apareciendo un mayor número en otoño e invierno. (6)

Shigella

La *Shigella* origina disentería bacteriana y es la causa más frecuente del diagnóstico de la diarrea. El género de la bacteria es un poco similar epidemiológicamente al de la *Salmonella*, excepto que el de la *Shigella* raramente afecta a animales y no sobrevive tan bien en el medio ambiente. Sin embargo, ha habido un incremento significativo en el número

de epidemias originadas por la pobre calidad del agua potable contaminada con aguas residuales. (6)

Echerichia coli enteropatógena

Hay 14 diferentes serotipos de *Echerichia coli* las cuales causan gastroenteritis, en humanos y animales, siendo especialmente serias en bebés recién nacidos y niños menores de 5 años de edad. Los síntomas son diarreas líquidas abundantes, con mucosa, náuseas y deshidratación. La enfermedad no causa ninguna fiebre y raramente es seria en adultos. La enteropatógena *E. coli* se aísla comúnmente en las aguas residuales pero probablemente represente menos del 1% del total de coliformes presentes en el agua contaminada. Sin embargo, solamente se necesitan 100 organismos para producir la indisposición. La supervivencia de los organismos es la misma que para otros serotipos de la *E. coli* y en condiciones de calor y ricas de nutrientes es capaz de multiplicarse en el agua. (6)

Cholera

Se piensa que el cólera tiene su origen en el lejano oriente, donde ha sido endémico en la india durante muchos siglos. En el siglo XIX la enfermedad se extendió por toda Europa donde fue finalmente eliminada con el desarrollo de suministros de agua sin contaminar, tratamiento de aguas y mejor sanidad. Es todavía endémica en muchas áreas del mundo, especialmente aquellas que no tienen una adecuada sanidad y, en particular en situaciones donde los suministros de agua están continuamente contaminados con aguas residuales. Es una dolencia intestinal con síntomas característicos, por ejemplo, diarrea repentina con copiosas heces líquidas, vómitos, supresión de la orina, rápida deshidratación, descenso de la temperatura y de la presión sanguínea y colapso completo. Sin embargo la enfermedad tiene una proporción de 60% de muertes, los pacientes mueren a las pocas horas de mostrar los primeros síntomas, aunque con un tratamiento adecuado la proporción de muertes se puede reducir a menos del 1%. La bacteria se inactiva rápidamente en condiciones desfavorables, como alta acidez o un alto contenido de materia orgánica en el agua. En frío, aguas sin contaminar la *V. cholera* sobrevivirá hasta 2 semanas. El tipo *El-Tor* de *V. cholerae* es el tipo predominante hoy en día, siendo excretado durante un periodo largo y sobrevive más en las aguas superficiales que en el tipo clásico. Otros tipos de *Vibrio* causan formas medias de la enfermedad o gastroenteritis. (6)

Tuberculosis

Mycobacterium tuberculae, *M. balnei* (marinum) y *M. bovis*, todas originan tuberculosis pulmonar. La infección es por ingestión o inhalación de los bacilos liberados en los esputos, leche u otras secreciones incluyendo las heces de un animal infectado. Este origen de la enfermedad es difícil de identificar ya que la enfermedad tiene un largo periodo de incubación antes de que se diagnostique la tuberculosis clínicamente, lo que en algunos casos pueden ser varios años. No obstante, *M. tuberculosis* se detecta frecuentemente en aguas de desecho de hospitales y plantas de procesamientos de carnes. El bacilo es capaz de sobrevivir durante varias semanas a bajas temperaturas en aguas contaminadas con materia

orgánica. El agua potable contaminada parece ser el origen de infecciones y hay considerables evidencias circunstanciales que lo apoyan. (6)

HONGOS

Otros organismos que contaminan las aguas son los hongos, que son abundantes en aguas residuales. Los filtros han demostrado que los hongos son el mayor componente biológico en las comunidades. *Aspergillus fumigatus* es un moho que habita en lodos secos. En aguas causan infección *Aspergillus niger*, *A. flavus*, o *A. fumigatus*. Estos son casi establecidos como géneros de aguas tropicales en el medio ambiente y en temperaturas máximas durante el verano.

Cuando infectan la oreja, y la piel, estos hongos pueden causar problemas respiratorios. De hecho, la sangre puede ser infectada por la acción de hongos. Las esporas de los hongos son fácilmente transportadas por el aire. Provocando mas fácilmente la infección. (10)

I.6.-TOMA DE MUESTRAS PARA EL ANÁLISIS DE AGUA

El objetivo de la toma de muestras es la obtención de una porción de material cuyo volumen sea lo suficientemente pequeño como para que pueda ser transportado con facilidad y manipulado en el laboratorio sin que por ello deje de representar con exactitud al material de donde procede. Este objetivo implica que la proporción o concentración relativa de todos los componentes serán las mismas en las muestras que en el material de donde proceden, y que dichas muestras serán manejadas de tal forma que no se produzcan alteraciones significativas en su composición antes de que se hagan las pruebas correspondientes. Tabla I.6.1. (7,8,12)

Tabla I.6.1: Normas Oficiales Mexicanas para muestreo.

Tipo de Muestreo	Norma Oficial Mexicana
Para agua potable	NOM-AA-3-1980
Para cuerpos receptores	NOM-AA-14-1980

Precauciones generales: La obtención de una muestra que cumpla con los requisitos del programa de toma y manipulación implica que aquella no debe deteriorarse o contaminarse antes de llegar al laboratorio. Antes de llenar el envase con la muestra hay que lavarlo dos o tres veces con el agua que se va a recoger, a menos que el envase contenga un conservante o un decolorante. Según los análisis que deban realizarse, hay que llenar el envase por completo (en la mayoría de los análisis orgánicos), o dejar un espacio vacío para aireación, mezclas, etc. (análisis microbiológicos). En el caso de muestras que vayan a ser transportadas, lo mejor es dejar un espacio del 1% de la capacidad del envase para permitir la expansión térmica. Tabla I.5.3. (7,8,12)

Tipos de muestras:

Muestras de sondeo: Cuando se sabe que una fuente es bastante constante en su composición durante un periodo considerable o a lo largo de distancias sustanciales en todas direcciones, puede decirse que una muestra de dicha fuente representará un periodo de tiempo más largo o un volumen mayor o ambas cosas, con respecto al punto específico en el que fue recogida. En estas circunstancias, algunas fuentes pueden estar muy bien representadas por una simple muestra de sondeo. Es el caso de algunos suministros de agua, algunas aguas superficiales y, más raramente, algunas corrientes de aguas residuales.

Muestras compuestas: Se refiere a una mezcla de muestras sencillas recogida en el mismo punto en distintos momentos. A veces se utiliza la expresión "compuesto-tiempo" para distinguir este tipo de muestra de otros. Las muestras compuestas-tiempo son las más útiles para determinar las concentraciones medias que se han de utilizar, por ejemplo para calcular la carga o la eficiencia de una planta de tratamiento de aguas residuales.

Muestras integradas: En algunos casos, la información necesaria se obtiene mejor analizando mezclas de muestras individuales, recogidas en distintos puntos al mismo tiempo o con la menor separación temporal que sea posible.(12)

Toma de muestras: Es esencial asegurar la integridad de la muestra desde su toma hasta la emisión del informe. Por lo que se deben seguir unos aspectos de la cadena de vigilancia.

a)Etiquetado de la muestra: utilícense etiquetas para evitar falsas identificaciones de la muestra.

b)Sellado de la muestra: Se utilizaran sellos para detectar cualquier falsificación de la muestra que pueda hacerse antes del análisis.

c)Libro de registro de campo: Toda la información pertinente a un estudio de campo o tomas de muestra se registrará en un libro el que constará de lo siguiente: objeto de la toma, localización del punto donde se ha hecho, nombre y dirección del contacto de campo, productor del material del que se ha hecho la toma y tipo de muestra.

d)Registro de la cadena de vigilancia: Es preciso llenar el registro de la cadena de vigilancia que acompaña a cada muestra o grupo de muestras.

e)Hoja de petición de análisis de la muestra: La muestra irá al laboratorio acompañada por una hoja de petición de análisis.

f)Envío de la muestra al laboratorio: La muestra se enviará la laboratorio lo antes posible e ira acompañada del registro de la cadena de vigilancia y de la hoja de petición de análisis.

g)Recepción y almacenamiento de la muestra: En el laboratorio, la persona encargada recibe la muestra e inspecciona su estado y su sello, comprueba la información de la etiqueta y la del sello comparándolas con la del registro de la cadena de vigilancia, le asigna el numero de laboratorio, la registra en el libro de entrada al laboratorio y la guarda hasta que sea asignada a un analista.

h)Asignación de la muestra para ser analizada: Una vez en el laboratorio, el supervisor o el analista son los responsables del cuidado y la vigilancia de la muestra. (12)

Métodos de tomas de muestra:

Toma manual. En la toma manual se supone que no se necesitara equipo alguno, pero este procedimiento puede resultar demasiado costoso en tiempo y dinero para programas de toma rutinaria de muestras o a gran escala.

Toma automática. Mediante la toma automática se puede eliminar los errores humanos en la manipulación, se reducen los costos laborales y se proporciona la posibilidad de hacer tomas con mayor frecuencia, por lo que su uso está cada vez más extendido. (12)

Envases de las muestras: El tipo de envase que se utilice tiene una importancia capital. En general, los envases están hechos de vidrio o plástico, y según los casos puede resultar preferible uno u otro de estos materiales.

Cantidad de muestras: Para la mayoría de los análisis físicos y químicos se necesitan muestras de 2L. Para determinadas pruebas pueden requerirse volúmenes mayores. En la (tabla I.6.2) se muestran los volúmenes habituales necesarios para análisis. No debe usarse la misma muestra para estudios químicos (orgánicos e inorgánicos), bacteriológicos y microscópicos, pues los métodos de toma y manipulación de las mismas son distintos. (12)

Tabla I.6.2: Volumen de la muestra para análisis

Determinación	Envase	Tamaño mínimo de la muestra ml	Conservación	Tiempo máximo de conservación
Alcalinidad	P, V	200	Refrigerar	24 h
Cloro residual	P, V	500	Analizar inmediatamente	0.5 h
Dureza	P, V	100	Añadir HNO ₃ hasta pH < 2	6 meses
Olor	V	500	Refrigerar	6 h
pH	P, V	---	Analizar inmediatamente	2 h
Sabor	V	500	Refrigerar	24 h
Sólidos	P, V	---	Refrigerar	7 d
Turbidez	P, V	---	Analizar el mismo día	24 h
Coliformes T.	P, V	---	Refrigerar	6 h

I.7.-CONTROL DE CALIDAD DEL AGUA POTABLE

Para resolver muchos problemas de abastecimiento de agua, su uso y disposición final, es preciso conocer su caudal y la concentración de las sustancias que lleva. Para tener esta información se requiere:

- a) La medida de los gastos de agua.
- b) La recolección de muestras representativas de agua
- c) El examen y el análisis de las muestras.

Para establecer la cuota que debe pagar el consumidor como la operación de las plantas de tratamiento del agua y proporcionar los productos químicos necesarios para llevarlo a cabo, la mayor parte de las plantas miden el agua que entra. Pueden medirse tanto el gasto total como el flujo en las áreas individuales de procesamiento dentro de una planta. (8)

Los analistas químicos se enfrentan continuamente a los nuevos retos en el análisis de agua de abastecimiento y descarga de desechos. No solo hay una necesidad creciente de medir un espectro más amplio de constituyentes del agua, sino también se deben medir concentraciones más bajas.

Para satisfacer la necesidad de identificar rápida y precisamente las impurezas contenidas en el agua, las técnicas instrumentales se vuelven más importantes. (tabla I.7.1) (8)

Tabla I.7.1 . Métodos analíticos de control.

Tipo	Pruebas usuales
1.-Volumétrico (titulación)	Alcalinidad, dureza, cloruros, sulfuros, sulfitos, quelatos, zinc, DQO.
2.-Espectrofotométrico	Fosfatos, hierro, manganeso, cromatos, sílice, nitratos, sulfatos.
3.-Instrumental	Conductividad, electrodos selectivos de iones, turbidez
4.-Extracción	Aceite, sustancias orgánicas específicas, inhibidores de película.
5.-Incubación	Cuentas en placas, filtros de membranas, DBO.

FUNDAMENTOS DE ANÁLISIS

DEMANDA DE CLORO

Principio: La cloración del agua para suministro y residual sirve principalmente para destruir o desactivar los microorganismos causantes de las enfermedades. Una segunda ventaja principalmente en el tratamiento de agua para beber, reside en la mejora general de su calidad como consecuencia de la reacción del cloro con el amoníaco, hierro, manganeso, sulfuro y algunas sustancias orgánicas (cloro combinado). El método consiste en añadir a un volumen de agua dosis crecientes de cloro. El grado de cloración a adoptar se indica con el primer frasco en el que se puede poner de manifiesto, al cabo de un tiempo determinado, trazas de cloro libre, para eliminar los microorganismos. Tabla I.7.2. (11)

VOLUMEN DE SEDIMENTACIÓN DE LODOS

Principio: El volumen de lodo sedimentado de una suspensión biológica es útil para la monitorización rutinaria de procesos biológicos, para el control de una planta de lodos activados, con el fin de determinar la tasa de flujo de retorno del lodo y de cuando debe desecharse este, se ha utilizado el volumen de lodo sedimentado en 30 minutos. Este método se basa en la diferencia de gravedad de las partículas que tienen una densidad mayor que la del agua circundante. Las partículas se encuentran en el fondo sedimentándose por gravedad, separando de esta manera la mayor cantidad de sólidos del agua tratada. Tabla I.7.2 (12)

pH

Principio: La medida de pH es una de las pruebas más importantes y frecuentes en el análisis químico del agua. Prácticamente todas las fases del tratamiento del agua para suministro y residual, como la neutralización ácido-base, suavizado, precipitación, coagulación, desinfección dependen del pH.

La diferencia de potencial existente entre un electrodo de vidrio y el electrodo de diferencia (calomelanos-KCl saturado) sumergidos en una misma solución, es función lineal del pH de ésta. Según la Ley de Nerst, el potencial del electrodo está ligado a la actividad de los iones H^+ presentes en el sistema. Por medio de este principio se determina la cantidad de iones hidrógeno o hidróxilo en una muestra dada y de esta manera cuantificar el grado de acidez o alcalinidad. Tabla I.7.2. (11,12)

CLORO LIBRE RESIDUAL

Principio: El cloro aplicado al agua en su forma molecular o de hipoclorito de sodio sufre una hidrólisis inicial para producir cloro libre consistente en cloro molecular acuoso, ácido hipocloroso e ión hipoclorito. La proporción relativa de estas formas de cloro libre depende del pH y de la temperatura, debido al pH que presentan las aguas que son tratadas para su potabilización (5-8) en estas, predomina el ión hipoclorito y el ácido hipocloroso.

El cloro liberará yodo a partir de las soluciones de yoduro de potasio a pH 3-4. El yodo libre se valora con solución patrón de tiosulfato de sodio con almidón como indicador. Tabla I.7.2.(11,12)

COLIFORMES TOTALES POR FILTRACIÓN CON MEMBRANAS

Principio: La técnica de filtro de membrana (FM) es altamente reproducible para determinar el número de microorganismos por cantidad de muestra UFC/mL, puede utilizarse para estudiar volúmenes relativamente grandes de muestra (100-250 ml) y proporciona resultados numéricos más rápidos que el método de los tubos múltiples. La técnica del filtro de membrana es extraordinariamente útil para controlar las posibles situaciones de urgencia en relación con el agua potable y para estudiar distintas aguas naturales.

El método consiste en filtrar el agua a través de una membrana de acetato de celulosa de poro adecuado (se recomienda siempre 0.45 micras) para que retenga a los microorganismos. Posteriormente, la membrana se deposita sobre un medio sólido apropiado que se incuba, para el desarrollo de las colonias en su superficie. Tabla I.7.2. (11,13,14)

TURBIDEZ MÉTODO NEFELOMÉTRICO

Principio: La turbidez del agua es producida por materias en suspensión, como arcilla, cieno o materias orgánicas e inorgánicas finamente divididas, compuestos orgánicos solubles coloreados, plancton y otros microorganismos. La turbidez es una expresión de la propiedad óptica que origina que la luz se disperse y absorba en vez de transmitirse en línea recta a través de la muestra.

El método se basa en la comparación de la intensidad de la luz dispersada por la muestra en condiciones definidas y la dispersada por una solución patrón de referencia (formacina) en condiciones idénticas. Cuanto mayor es la intensidad de la luz dispersada, más intensa es la turbidez. Este parámetro es de suma importancia ya que la transparencia del agua debe ser adecuada para la elaboración de productos destinados a consumo humano y para numerosos usos industriales. Tabla I.7.2. (12)

SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES SECADOS A 103-105°C

Principio: Los sólidos pueden afectar negativamente a la calidad del agua o al suministro de varias maneras. Las aguas con abundantes sólidos suelen ser de inferior palatabilidad y pueden producir una reacción fisiológica desfavorable en el consumidor. Las aguas altamente mineralizadas tampoco son adecuadas para muchas aplicaciones industriales e incluso resultan estéticamente insatisfactorias para bañarse.

Los sólidos totales es la expresión que se aplica a los residuos de material que quedan en un recipiente después de la evaporación de una muestra y su consecutivo secado en una estufa a temperatura definida. Se filtra una muestra bien mezclada por un filtro estándar de fibra de vidrio, y el residuo retenido en el mismo se seca a un peso constante a 103-105°C. El aumento de peso del filtro representa los sólidos totales en suspensión. La determinación es útil para el control de las operaciones en plantas de tratamiento de agua, porque ofrece un cálculo aproximado de la cantidad de materia orgánica e inorgánica presente en el agua. Tabla I.7.2. (12)

DUREZA TOTAL (Ca^{+2} Y Mg^{+2})

Principio: Los alcalinotérreos presentes en el agua forman un complejo del tipo quelato con la sal disódica del ácido etilen-diaminotetracético. La desaparición de las últimas trazas de elementos libres a determinar se pone de manifiesto por el viraje de un indicador específico. En un medio convenientemente tamponado para impedir la precipitación del magnesio, el método permite determinar la suma de los iones calcio y magnesio.

El EDTA. Forma un complejo quelato soluble al añadirse a las soluciones de algunos cationes metálicos. Si a una solución acuosa que contenga iones calcio y magnesio a un pH de 10 se añade una pequeña cantidad de colorante (Negro de Eriocromo T), la solución forma un color rojo vino. Si se añade EDTA como reactivo de titulación, los iones Ca y Mg forman un complejo, y, cuando todos estos iones estén incluidos en dicho complejo, la solución cambiara de rojo vino a azul, señalando el punto final de la titulación. Tabla I.7.2. (11)

DUREZA CÁLCICA

Principio: El principio es idéntico al del método complexométrico descrito para la dureza total. No obstante, como la determinación se hace a pH elevado (12-13), el magnesio precipita en forma de hidróxido y no interviene. Además, el indicador elegido (Murexida) no se combina más que con el calcio originando un cambio de color rosa a púrpura. (11)

ALCALINIDAD MÉTODO DE TITULACIÓN

Principio: Los iones hidróxilo presentes en una muestra como resultado de la disociación o hidrólisis de los solutos reaccionan con las adiciones de ácido estándar, la alcalinidad de un agua es su capacidad para neutralizar ácidos y constituye la suma de todas las bases titulables. La alcalinidad de muchas aguas de superficie depende primordialmente de su contenido de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos, por lo que suele tomarse como una indicación de la concentración de estos componentes. Tabla I.7.2. (12)

Tabla I.7.2. Métodos oficiales para el análisis de agua potable.

Método	Norma Oficial Mexicana
Cloruros	NOM-AA-73-1981
Sólidos sedimentables	DGN-AA-04-1977
pH	NOM-AA-08-1980
Coliformes totales y fecales	NOM-AA-42-1987
Turbiedad	NOM-AA-33-1981
Sólidos	NOM-AA-34-1981
Dureza total	NOM-AA-72-1981
Alcalinidad	NOM-AA-36-1980

ESTÁNDARES DE AGUA POTABLE

Al concluir con un análisis de agua se deben tener parámetros por medio de los cuales se determina si un agua analizada está dentro de normas establecidas para su consumo por lo que se tiene que recurrir a normas o estándares establecidos. (tabla I.7.2) (12,15)

Tabla I.7.2.- Estándares de agua potable de WHO Internacional, WHO Europea, EPA U.S., LGS, NOM, LGDEE, CE de México.

CONSTITUYENTE QUIMICO	DINKING WATER STANDADRS			AGUA POTABLE PARA CONSUMO HUMANO			
	WHO INTERNACIONAL (1984)	WHO EUROPEAN (1980)	STD. U.S. EPA (1992)	LEY GENERAL DE SALUD (1988)	NOM-127-SSA1-1994 ENERO 18, 1996	LGDEE RPCCA	CRITERIOS ECOLOGICOS CE-CCA-001/89
CONTAMINANTES INORGANICOS							
AMONIO	---	0.5	---	---			
ALUMINIO	0.20	0.20	0.02	---	0.20		
ARSENICO	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
BARIO		0.10	2.00	1.00	0.70	1.00	1.00
CADMIO	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.01	0.01
CALCIO	75.00	---	---		---		
CLORUROS	250.00	250.00	250.00		250.00		250.00
CROMO	0.05	0.05	0.10	0.05	0.05	0.05	0.05
COBRE	1.00	3.00	1.30	1.50	2.00	1.00	1.00
CIANURO	0.10	0.05	0.20	0.05	0.07	0.20	0.20
FLUORURO	1.50	1.50	4.00		1.50		
FIERRO	0.30	0.20	0.30	0.30	0.30		0.30
PLOMO	0.05	0.05	0.015	0.05	0.025	0.05	0.05
MAGNESIO	50.00	125.00	---	125.00	---		
MANGANESO	0.10	0.05	0.05	0.15	0.015		0.10
MERCURIO	0.001	0.001	0.002	0.001	0.001	0.005	0.001
NITRATO	10.00	50.00	10.00	5.00	10.00		5.00
OXIGENO DISUELTO	---	5.00	---		---	4.00	4.00
SELENIO	0.01	0.01	0.05	0.005	---	0.01	0.01
SULFATO	400.00	250.00	250.00	250.00	400.00		500.00
SODIO	200.00	150.00			200.00		
PLATA		0.01	0.05		---		
ZINC	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00		5.00

Tabla I.7.2.-Continuación

CRITERIOS FISICO-QUIMICOS							
pH.	6.5-8.5	6.5-8.5	6.5-8.5	6.9-8.5	6.5-8.5	9.8-9.8	5.0-9.0
ALCALINIDAD TOTAL (CaCO ₃)				400.00	---		
CLORO LIBRE				0.20	0.20		
DUREZA CALCICA (CaCO ₃)				300.00	500.00		
TURBIEDAD	<1.0-5.0 UNT	0-4.0 UNT	1.00 UNT	10.00 UNT	5.00 UNT		
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	1,000.00		500.00		1,000.00	<1,000.0	500.00
CRITERIOS MICROBIOLÓGICOS							
COLIFORMES TOTALES	0-10.0 ufc/mL	0 ufc/mL	0 ufc/mL	2 ufc/mL	2 ufc/mL	2 ufc/nL	
COLIFORMES FECALES	0 ufc/mL			NO FECALES	0 ufc/mL	0 ufc/ML	
CONTAMINANTES ORGÁNICOS							
COMPUESTOS FENOLICOS	0.001	0.001		0.001	0.001	0.001	0.3
ENDRIN			0.0002		0.03	0.001	
LINDANO			0.004		2.00	0.056	
METOXICLORO			0.100		20.00	0.035	
TOXAFENO			0.005		0.01	0.005	
CONTAMINANTES RADIOACTIVOS							
RADIO 226 Y 228			5.00 pCi/L			3.00 pCi/L	
PARTICULAS ACTIVADAS ALFA			15.00 pCi/L		0.1 pCi/L	1.00 pCi/L	
TRITIO			20,000 pCi/L				
ESTRONCIO 90			8.00 pCi/L			10.00 pCi/L	
PARTICULAS ACTIVADAS BETA					1.0 pCi/L		

CAPITULO II PARTE EXPERIMENTAL

II.1.-PARÁMETROS DE DISEÑO UTILIZADOS EN LA PLANTA LOS BERROS.

La planta potabilizadora los berros fue diseñada y construida en forma modular. Cada módulo se diseñó con un gasto medio de $4 \text{ m}^3/\text{s}$ y una capacidad hidráulica excedente del 10%. Por lo que el gasto real de diseño es de $4.4 \text{ m}^3/\text{s}$.

La planta potabilizadora cuenta con las siguientes unidades de proceso: mezcla rápida, floculación, sedimentación y filtración. Los parámetros de diseño de cada unidad se describen a continuación.

MEZCLA RÁPIDA

La mezcla de coagulantes con el agua a tratar se realiza mediante turbulencia creada en las unidades de medición: canaletas parshall.

El tiempo de mezcla es de 1.33 s, el gradiente de diseño es 1.023s^{-1} . El mezclado en estas unidades debe ser a alta velocidad debido a que en este punto se adicionan los reactivos químicos (cloro y coagulante) y estos deben estar mezclados perfectamente para asegurar la eliminación de microorganismos y la coagulación-floculación de los sólidos.

FLOCULACIÓN

Cada módulo de tratamiento cuenta con cuatro floculadores. El gasto de diseño por floculador es de $1.1 \text{ m}^3/\text{s}$.

Cada uno de ellos cuenta con cinco secciones de floculación con agitadores mecánicos de paletas y flecha horizontal. Los sistemas mecánicos son accionados por mecanismos motorreductores y transmisión de catrina y cadena. Se cuenta con dos equipos motrices en cada unidad de floculación; uno para las tres primeras secciones, y el otro para las dos restantes.

El tiempo total de floculación es de 27 min. Cada sección de floculación tiene un tiempo total de retención de 5.4 min.

SEDIMENTACIÓN

Al igual que las unidades de floculación, cada módulo de tratamiento cuenta con cuatro sedimentadores del tipo sedimentación acelerada (placas paralelas). El gasto aplicado es de $1.1 \text{ m}^3/\text{s}$.

Cada sedimentador es de 54 m de largo por 18.60 m de ancho. El área superficial de cada unidad es de $1,004.40 \text{ m}^2$.

La longitud de la zona cubierta con placas paralelas es de 49.715 m, por lo que el área superficial neta donde se realiza la sedimentación es de 924.7 m^2 .

La carga superficial equivalente es, por lo tanto, $147.1 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ d}$.

FILTRACIÓN

Cada uno de los módulos de tratamiento cuenta con 8 unidades de filtración rápida de arena. Los filtros operan a gasto constante ($0.55 \text{ m}^3/\text{s}/\text{filtro}$).

Cada filtro está dividido en dos secciones. Cada sección tiene 5.0 m de ancho, y 16.30 m de longitud. El área de filtración es de 163 m^2 . La tasa de filtración aplicada es de $291.53 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$.

II.2.-DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA PILOTO POTABILIZADORA DE AGUA

La planta piloto se construyo de tal forma que reproduzca los parámetros de diseño y operación de la potabilizadora construida. (Sistema Cutzamala).

Los criterios de diseño se basaron en las variables de operación, más que reproducir, a escala, la geometría de las unidades de proceso. Asimismo, se proporciono la versatilidad suficiente para reproducir los criterios de diseño sugeridos por SIHASA para las mejoras del sistema de potabilización.

GASTO DE DISEÑO

Las unidades de proceso de la planta piloto se dimensionaron para un gasto promedio de 1Lps. Las interconexiones hidráulicas se diseñaron para duplicar la capacidad de tratamiento, es decir: 2 Lps.

UNIDAD DE MEZCLA RÁPIDA

La unidad de mezcla rápida se diseñó para reproducir el gradiente de energía disipada para la coagulación del agua a tratar.

EL parámetro dominante para el diseño de la unidad de mezcla rápida es el gradiente. La unidad de agitación puede proporcionar el gradiente de $1,023 \text{ s}^{-1}$ considerado para el diseño de la planta, así como el gradiente de $1,153 \text{ s}^{-1}$ propuesto como criterio de diseño para las mejoras al sistema de potabilización. Esto es posible utilizando un mezclador de velocidad variable.

En la unidad de mezcla rápida se aplicarán los productos químicos necesarios para la floculación:

- * Coagulantes (sulfato de aluminio, cloruro férrico, etc.).
- * Solución de cloro
- * Cal (con el objeto de ajustar el pH de coagulación).

Cabe mencionar que el polielectrolito se aplicará directamente a la unidad de floculación. Con el objeto de determinar el mejor punto de aplicación, el producto se puede aplicar en cualquiera de las cámaras de floculación.

FLOCULACIÓN

La unidad de floculación cuenta con cinco cámaras, cada una para proporcionar un tiempo de retención hidráulico de 5.40 min. El tiempo total de floculación será de 27 min.

El gradiente a manejar por cámara de floculación es: (tabla II.2.1)

Tabla II.2.1:- gradientes a utilizar en las cámaras de floculación

Cámara	Gradiente propuesto, s^{-1}	Intervalo de operación, s^{-1}
Primera	60	25-75
Segunda	45	25-75
Tercera	30	25-75
Cuarta	15	5-45
Quinta	10-40	5-45

En cualquier caso, se mantendrán intensidades de mezclado del orden $6.6 \times 10^4 s^{-1}$, que es el que se considera óptimo para la planta potabilizadora de Los Berros.

El sistema de floculación tiene los controles adecuados para variar la velocidad de los agitadores en forma independiente en cada cámara, por si se requiere hacer pruebas a diferentes velocidades de mezclado en esta unidad.

SEDIMENTACIÓN

El sedimentador es de flujo laminar con placas paralelas. La carga hidráulica de diseño es de 147.1 m/d. La carga hidráulica de operación del sedimentador se controla ya sea mediante el gasto aplicado a toda la planta piloto, o variando el área expuesta de las placas paralelas,

El módulo de placas paralelas tiene las mismas características de inclinación, espaciamiento y espesor de placas, que los instalados en la planta potabilizadora los Berros.(tabla II.2.2)

Tabla II.2.2: Características de los módulos de sedimentación acelerada

Tipo de módulo	Placas paralelas
Inclinación de las placas	60 grados
Espaciamiento perpendicular entre placas	0.005 m
Espesor de las placas	0.006 m

El drenado de los lodos se realiza por gravedad y en forma manual.

El sedimentador tiene los suficientes puertos de muestreo para obtener muestras de los lodos a diferentes niveles y de la calidad del agua sedimentada.

FILTRACIÓN

La planta piloto opera normalmente con dos filtros y se tendrá un filtro adicional para operarlo cuando se desee cambiar las condiciones de carga hidráulica aplicada a los filtros, o bien, cuando se incremente el gasto tratado en la planta piloto.

Se puede modificar la carga de operación mediante cambios en el gasto aplicado a toda la planta piloto, o bien variando el número de filtros en operación simultánea.

La carga hidráulica de diseño será de $291.53 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ d}$. Los filtros serán operados a gasto constante.

Se utilizará arena de la misma clase y granulometría que la instalada en los filtros de la planta potabilizadora.

Los filtros tienen los instrumentos de medición necesarios para medición del flujo alimentado a cada unidad, así como puertos de muestreo para evaluar el agua y piezómetros para determinar la evolución de la pérdida de carga durante la carrera de filtración.

El retrolavado de filtros se hace con agua producto de la filtración. Se cuenta con un tanque de almacenamiento del caudal filtrado. La carga hidráulica necesaria para el retrolavado se proporciona por medio de una bomba. Se cuenta con elementos de medición de flujo en la línea de retrolavado.

Asimismo se cuenta con las instalaciones necesarias para realizar lavado del medio filtrante con aire (en forma simultánea o sucesiva con el retrolavado con agua). También se cuenta con los elementos de medición de flujo de aire.

II.3.-METODOLOGÍA DE OPERACION DE LA PLANTA PILOTO POTABILIZADORA CRONOGRAMA:

Del 4 de Marzo al 23 de Marzo de 1997. (Semanas: 1,2 y 3)

Se fijaron las condiciones de operación de acuerdo a los valores de operación de la planta potabilizadora Los Berros y los valores propuestos al caudal de diseño promedio de la planta piloto (factor escalamiento).

Se adicionó sulfato de aluminio como coagulante en la sección de mezcla rápida e hipoclorito de sodio para efectuar la cloración.

Se realizaron pruebas de retrolavados de filtros de la siguiente manera:

1.-Aire solo primero y agua sola después: Se metió aire a 7 cfm variando el tiempo de 5 a 30 minutos. A continuación se metió agua hasta que la apariencia del agua de enjuague fuera clara (eliminación de la turbiedad).

2.-Aire y agua al mismo tiempo: Se fue variando el flujo de aire desde 0.5 cfm hasta 1.5 cfm manteniendo constante el flujo de agua con un tiempo de 30 a 65 minutos.

3.-Aire y agua en etapas sucesivas y alternantes: Se dejó un nivel de estanco de agua a altura media entre el nivel de vertido y la superficie del lecho filtrante. Se metió aire gradualmente (para no provocar mezclado del medio) hasta llegar al máximo 7 cfm. Se mantuvo la inyección máxima durante 1 minuto para obtener el máximo nivel de desplazamiento de sólidos de las capas inferiores hacia las superiores. Después se bajo el aire a un soplado ligero de 0.5 cfm y se comenzó a meter agua de retrolavado para arrastrar todos los sólidos removidos. Se mantuvo la mezcla aire agua durante 3 minutos y después

se cerro completamente el aire dejando solo flujo de agua hasta la desaparición de la turbidez durante 10 minutos.

Del 24 de marzo al 30 de Marzo de 1997. (Semana: 4)

Se vario el caudal al 50% del caudal promedio para encontrar las variaciones en la operación a bajo flujo, con sulfato de aluminio como coagulante.

Se recalcularon los valores de agitación en el floculador para ajustar el gradiente GT al óptimo variando la velocidad de los agitadores.

Del 31 de Marzo al 6 de Abril de 1997. (Semana: 5)

Se vario el caudal al 200% del caudal promedio para encontrar las variaciones de operación gasto máximo, con sulfato de aluminio como coagulante.

también se ajustaron los valores de GT

Del 7 de Abril al 13 de Abril de 1997. (Semana: 6)

Se efectuó la coagulación de sulfato de aluminio con cal a valores promedio de 1 Lps. Se adiciono la lechada de cal en la mezcla rápida. Se evaluó el efecto de la sedimentación de lodos y taponamiento de los filtros.

Del 14 de Abril al 27 de Abril de 1997. (Semana: 7 y 8)

Se efectuó la filtración con antracita. Se hicieron corridas con sulfato de aluminio como coagulante, usando 1 Lps de caudal.

los filtros se reempacaron de la siguiente manera.

a) Antracita solamente.

b) Antracita y arena.

c) Arena solamente.

De esta manera se hicieron pruebas comparativas de la eficiencia de cada medio filtrante.

Del 28 de Abril al 11 de Mayo de 1997. (Semana: 9 y 10)

Se efectuó la coagulación con sulfato de aluminio y polímeros. A 1 Lps de caudal.

Del 12 de Mayo al 1 de Junio de 1997. (Semana: 11, 12 y 13)

Se efectuó la coagulación con cloruro férrico. Se adicionó cloruro férrico en la mezcla rápida usando los mismos gradientes GT que con el sulfato de aluminio a 1 Lps. Después se variará a 0.5 Lps y 2Lps para evaluar el efecto a bajo y alto gasto.

Del 2 de Junio al 8 de Junio de 1997. (Semana: 14)

Se efectuó la coagulación con cloruro férrico y cal, los cuales se adicionaron en la mezcla rápida a 1 Lps de gasto.

Del 9 de junio al 22 de Junio de 1997. (Semana: 15 y 16)

Se efectuó la coagulación de cloruro férrico y polímero a 1 Lps de gasto.

Del 23 de Junio al 13 de julio de 1997. (Semana: 17, 18 y 19)

Se dosifico polímero anionico y cationico por separado en la mezcla rápida. a 1 Lps de gasto.

Del 14 de Julio al 31 de Julio de 1997. (Semana: 20, 21 y22)

Se efectuaron pruebas con agua de alta turbiedad de la presa de Villa Victoria. utilizando un gasto de 1 Lps y sulfato de aluminio como coagulante.

Tabla II.3.1.-Cronograma de actividades.

Semana	ppm	Condiciones de operación y reactivos adicionados al proceso.
1	24.5	Sulfato de aluminio
2	30.9	Sulfato de aluminio
3	29.7	Sulfato de aluminio
4	14.3	Variación del caudal al 50%
5	55.4	Variación del caudal al 200%
6	28.4	Sulfato de aluminio mas 1.2 ppm de cal
7	33.2	Sulfato de aluminio
8	30	Sulfato de aluminio
9	21.3	Sulfato de aluminio mas 0.32 ppm de polímero anionico
10	20.1	Sulfato de aluminio mas 0.51 ppm de polímero cationico
11	17.4	Cloruro férrico
12	12.9	Cloruro férrico
13	13.9	Cloruro férrico
14	12.3	Cloruro férrico mas 1.08 ppm de cal
15	8.1	Cloruro férrico mas 0.19 ppm de polímero anionico
16	6.9	Cloruro férrico mas 0.45 ppm de polímero cationico
17	.56	Polímero anionico
18	.5	Polímero anionico
19	.72	Polímero cationico
20	32.1	Sulfato de aluminio en agua de alta turbidez
21	29.4	Sulfato de aluminio en agua de alta turbidez
22	31.8	Sulfato de aluminio en agua de alta turbidez

II.4.-METODOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO

Durante todo el proceso se efectuaron análisis de laboratorio para hacer las comparaciones entre cada una de las variaciones de operación a la planta piloto, Así como las comparaciones entre los reactivos utilizados y evaluarlos.

Prueba de jarras.

Demanda de cloro.

Volumen de sedimentación de lodos.

pH

Cloro libre residual

Coliformes totales(filtro de membrana)
Turbiedad
Sólidos suspendidos totales
Dureza total
Dureza calcica
Alcalinidad

REACTIVOS, MATERIAL, EQUIPO Y PROCEDIMIENTOS DE LABORATORIO

PRUEBA DE JARRAS

Reactivos:

Sulfato de aluminio (coagulante) (El mismo que se utiliza en el Sistema Cutzamala)
Cloruro férrico (coagulante) (Eagle Brook de México)
Polímero, aniónico. (Ecosistemas industriales, Stockhausen A-3040L "EISA-3040L")
Polímero cationico. (Ecosistemas industriales, Stockhausen K-280. "EISK-280")

Material

Vasos de precipitado 1000 ml (Pyrex)
Pipetas graduadas (Pyrex)

Equipo:

Aparato para pruebas de jarras (Pipper & Stirrer)

Procedimiento:

Colocar en 6 vasos de precipitado 1000 ml de agua cruda en cada uno, Agitar por medio de las paletas del aparato vigorosamente (100 rpm) y adicionar una cantidad de coagulante, se adiciona la cantidad de acuerdo a como se vea el agua cruda, se deja a esa agitación durante 15 segundos, se baja la agitación después de ese tiempo a 70 rpm y en ese momento se adiciona el polímero si lo requiere la prueba, se deja esa agitación durante 1 minuto y finalmente se reduce la velocidad de agitación a 30 rpm y se espera el tiempo necesario para observar perfectamente la formación del flóculo. Se apaga el aparato y se observa el resultado. Fig. (III.2.1).

DEMANDA DE CLORO

Reactivos:

Yoduro de potasio, cristales (J.T. Baker)
Solución indicadora de almidón (J.T. Baker)
Titulante de tiosulfato de sodio estandar 0.01N (J.T. Baker)
Hipóclorito de sodio comercial 13% (Ecosistemas Industriales), se utiliza para las pruebas al 7.5%, haciendo la dilución 57.7L de hipoclorito de sodio en 42.3L de agua para un volumen de 100L.

Material:

Vasos de precipitados 1000ml (Pyrex)

Pipeta graduada (Pyrex)
Bureta 50ml (Pyrex)
Matraz erlenmeyer 125ml (Pyrex)

Equipo:
Balanza (Ohaus AS200)

Procedimiento:

Colocar en 6 vasos de precipitado, 1000ml de agua cruda en cada uno, agitar por medio de las paletas del aparato vigorosamente (100 rpm) y adicionar cloro al 7.5% en el intervalo de 0.1ml-0.6ml respectivamente en los vasos. Se disminuye la agitación a 70rpm, después a 30rpm y se deja reposar 1 minuto. Se toman 50 ml de muestra de cada vaso y se colocan en matraces erlenmeyer de 125ml, se le adiciona a cada matraz 1g de yoduro de potasio, se procede a titular añadiendo tiosulfato de sodio 0.01N con una bureta hasta que casi desaparezca el color amarillo del yodo libre. Añadir 1ml de solución de almidón y valorar hasta la desaparición del color azul. Correr simultáneamente un blanco bajo las mismas condiciones. Seleccionar el volumen de cloro en el cual la valoración no rebase las 3.5 partes por millon (ppm).

Cálculos:
$$\text{ppm} = \frac{(A-B) (N) (35.45)}{\text{mL muestra}}$$

A=mL gastados por la muestra

B=mL gastados por el blanco

N=Normalidad del $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$

35.45= Peso equivalente del cloro

VOLUMEN DE SEDIMENTACION DE LODOS

Material:

Cono de Imhoff 1000ml (Pyrex)

Procedimiento:

Se coloca en un cono de Imhoff el volumen de 1000ml de lodo tomado de la parte inferior del sedimentador. Se coloca sobre un anillo de fierro colocado en un soporte universal y se deja reposar por espacio de 15 minutos. Al transcurso de este tiempo se observa el volumen de lodo que sedimento(compacto) en el cono de Imhoff y reportar.

VALOR DE pH

MÉTODO POTENCIOMETRICO.

Reactivos:

Soluciones buffer pH=7 y pH=4. (Sigma)

Material:
Vasos de precipitado (Pyrex)
Agitador Magnético

Equipo:
Potenciometro con electrodo de vidrio-calomel (Corning 320)
Placa de agitación (OHAUS)

Procedimiento :

Calibrar el aparato de acuerdo a las instrucciones del fabricante. Colocar la (s) muestra (s) en los vasos de precipitado, homogenizar la solución , introducir el electrodos en la solución perfectamente limpios dejar durante un minuto y medir el pH.

COLOR LIBRE RESIDUAL

MÉTODO YODOMETRICO

Reactivos:
Yoduro de potasio, KI, cristales. (J.T. Baker)
Titulante de tiosulfato de sodio estándar, 0.01N. (J.T. Baker)
Solución indicadora de almidón. (J.T. Baker)

Material:
Bureta 50 ml. (Pyrex)
Matraz erlenmeyer 125 ml. (Pyrex)

Equipo:
Balanza analítica (Ohaus AS200)

Procedimiento.

Seleccionar un volumen de muestra que no precise más de 20 ml de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 0.1N, ni menos de 0.2 ml para el punto final del almidón-yoduro. Añadir a un matraz erlenmeyer el volumen de muestra seleccionado, adicionar a este 1 g de yoduro de potasio, proceder a titular añadiendo $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 0.01N con una bureta, hasta que casi desaparezca el color amarillo del yodo libre. Añadir 1 ml de solución de almidón y valorar hasta la desaparición del color azul. Correr simultáneamente un blanco bajo las mismas condiciones. Repetir este procedimiento por lo menos tres veces.

Cálculos:
$$\text{ppm} = \frac{(A-B) (N) (35.45)}{\text{mL muestra}}$$

A=mL gastados

B=mL blanco

N=Normalidad del $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$

COLIFORMES TOTALES FILTRACIÓN A TRAVÉS DE MEMBRANAS

Reactivos:

Medios de cultivo M-Endo (Sigma)

Material:

Filtros de membrana de poro 0.45 micras (Whatman)

Embudos de filtración a vacío para membranas (Pyrex)

Pinzas de disección estériles

Cajas petri con medio de cultivo ENDO y McConkey (Sigma)

Matraz kitazato 2 L estéril (Pyrex)

Mangueras para vacío estériles

Soporte para los embudos de filtración de acero inoxidable y estéril

Equipo:

Sistema de vacío

Incubadora calibrada a 37°C (Mapsa HDP-433)

Procedimiento:

En una campana de flujo laminar se coloca el soporte para embudos conectada al vacío por medio de mangueras y un matraz kitazato, se colocan los embudos de filtración sobre el soporte posteriormente se coloca la membrana en el embudo de filtración a vacío en condiciones estériles, por medio de las pinzas, se coloca la muestra de agua 100 ml, se conecta el sistema de vacío. Después de la filtración, la membrana se coloca en un soporte adecuado (cajas petri con medio de cultivo) que permita a las colonias de coliformes desarrollarse preferencialmente en el curso de una incubación de 18 a 24 horas a 37°C. Finalmente después del transcurso de ese tiempo se hace el conteo de las colonias características de coliformes. (colonias rojas con brillo metálico).

Cálculos;
$$\text{UFC}/100\text{mL} = \frac{(\text{No de colonias de coliformes}) (100)}{\text{mL muestra}}$$

mL muestra

TURBIDEZ

MÉTODO NEFELOMETRICO:

Reactivos:

Agua libre de turbidez (J.T. Baker)

Suspensión de turbidez estandar

Equipo:
Turbidimetro (Metter)

Procedimiento:

Calibrar el aparato de acuerdo a las instrucciones del fabricante, posteriormente agitar cuidadosamente la muestra. Esperar hasta que las burbujas de aire desaparezcan, verter la muestra en el tubo del turbidimetro. Leer directamente la turbidez en la escala del aparato o en la curva de calibrado adecuada.

Cálculos para turbiedades mayores a 40 UNT.

$$\text{UNT} = \frac{(A)(B + C)}{C}$$

A= UNT encontradas en la muestra diluida

B= Volumen de agua de dilución (mL)

C= Volumen de la muestra tomada para la dilución (mL)

SÓLIDOS

SÓLIDOS TOTALES EN SUSPENSIÓN SECADOS A 103-105°C

Material:

Desecador	(Pyrex)
Discos de filtrado de fibra de vidrio	(Whatman)
Aparato de filtrado	
Embudo de filtro de membrana	(Pyrex)
Crisol de Gooch	(Coors)
Dispositivo de filtrado	
Matraz de succión	(Pyrex)

Equipo:
Horno de secado (Mapsa HDP-433)

Procedimiento:

Insertar el disco con la cara rugosa hacia arriba en el aparato de filtrado. Hacer vacío y lavar el disco con tres volúmenes sucesivos de 20 ml de agua destilada. Continuar succionando hasta eliminar todo vestigio de agua, y retirar el agua de lavado. Proceder a separar el filtro del crisol si se esta utilizando un crisol de Gooch. Secar en un horno a 103-105°C durante una hora. Enfriar en un desecador y proceder a pesar. Repetir el ciclo hasta obtener un peso constante o hasta que la perdida de peso sea menor de 0.5 mg entre pesadas sucesivas.

Una vez logrado el peso constante, proceder a montar el aparato de filtrado y el filtro e iniciar la succión. Filtrar 100 ml de muestra bien mezclada por el filtro de fibra de vidrio. Lavar con tres volúmenes sucesivos de agua destilada de 10 ml. y continuar succionando por tres minutos más. Proceder a separ el crisol y la combinación del filtro del

aparato de filtrado. Secar en un horno a 103-105°C durante una hora al menos, enfriar en un desecador y pesar.

Cálculos:
$$\text{ppm} = \frac{(A - B) (1000)}{\text{Vol muestra mL}}$$

A= Peso del filtro + residuo seco (mg)

B= Peso del filtro (mg)

DUREZA

DUREZA TOTAL (Ca^{+2} , Mg^{+2})

Reactivos :

EDTA 0.01M (J.T. Baker)

Solución reguladora de $\text{NH}_4\text{OH-NH}_4\text{Cl}$ (J.T. Baker)

Indicador, Eriocromo negro T (J.T. Baker)

Material:

Bureta 25ml. (Pyrex)

Matraz erlenmeyer 125ml. (Pyrex)

Probeta 50ml. (Pyrex)

Procedimiento:

A una muestra de 100 ml, adicionar 1 ml. de la solución reguladora (o hasta un pH de la muestra de 9.5 a 11), agregar una pizca de indicador negro de eriocromo T y valorar la solución con EDTA. Hasta vire del indicador de color vino a azul. Medir el volumen de EDTA gastado.

Cálculos.
$$\text{ppm CaCO}_3 = \frac{(A) (B) (100) (1000)}{\text{mL muestra}}$$

A= Volumen gastado en mL

B= M de EDTA.

DUREZA CALCICA

Reactivos :

EDTA 0.01M (J.T. Baker)

Indicador de purpurato de amonio (Murexida) (J.T. Baker)

Solución de hidróxido de sodio al 10% (J.T. Baker)

Material:

Bureta 25ml. (Pyrex)

Matraz erlenmeyer 125ml. (Pyrex)

Probeta 50ml.

(Pyrex)

Procedimiento :

A una muestra de 100 ml de agua, añadir una pizca de indicador murexida, 3 ml de la solución de hidróxido de sodio y valorar con la solución de EDTA hasta vire del indicador de color salmón a púrpura. Medir el volumen de EDTA gastado.

Cálculos.

$$\text{ppm CaCO}_3 = \frac{(A) (B) (100) (1000)}{\text{mL muestra}}$$

A= Volumen gastado en mL

B= M de EDTA.

ALCALINIDAD

Reactivos :

Solución de ácido sulfúrico H_2SO_4 , 0.02 N.

(J.T. Baker)

Solución indicadora de Fenolftaleina.

(J.T. Baker)

Material:

Bureta 25ml.

(Pyrex)

Matraz erlenmeyer 250ml.

(Pyrex)

Probeta 50ml.

(Pyrex)

Procedimiento :

Colocar 100 ml de la muestra en un matraz erlenmeyer de 250 ml, agregar 2 gotas de indicador de fenolftaleina. Si no hay cambio de color, la alcalinidad es cero. Si la muestra presenta coloración, titular con H_2SO_4 0.02 N. hasta que el color desaparezca, y registrar el volumen de ácido sulfúrico empleado.

Cálculos:

$$\text{Alcalinidad ppm} = \frac{(A) (N) (50) (1000)}{\text{muestra mL}}$$

A= mL utilizados de ácido estándar

N= Normalidad del ácido estándar

CAPITULO III RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En este capitulo se presentan y discuten los resultados de operación y de laboratorio obtenidos en la planta piloto potabilizadora de agua del Sistema Cutzamala

III.1.DE OPERACIÓN DE LA PLANTA PILOTO POTABILIZADORA.

El gradiente GT que se uso fue de 1.153 s^{-1} . La unidad de mezcla rápida opero con un gradiente de agitación mayor al que presenta en la actualidad la planta los berros, (tabla III.1.1.) Esto es debido a que se contaba con un agitador de velocidad variable y en consecuencia se mejoró la velocidad de agitación, promoviendo así que los reactivos adicionados en esta unidad tubieran una mayor superficie de contacto con el agua. Caso contrario en la planta los Berros, ya que en este lugar la agitación en la unidad de mezcla rápida se efectúa por medio de turbulencia en los canales Parshall y no se puede modificar la velocidad de mezclado

El gasto de la planta piloto se regulo a 1 Lps como valor promedio para dar un tiempo de residencia en la cámara de floculación de 27 min (5.4 min cada sección), haciendolo así equivalente a las condiciones de la planta potabilizadora Los Berros. (Tabla III.1.1.) Para evaluar la cámara de floculación se hicieron análisis de laboratorio como sólidos suspendidos totales y turbiedad, fig. (III.2.8 y 9.). Y para su comportamiento con los reactivos adicionados para el tratamiento de agua se hicieron las pruebas de jarras para observar teóricamente como se comportarian los reactivos, así como las dosis que se utilizarian de estos.

Se tuvo una carga hidráulica a un gasto de 1 Lps de $147.1 \text{ L/m}^2 \cdot \text{d.}$ en el sedimentador, equivalente a los sedimentadores de la planta los Berros. Para evaluar la unidad de sedimentación se tomo como referencia los análisis de laboratorio sólidos suspendidos totales, turbiedad y volumen de sedimentación de lodos; aunque este último, dependia en cierto grado de la calidad de agua que llegaba a la planta (si era demasiado turbia o clara). Figs. (III.2.8; .9 y .3).

La filtración se efectúo usando dos filtros a la vez, cada filtro opero a 0.5 Lps, con una tasa de filtración de $291.53 \text{ L/m}^2 \cdot \text{d.}$ Los filtros se evaluaron por pruebas como sólidos suspendidos totales, turbiedad, cloro libre residual (cuándo los filtros se empacaron con antracita). Figs. (III.2.8; .9 y .5)

En la (tabla III.1.1.), se muestran los resultados en las condiciones de operación de la unidad de mezcla rápida, cámara de floculación y sedimentación. Se observa el gradiente de agitación de la unidad de mezcla rápida, el tiempo de floculación en la cámara de floculación, la carga hidráulica en el tanque sedimentador y la tasa de filtrado, comparados con los valores de la planta potabilizadora Los Berros del Sistema Cutzamala

Tabla III.1.1.- Resultados de operación de la planta piloto.

Planta potabilizadora	Mezcla rápida Gradiente de agitación (s^{-1})	Cámara de floculación Tiempo de floculación (min.)	Tanque de sedimentación Carga hidráulica (m^3/m^2*d)	Filtros Tasa de filtrado (m^3/m^2*d)
Los Berros del Sistema Cutzamala	1.023	27	147.1	291.53
Planta Piloto	1.153	27	1.471	2.9153

Dentro de las condiciones de operación que duraron 3 semanas se utilizó sulfato de aluminio como coagulante e hipoclorito de sodio como desinfectante. También durante este tiempo se hicieron pruebas de retrolavado de los filtros que se encontraban empacados de igual manera que la potabilizadora los Berros del Sistema Cutzamala (filtros rápidos de arena). Los resultados se muestran a continuación en la tabla (III.1.2) donde se muestra el tipo de método de lavado de los filtros que se evaluaron y los resultados de análisis de laboratorio que dieron la pauta para elegir el mejor método.

Tabla III.1.2.- Retrolavado de filtros

Tipo de lavado	Resultados del lavado	SST (ppm)	Turbidez (UNT)
1) Aire solo, y agua sola después	Expansión del lecho, sin desplazamiento de sólidos, solo el agua realizó el trabajo con 1.5 hrs, se desperdicia demasiada agua	8.32	4.9
2) Aire y agua al mismo tiempo	Expansión del lecho, buen barrido de sólidos, pérdida del medio de empaque al inyectar aire junto con agua, 1 hr. Para el lavado, desperdicio de agua	6.12	4.9
3) Aire y agua en etapas sucesivas	Buena remoción de sólidos inclusive de capas profundas, poca pérdida de agua al consumirla en menor cantidad, disminuye la turbidez, 1 hr. para el lavado.	0.79	1.2

Método 1. Se observó que el aire expande el lecho de arena y no remueve sólidos, por lo que el agua sola, es la que realiza todo el trabajo de lavado, aunque el tiempo es prolongado, se esperaba que se tuviera disminución en la concentración de sólidos, cosa que no sucede así porque el agua por si sola no remueve las capas profundas del medio filtrante. En la tabla de resultados se muestra que este método no se compara con los otros ya que origina demasiada pérdida de agua y tiempo. Este método es el que actualmente se utiliza en la planta potabilizadora Los Berros del Sistema Cutzamala.

Método 2. En este procedimiento, al mezclar agua con aire, se observa claramente que se expande el lecho de arena esto es debido a la presión del aire inyectado, así como a la fuerza de la bomba al retrolavar el filtro, cosa que origina que se obtuvieran pérdidas del medio filtrante. Este método se considera mejor que el #1, ya que tiene regular barrido de sólidos y ocupa menor tiempo; pero está limitado a la pérdida del medio de empaque.

Método 3. Se observa buena remoción de sólidos, inclusive en las capas profundas del lecho de arena, esto debido al estancamiento del agua e inyectar aire al mismo tiempo, al no haber flujo de agua, el aire remueve los sólidos desde el fondo arrastrándolos hacia la superficie sin crear la turbulencia originada en el método #2 que ocasiona la pérdida del medio de empaque. Este método tiene la ventaja sobre los otros dos en que disminuye la cantidad de sólidos, disminuye la turbidez, no es arrastrado el medio, existe menor consumo de agua, este es el método recomendado para el retrolavado de filtros debido a sus ventajas que presenta.

Variación del caudal al 50% y 200% utilizando sulfato de aluminio como coagulante e hipoclorito de sodio como desinfectante.

Al variar el caudal a la mitad 50%, se tuvieron que disminuir en la cámara de floculación los valores de agitación una cuarta parte de los normales. Caso contrario al aumentar el caudal al 200%, ya que estos valores aumentan una cuarta parte de los valores normales. Tabla (III.1.3).

Tabla (III.1.3) Gradientes de agitación propuestos en la cámara de floculación al variar el caudal al 50 y 200%.

CAMARA DE FLOCULACION			
# de cámara	Gradiente propuesto al 100% (1Lps) s ⁻¹	Variando el caudal al 50% (0.5Lps) s ⁻¹	Variando el caudal al 200% (2Lps) s ⁻¹
1	60	45	75
2	45	38	56.5
3	30	22.5	37.5
4	15	11.5	18.7
5	10	7.5	12.5

Para ambos casos en la unidad de mezcla rápida no se hizo modificación alguna en cuanto a la velocidad de agitación ya que esta unidad no depende de la cantidad de agua que entre, sino de la turbulencia producida para que reaccionen los productos químicos adicionados.

En el tanque de sedimentación no hubo modificaciones al variar el caudal, solo se tuvo más cuidado en el volumen de sedimentación de lodos, como era de esperarse se acumulaban más de estos al estar tratando un mayor volumen de agua.

En los filtros la diferencia se noto en el tiempo de taponamiento de los mismos, ya que resultaba obvio que se taponearian más fácilmente al filtrar mayor volumen de agua que al filtrar solo la mitad del valor normal (1Lps).

Siendo entonces esta prueba de suma importancia para el sistema Cutzamala, ya que se pudieron recalcular los valores en la cámara de floculación para cuando haya un menor volumen, o un mayor volumen de agua en tratamiento dentro del sistema, debido a que en el sistema se pretende captar agua del río Temascaltepec y de esta manera poder distribuir más agua potable a la ZMCM.

Coagulación con sulfato de aluminio y cal.

La cal también al igual que el sulfato de aluminio tiene poder como coagulante, por lo que al mezclar estos dos reactivos se observa disminución en la dosis de sulfato de aluminio al proceso. fig. (III.2.1). Existen otras ventajas al dosificar cal al proceso como lo son el aumentar el pH de el agua tratada, esto ayuda a aumentar la alcalinidad y de este modo no se tenga agua potable con resultados en el límite inferior en cuanto a pH se refiere, ya que el sulfato de aluminio por si solo acidifica considerablemente el agua durante el tratamiento hasta su potabilización. Existe también un inconveniente en cuanto a la utilización de cal en el proceso, ya que esta se adiciono en forma de lechada, se tenia que mantener todo el tiempo agitación en el recipiente dosificador debido a que esta precipitaba y originaba disminución en su concentración o taponamiento de la bomba dosificadora, siendo esto entonces un tanto difícil para poder adaptarlo a las condiciones de la planta Los Berros.

Filtración con antracita utilizando sulfato de aluminio como coagulante e hipoclorito de sodio como desinfectante.

Al empacar los medios filtrantes de diferente manera, 1) antracita; 2) Arena y antracita y; 3) arena. Se evaluo cual de estos tres medios filtrantes es más eficiente en cuanto a la calidad de agua que se obtuvo al final de la filtración, por medio de análisis fisico-químicos (turbiedad, sólidos suspendidos totales y cloro libre). Encontrándose que el medio filtrante no afecta al agua final en cuanto a la calidad de la misma, a pesar de que se esperaba que al utilizar los filtros con antracita disminuyera la cantidad de cloro libre encontrada en el agua filtrada, no ocurrió así, tal vez se debio a que la antracita no tenia la calidad necesaria para el filtrado e interactuara de este modo con el cloro que llevaba el agua en tratamiento.

Coagulación con sulfato de aluminio más polímeros, (anionico y cationico).

Cuando se efectúa la coagulación con sulfato de aluminio mas polimero aniónico en bajas concentraciones, se observa una disminución en la dosis de sulfato adicionado al proceso. Fig. (III.2.1). Esto se debe principalmente a que el sulfato de aluminio reacciona con la alcalinidad del agua, así como con la del polimero para producir un floculo insoluble de hidróxido del metal precipitando este en el fondo del sedimentador y por lo tanto se tiene un proceso eficiente en el tratamiento de agua.

Al adicionar el polimero cationico también disminuye la dosis de sulfato, solo que aquí se necesita una mayor concentración de polimero para el tratamiento, ya que en gran parte para que el polimero actue de una manera eficiente, ya sea anionico o cationico se debe tomar en cuenta el pH del agua a tratar y el reactivo que se utiliza como coagulante.

Como en la planta los Berros se utiliza el sulfato de aluminio, se recomienda utilizar un polimero anionico para el tratamiento de agua en combinacion con el coagulante aplicado en la segunda cámara de floculación para que tenga un mejor efecto reflejado este en los análisis de laboratorio del agua tratada.

Coagulación con cloruro férrico e hipoclorito de sodio como desinfectante.

En este caso, en lugar de utilizar el sulfato de aluminio que se acostumbra, se utilizo cloruro férrico para ver el efecto que tenia este como coagulante en el tratamiento de agua por medio de análisis de laboratorio de calidad de agua. El cloruro férrico al igual que el sulfato, debido a sus propiedades, reacciona con la alcalinidad del agua, produciendo de esta manera un flóculo de hidróxido de fierro insoluble que precipita. Solo que al utilizar este coagulante se observa que se forma un floculo de tamaño mas grande que el formado con sulfato de aluminio, esto se debe a que es un mejor coagulante y actúa en un rango de pH mayor que el sulfato de aluminio, de esta manera el proceso mejoro al utilizar cloruro férrico en cuanto a la coagulación se refiere, pero en los análisis no se encuentra diferencia alguna entre los resultados obtenidos al tratar el agua con sulfato de aluminio que al tratar con cloruro férrico.

La dosis que se utiliza de cloruro férrico en el proceso es casi la mitad que la que se utiliza con el sulfato de aluminio debido a su acción como coagulante, pero este tiene la desventaja de tener un costo más elevado que el sulfato de aluminio. (Tabla III.1.4).

Variación del caudal al 50 y 200% usando cloruro férrico como coagulante.

En esta prueba sucede lo mismo que al tratar el agua con sulfato de aluminio. (ver variación del caudal 50 y 200% con sulfato de aluminio como coagulante).

Coagulación de cloruro férrico con cal

La coagulación con cloruro férrico mas cal se efectua de igual manera que con sulfato de aluminio, obteniendo que también se nota disminución en la concentración de dosificación de cloruro férrico al interactuar la cal como coagulante adicional. Fig. (III.2.1). El análisis de los resultados se puede explicar de igual manera que el tratamiento con sulfato

Coagulación con cloruro férrico mas polímeros (anionico y cationico).

Los polímeros reaccionan de igual manera que con el sulfato de alumio, teniendo mejor resultado el polimero anionico en combinación con el cloruro férrico. Solo que aquí se destaca que los polímeros se dosifican en menor concentración que con el sulfato, aparte de que el cloruro férrico se usa en menor concentración. En esta prueba se observa también que la dimensión del flóculo es mucho mayor que la que se forma con sulfato. La aplicación de los polímeros es igual que la aplicación al tratar el agua con sulfato mas polímeros.

Polímero aniónico y polímero catiónico solos como coagulante.

Los polímeros tienen la capacidad de no cambiar las propiedades físicas del agua, como son, pH, no dan color, olor y sabor, cosa que no sucede con los coagulantes metálicos (sulfato de aluminio y cloruro férrico). Los resultados obtenidos indican que se dosifican en menor concentración que los coagulantes metálicos, y que al final del tratamiento el agua obtenida es de mejor calidad que la que se obtiene con los coagulantes metálicos por las propiedades ya mencionadas. Debido a que el pH del agua cruda es ligeramente ácido, los polímeros aniónicos tienen ventaja sobre los catiónicos para actuar como coagulante y de esta manera los resultados reflejan que efectivamente se requiere menor concentración en la dosis de polímero aniónico que el catiónico. Fig. (III.2.1).

Algo relevante en este punto, son los costos que tienen los polímeros, estos son caros en comparación con los coagulantes metálicos, pero de acuerdo a las dosis que se utilizan su costo se recupera fácilmente durante el tratamiento, ahora combinados con los coagulantes metálicos originan un proceso mucho más efectivo en el tratamiento.

Pruebas con agua de alta turbidez de la presa de Villa Victoria, utilizando sulfato de aluminio como coagulante e hipoclorito de sodio como desinfectante.

Se trató agua de alta turbidez arriba de 100 UNT de la presa de Villa Victoria. Obteniendo que la dosis de coagulante al proceso no tiene variación que cuando se trata agua menos turbia de las demás presas. Tal vez esto se debe a la composición del agua turbia, pudiera ser que efectivamente es mucho más sucia, pero a lo mejor las partículas que contiene son muy densas provocando que se enlacen entre ellas más fácilmente formando el floculo más grande y precipiten de esta manera al hacer contacto con el coagulante metálico en este caso sulfato de aluminio. Por lo que al hacer los análisis de agua final no se tiene diferencia entre tratamiento de agua no muy turbia a tratamiento de agua de alta turbidez.

Durante todo el proceso se adicionó hipoclorito de sodio como desinfectante, y el caudal de entrada de agua fue de 1 Lps a excepción de cuando se varió el caudal al 50 y 200% y se efectuaron análisis de laboratorio para hacer las comparaciones entre las variaciones de operación de la planta piloto, así como las comparaciones entre los reactivos utilizados y evaluarlos.

Tabla (III.1.4.): Comparación de los diferentes coagulantes utilizados.

Coagulantes	Cantidad utilizada por día (Kg)	*Precio por kilogramo (\$)	Precio de reactivo utilizado por día (\$)
Sulfato de Aluminio	2.60	2.30	5.98
Cloruro Férrico	1.47	5.00	7.35
Polímero aniónico	0.04	30.00	1.20
Polímero catiónico	0.06	30.00	1.80

*Precios proporcionados por Cloro Internacional S.A. de C.V. Y Polímeros Nacionales S.A. de C.V.

Tabla III.2.1.- Valores de los diferentes parámetros de análisis del agua en 22 semanas

Semana	prueba de jarras	demanda de cloro	volumen de sedimentación de lodos	pH de lodo	cloro libre	pH agua final	coliformes
	ppm	ppm	mL/L	pH	ppm	pH	ufc/100mL
1	25	2.79	931.8	6.6	0.62	6.55	0.5
2	30	2.86	848.9	6.34	0.81	6.55	0.57
3	30	2.06	872.7	6.66	0.73	6.72	0.93
4	15	2.33	845.9	6.65	0.86	6.69	0.86
5	55	2.15	653.1	6.7	0.72	6.86	0.21
6	30	2.17	651.6	6.83	0.74	6.82	0.43
7	30	2.8	855.1	6.55	0.92	6.56	0.29
8	30	2.87	902.3	6.55	0.57	6.76	0.43
9	20	3.15	919.3	6.79	0.72	7.15	0.5
10	20	2.82	838	6.72	0.98	6.74	0.93
11	15	3.38	803.6	6.48	0.74	6.6	0.71
12	10	2.99	834.3	6.38	1.72	6.49	1.07
13	13	3.21	735.9	6.58	0.55	6.69	0.67
14	13	2.47	880.5	6.39	0.51	6.5	0.43
15	8	3.43	722.4	6.46	0.83	6.52	0.71
16	6	2.86	861.8	6.45	0.9	6.55	0.53
17	0.5	2.92	645.4	6.47	0.96	6.63	0.86
18	0.5	3.16	953.3	6.3	0.86	6.5	0.69
19	0.8	3.19	912.3	6.35	0.73	6.46	0.07
20	32	2.8	945.4	6.56	1.06	6.56	0.26
21	30	2.91	904.8	6.36	1	6.52	0.93
22	30	3	921	6.28	0.87	6.51	0.74

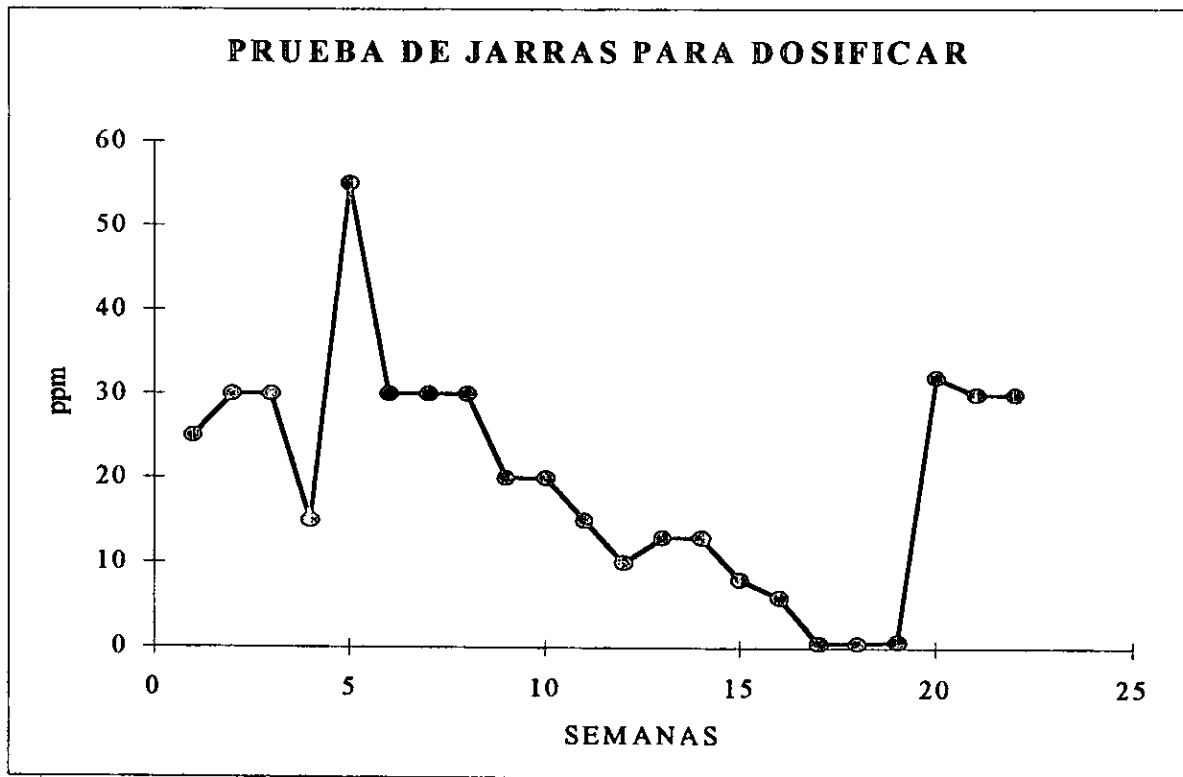


Fig. III. 2.1.- En esta figura se observa la diferencia que existe entre la concentración de los diferentes reactivos adicionados a el proceso (coagulantes, desinfectante, cal), así como las variaciones existentes en cada etapa del proceso, en el cual de acuerdo a el método que se siguió se demuestra que realmente el proceso se comporta de acuerdo a las condiciones de operación, así como a el tipo de reactivo que se adiciona para el tratamiento del agua.

La prueba de Jarras se efectuó antes de dosificar el proceso, ya que este parámetro es de gran importancia para saber la concentración de reactivo que se adiciona al proceso, tanto en la planta piloto como en La Potabilizadora Los Berros.

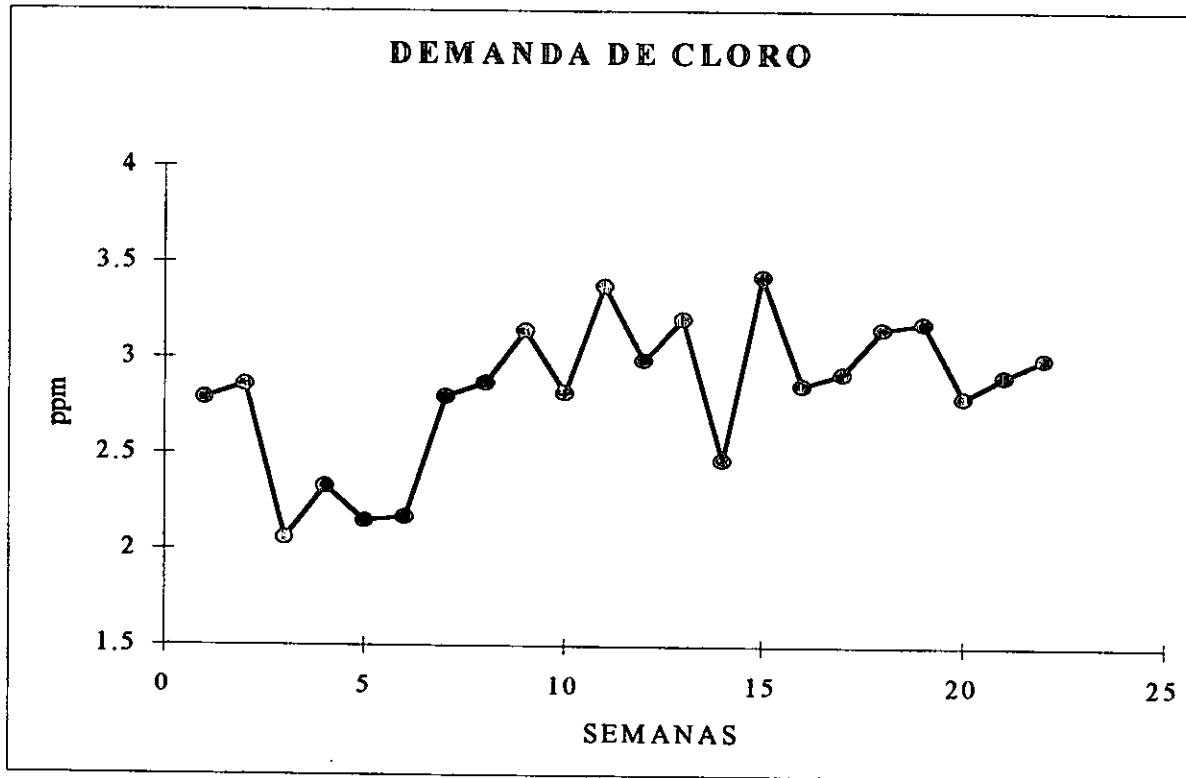


Fig. III.2.2.-En la demanda de cloro se requiere la cantidad de cloro para eliminar algunos microorganismos (bacterias), en esta figura se observan las dosis requeridas por el agua para tal efecto, estas dosis están en función del cloro libre residual que queda en el agua después de su tratamiento, lo que garantiza que al haber cloro libre se esta efectuando de manera adecuada la desinfección del agua.

Parámetro	Valor
Máximo	3.43
Mínimo	2.06
Media	2.83
Desviación estándar	0.38

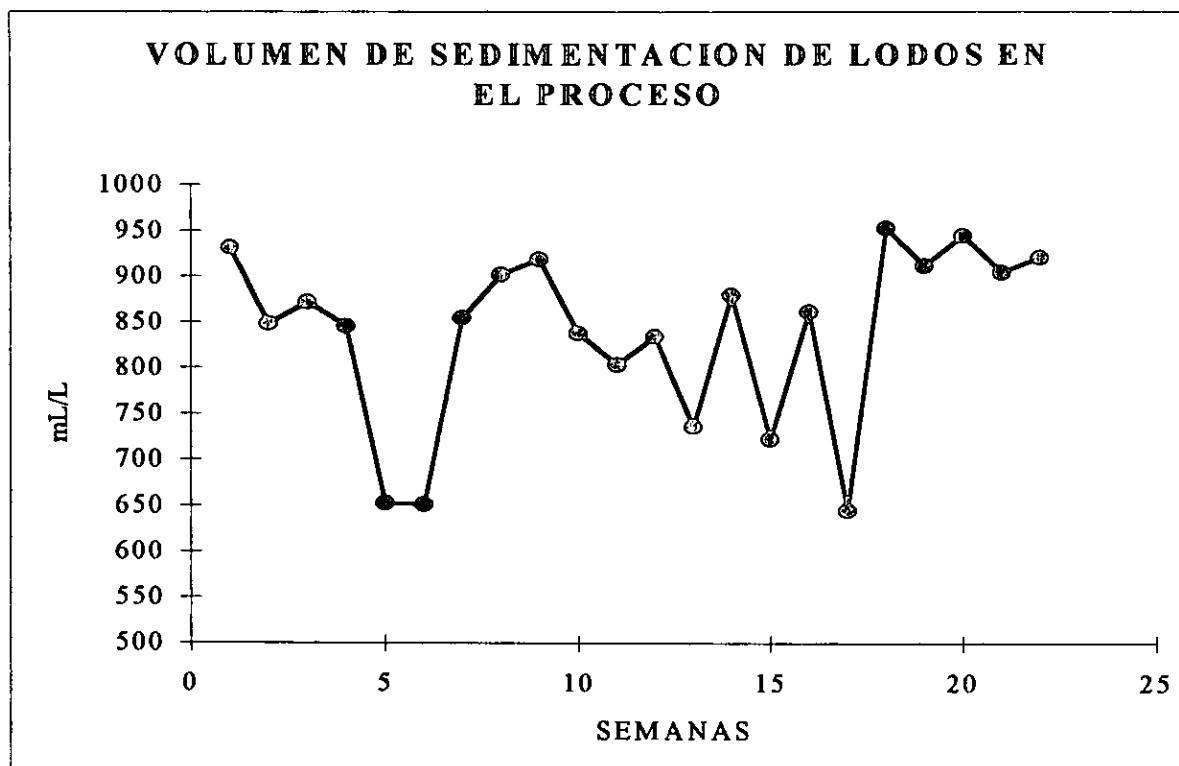


Fig. III.2.3.-Volumen de sedimentación de lodos. Aquí se observa la gran diferencia entre el volumen obtenido en los lodos en el transcurso del tiempo de tratamiento de agua. Esto se debe en gran parte a que la calidad del agua que llega para ser tratada es diferente de acuerdo a el lugar de donde se lleva a el Sistema Cutzamala, (Villa Victoria, Chilesdo, Colorines, Valle de Bravo, Tuxpan, El bosque, Ixtapan del Oro), así como este volumen también depende de el reactivo que se este utilizando como coagulante, debido a que algunos de ellos actúan de una manera que hacen que los sólidos sedimenten de una manera rápida y eficiente, como es el caso del los polímeros y del cloruro férrico que se evaluaron.

Parámetro	Valor
Máximo	953.3
Mínimo	645.4
Media	838.15
Desviación estándar	96.68

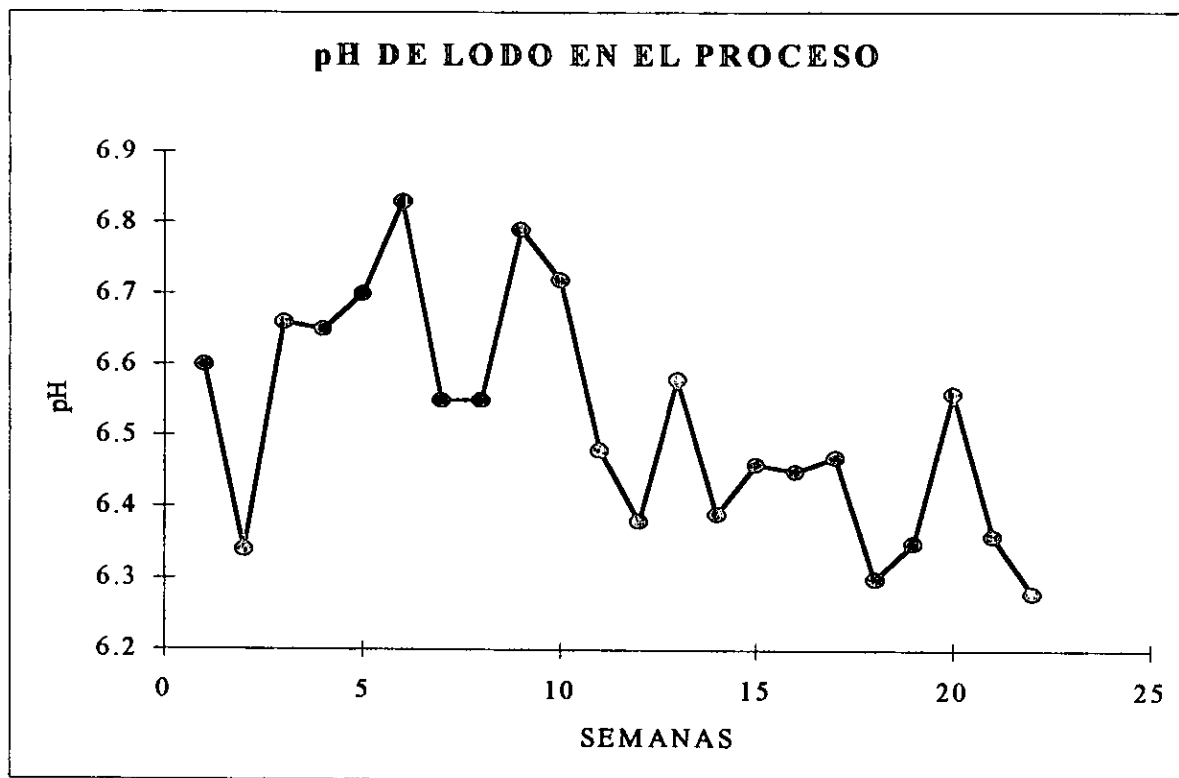


Fig.III.2.4.- En esta figura se observa el cambio de pH del lodo en el transcurso del tiempo. De acuerdo a los resultados obtenidos, el pH no tiene gran variación, como se esperaría de acuerdo al coagulante que se utilizara en el proceso, porque los polímeros no cambian las propiedades físicas del agua, en comparación con los coagulantes metálicos que estos tienen las propiedades de acidificar ligeramente el agua.

Parámetro	Valor
Máximo	6.83
Mínimo	6.28
Media	6.52
Desviación estándar	0.16

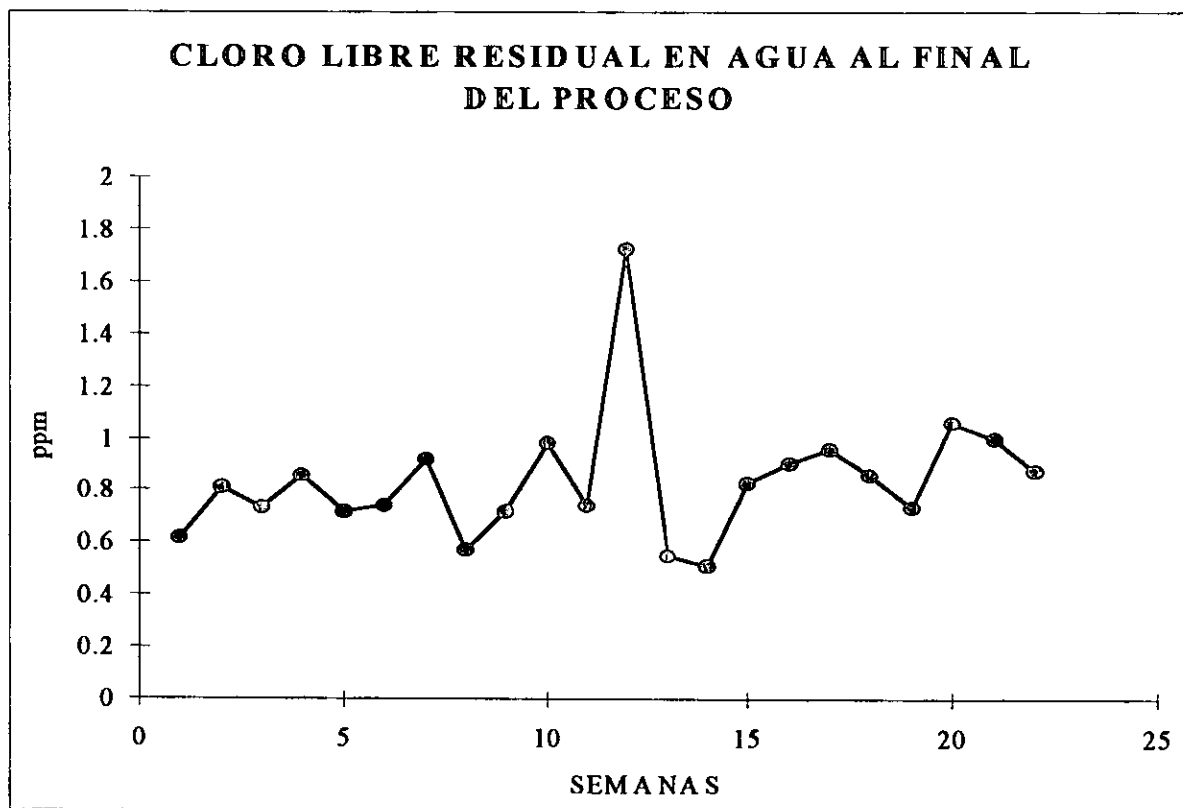


Fig. III.2.5.-En esta figura se observa el cambio de cloro libre residual del agua final con respecto a el tiempo. En donde la cantidad de cloro libre es la cantidad de cloro que queda en el agua después de someterse a un tratamiento de desinfección por cloro. Observándose en los resultados que no existe variaciones en la cantidad de cloro libre en el agua final, solo cabe mencionar que todos los valores rebasan las normas establecidas por la NOM-127-SSA1-1994 para agua clorada (0.2 ppm), no así para agua sobreclorada (1.5 ppm). Esta sobrecloración se debe a que como el agua del sistema Cutzamala se distribuye a la ZMCM no es posible que llegue el agua con trazas de cloro, por el contrario existen puntos intermedios en donde se tiene que dosificar nuevamente cloro para garantizar la desinfección.

Parámetro	Valor
Máximo	1.72
Mínimo	0.51
Media	0.84
Desviación estándar	0.25

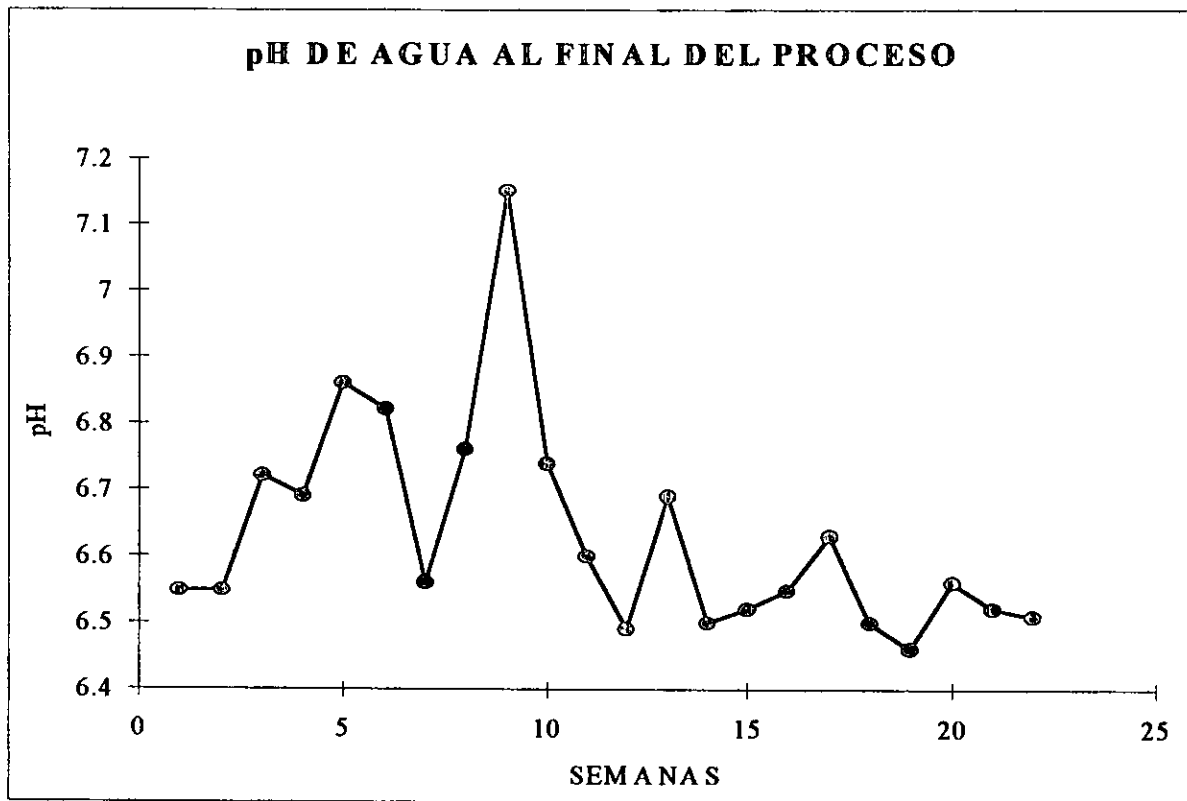


Fig. III.2.6.-En esta figura se observa la variación en el pH del agua al final del proceso en el transcurso del tiempo. Dónde todos los resultados tienen un comportamiento parecido entre si, reflejado en la desviación que presentan estos. Se hubiera esperado que en este valor al hacer el tratamiento de agua adicionando coagulantes metálicos mas cal aumentara el valor de manera significativa, pero no fue así, talvéz por que al pasar por los filtros el agua pudo haber trazas de coagulante metálico que reaccionaran de alguna manera con esta agua y así acidificarla ligeramente. Aun así los valores de pH cumplen con las normas establecidas por la secretaria de salud, tabla 1.7.2.

Parámetro	Valor
Máximo	7.15
Mínimo	6.46
Media	6.63
Desviación estándar	0.16

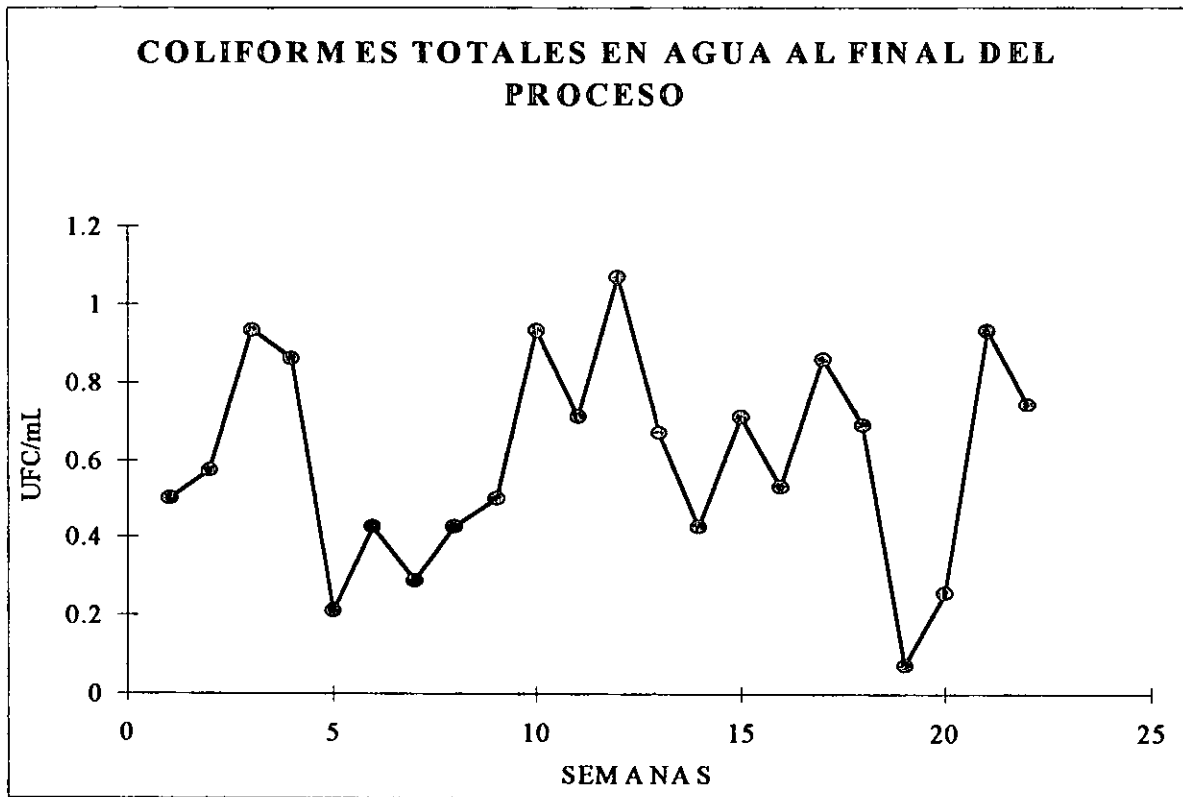


Fig. III.2.7.-En esta figura se observa el número de colonias de coliformes en 100 mL de agua en el transcurso del tiempo. En donde los resultados obtenidos son satisfactorios, al no haber desviaciones entre ellos, esto nos indica que en realidad el cloro adicionado al agua hace su efecto desinfectante en el proceso, aunque se debe mencionar que a lo mejor la sobrecloración en el proceso nos llevo a estos resultados, pero de alguna manera, estos son satisfactorios, porque cumple con los límites establecidos por la NOM, tabla 1.7.2, y así se garantiza que el agua potabilizada tiene un mínimo de bacterias.

Parámetro	Valor
Máximo	1.07
Mínimo	0.07
Media	0.61
Desviación estándar	0.27

Tabla III.2.2: Valores de los diferentes parámetros de análisis del agua en 22 semanas

Semanas	S.S.T.			Turbiedad			Dureza Total			Dureza Cálctica			Alcalinidad		
	Inicio ppm	Medio ppm	Final ppm	Inicio UNT.	Medio UNT.	Final UNT.	Inicio ppm	Medio ppm	Final ppm	Inicio ppm	Medio ppm	Final ppm	Inicio ppm	Medio ppm	Final ppm
1	85	26	0	10.2	1.8	0.84	*	*	*	*	*	*	*	*	*
2	390.5	80.42	0.66	11.41	1.73	0.91	*	*	*	*	*	*	*	*	*
3	53.43	31.71	0.29	6.91	1.56	0.77	*	*	*	*	*	*	*	*	*
4	23	15.5	2.5	10.7	3.01	0.97	*	*	*	*	*	*	*	*	*
5	36.33	16.66	0.4	6.77	1.6	0.7	*	*	*	*	*	*	*	*	*
6	60.66	13.33	1	8.31	2.16	1	50.15	49.37	48.71	36.9	39	55	28.86	29.3	45.12
7	44	28.86	7.14	27.86	10.3	1.71	53.71	52.12	56.19	29.21	29.12	36.9	30.19	28	27.33
8	83.71	14.29	1.57	11.86	5.7	0.71	52.8	52.8	52.12	26	33.32	39.32	31	29	26.67
9	14.66	9.33	0.66	10.84	4.63	0.86	51.19	50.26	50	21.87	23.6	31.2	54.66	50.67	52.66
10	29	13.63	8.66	9.45	5.62	1.7	53.6	51.66	56.93	36	36.67	34.12	45.33	41.33	50
11	70	10.86	2.16	6.4	5	1.9	52.9	51.79	51.1	30.12	29.17	30.12	45.63	43.1	40.17
12	175.6	15.2	0.4	23	12.6	1.94	49.52	48.71	48.63	25.12	27.12	29.6	48.81	30.42	26.49
13	23	9.5	2.5	10.5	5.5	0.97	51	49.9	48.6	33.19	32.25	30.91	36.14	31.15	29.42
14	55	14	1	12.3	2.1	0.87	52.83	51.76	59.9	39.13	41.16	63.12	50.33	54	58.33
15	43.71	15.71	0.57	10.26	3.15	0.97	54	51.43	51.71	34	25.71	24.57	47.7	39.33	33.29
16	51.42	14.86	0.86	7.34	6.21	0.91	43.7	51.42	46.97	25.51	24.82	24.17	49.79	38.22	34.48
17	46	14	6	16.24	1.17	1.02	50.57	44.09	49.33	28.78	29	29.77	51.56	38.94	36.46
18	111.3	76	1.33	11.73	2.24	0.8	51.9	50.12	49.97	33.25	33.2	31.17	54.1	40.91	38.44
19	110.3	27.33	2.16	8.74	1.92	0.77	50.88	46.83	56.33	22.23	22.4	23.61	33.3	22.48	22.87
20	380	7.66	1	34.2	3.44	0.6	54.46	52.82	53.23	27.11	27.8	28.86	32.05	23.91	24.46
21	455	40	4	82.1	17.35	0.52	53.15	51.43	49.33	24.2	24.28	24.04	29.61	23.28	23.13
22	412.3	33.33	1	59	2.02	0.81	50.27	49.37	48.63	27.39	25.56	25.36	47.25	32.78	30.92

* En estas semanas no se incluyeron estos análisis.

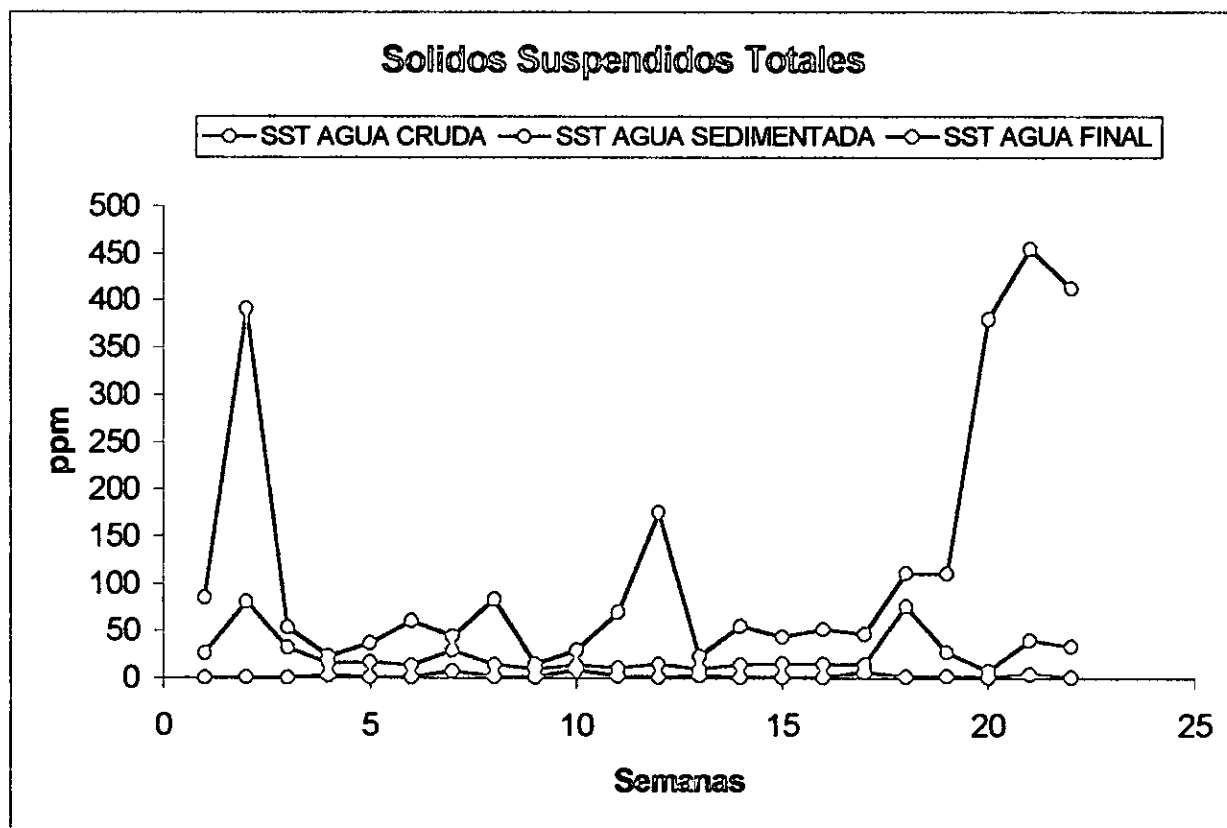


Fig. III.2.8.- En este caso al inicio del proceso al igual que la turbidez, las diferentes características de las presas y del agua que proviene de ellas dan la pauta para que está contenga en algunos casos altas concentraciones de sólidos. Durante el tratamiento estos sólidos disminuyen al adicionarles coagulantes (polímeros, sulfato de aluminio y cloruro férrico) que los hacen precipitar en forma de flóculos generando los lodos. Al final después de ser filtrada el agua, el número de sólidos suspendidos totales han disminuido casi en su totalidad y según la norma están dentro de los límites permisibles (tabla 1.7.2) con lo que se asegura la eliminación de partículas que pueden alterar la calidad del agua en cuanto a transparencia de esta por lo que el proceso de potabilización se realizó adecuadamente al ser evaluado este parámetro.

Parámetro	Valor		
	Agua cruda	Agua sedimentada	Agua final
Máximo	455	80.42	8.66
Mínimo	14.66	7.66	0
Media	125.18	24.01	2.08
Desviación estándar	142.31	19.60	2.33

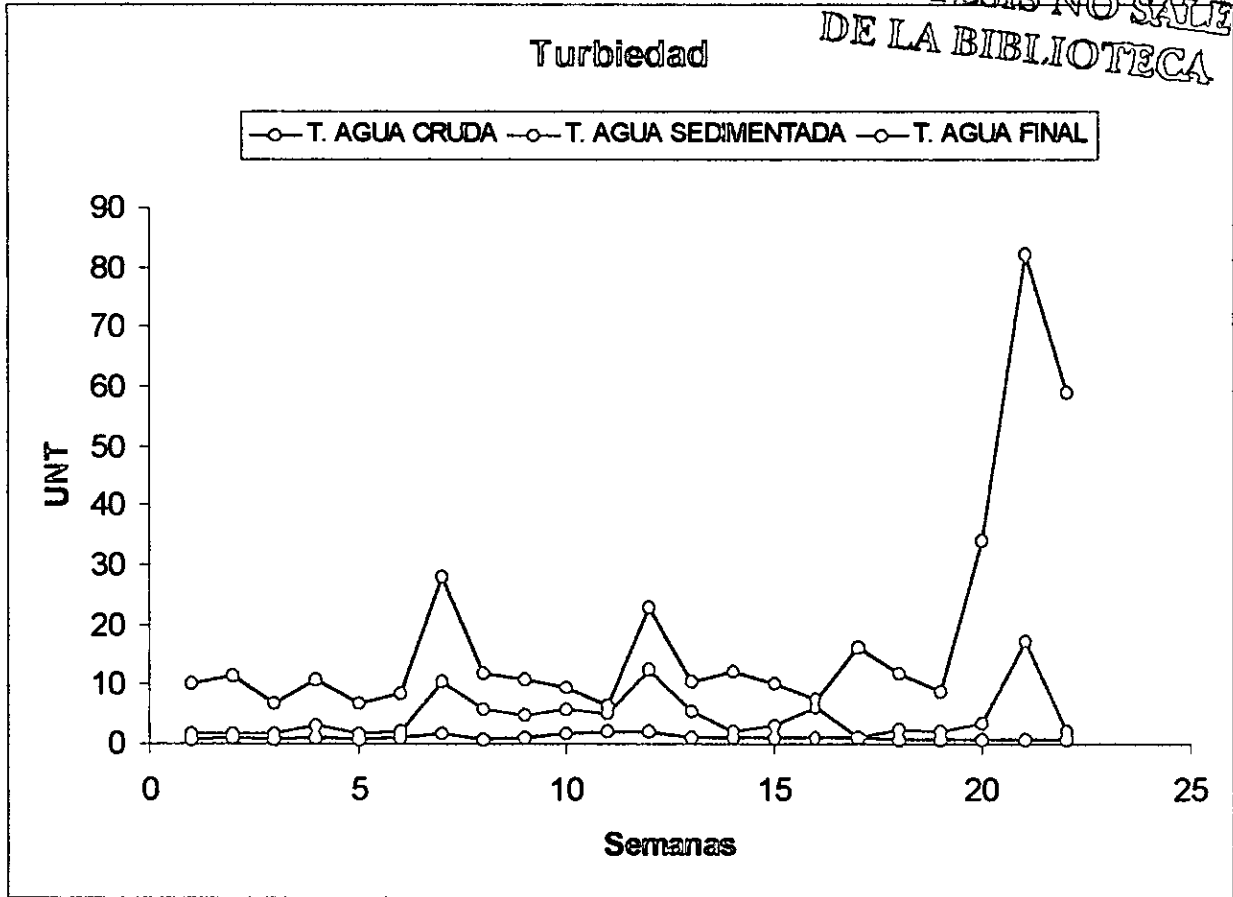


Fig. III.2.9.- En esta figura se muestra la condición del agua por medio de la turbiedad en diferentes etapas del proceso de potabilización (al inicio, durante y al final). El comportamiento al inicio es debido a que el agua suministrada proviene de diferentes presas por lo que la turbiedad depende de las características de la composición del agua y de la variabilidad de la turbidez es diferente cada día. Durante el tratamiento la turbidez disminuye significativamente debido a los coagulantes y la condición del agua es más constante al hacer está medición. Al final del tratamiento el agua obtenida de los filtros cumple en su totalidad con las especificaciones de las normas oficiales (tabla 1.7.2.). Siendo de esta manera el agua apta para consumo humano o para diferentes usos industriales ya que la transparencia de está es un parámetro importante para darle uso.

Parámetro	Valor		
	Agua cruda	Agua sedimentada	Agua final
Máximo	82.10	17.35	1.94
Mínimo	6.40	1.17	0.52
Media	18.00	4.58	1.01
Desviación estándar	18.72	4.07	0.41

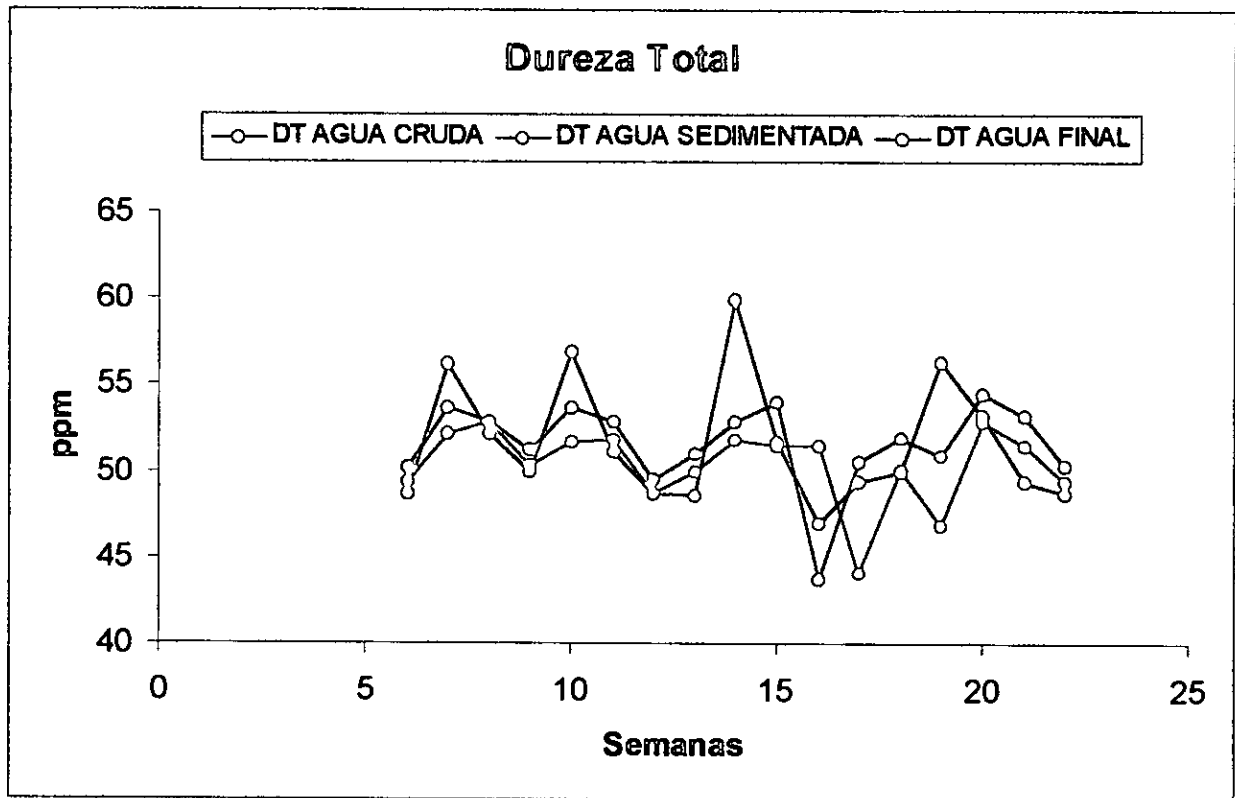


Fig. III.2.10.- La dureza total en las tres etapas del proceso no presenta diferencia entre los resultados obtenidos a excepción de la decimocuarta semana en donde el tratamiento se realizo con cloruro férrico y cal, aumentando ligeramente el valor de la dureza debido a la acción de los iones calcio, ya que la dureza total esta determinada por los iones calcio y magnesio. La dureza del agua también afecta al consumidor, no solo en salud, sino también en cuanto a actividades domésticas (lavar), si el agua es demasiado dura evita la formación de espuma y hace que aparentemente el lavado no sea el deseado. En este caso el agua que se obtuvo es considerada blanda-moderadamente blanda (tabla 1.5.1.), cumpliendo con los límites establecidos por la NOM. (tabla 1.7.2.)

Parámetro	Valor		
	Agua cruda	Agua sedimentada	Agua final
Máximo	54.46	52.82	59.90
Mínimo	43.70	44.09	46.97
Media	51.57	50.35	51.63
Desviación estándar	2.53	2.25	3.67

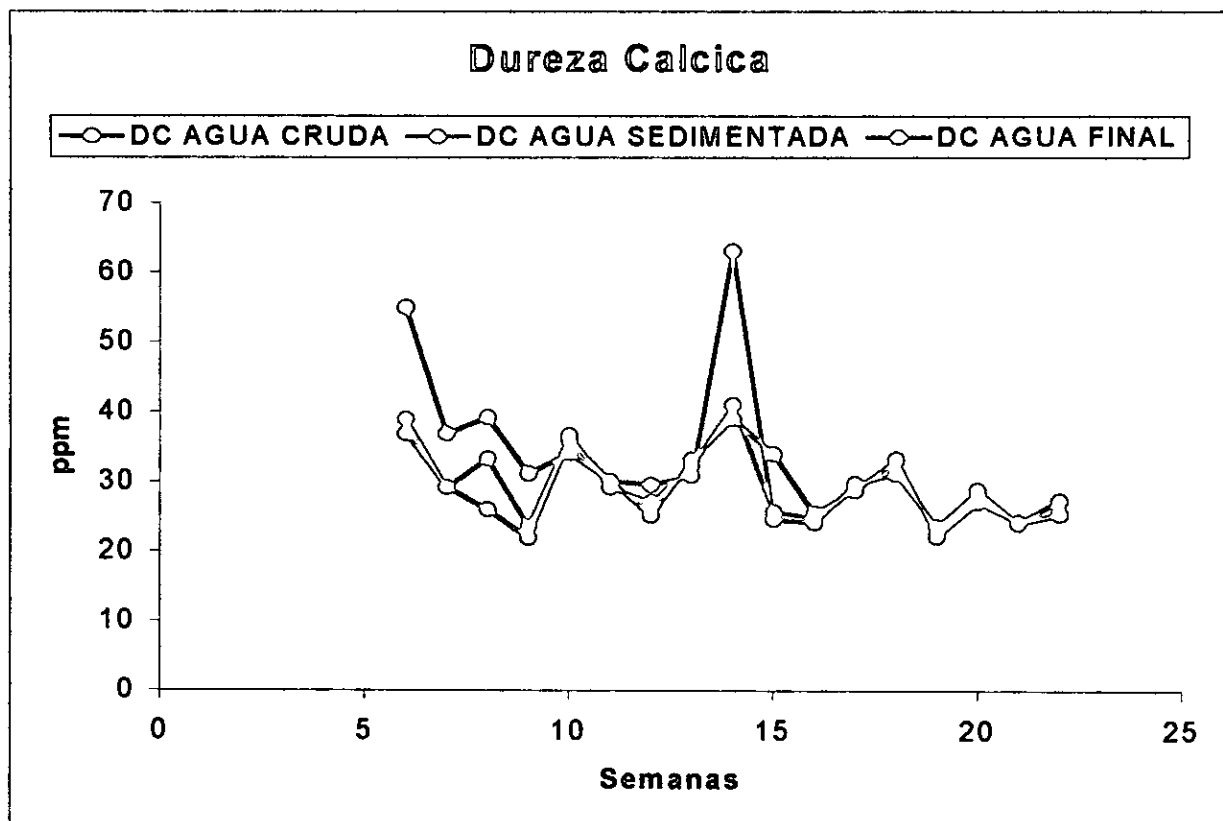


Fig. III.2.11.- En la dureza cálcica al igual que en la dureza total, durante las etapas del proceso los resultados son similares como lo muestra la figura. Pero en el caso de la sexta y decimocuarta semanas en las cuales se adiciono cal al proceso para alcalinizar el agua, la dureza cálcica toma valores ligeramente altos al finalizar el proceso como era de esperarse. Pero este factor no afecta a la calidad del agua debido a que los valores están dentro de especificaciones de la norma (tabla 1.7.2.). Considerandose entonces el agua obtenida blanda-moderadamente blanda (tabla 1.5.1.).

Parámetro	Valor		
	Agua cruda	Agua sedimentada	Agua final
Máximo	39.13	41.16	63.12
Mínimo	21.87	22.40	23.61
Media	29.41	29.66	33.05
Desviación estándar	5.21	5.51	10.84

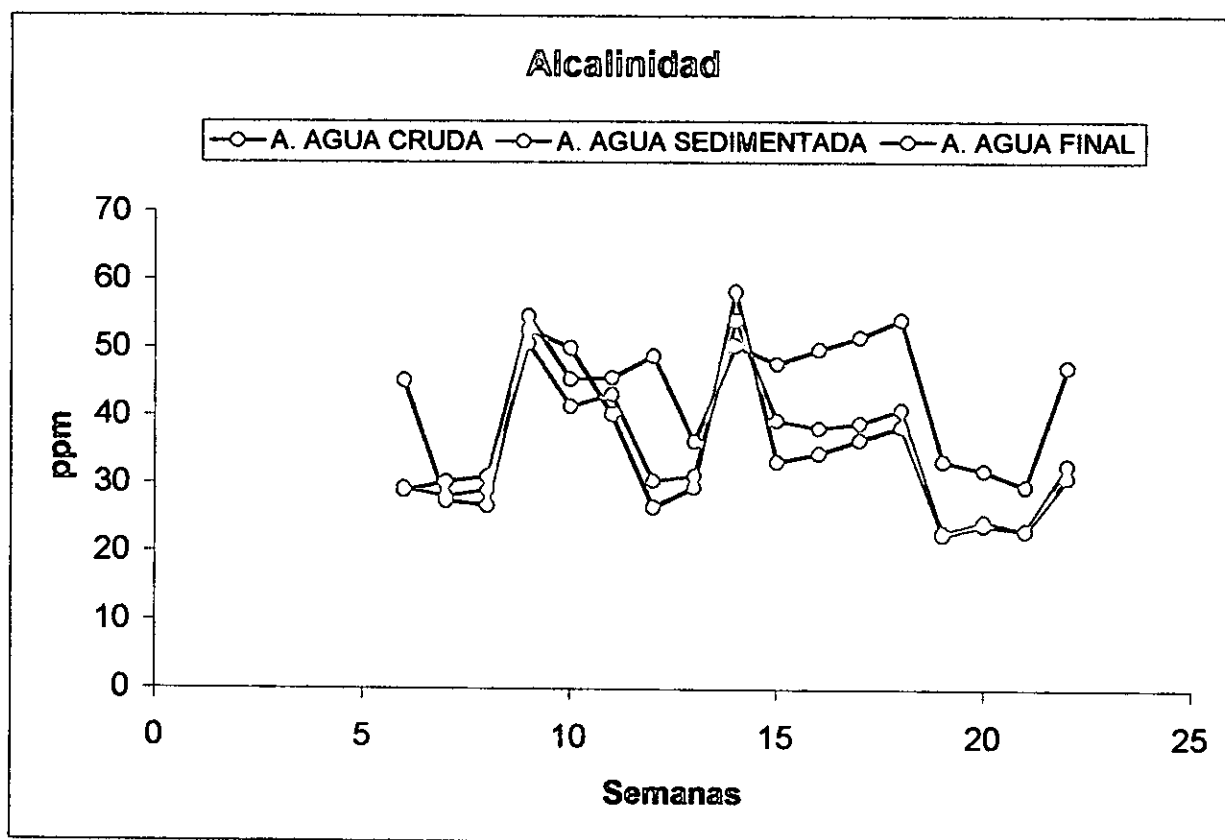


Fig. III.2.12.- La alcalinidad al inicio, durante, y al final del tratamiento de potabilización tuvo un comportamiento uniforme, es decir las variables del tratamiento no afectan este parámetro. Teniendo un mínimo aumento en la sexta y decimocuarta semanas, que fue donde se adiciono cal al proceso. La alcalinidad le da carácter básico al agua el cual debe de estar dentro de ciertos parámetros especificados en la NOM (tabla 1.7.2.). No obstante la alcalinidad es una medida que está en función del pH que puede ser en beneficio o perjuicio según sea el uso del agua, si se es demasiado alcalina el agua puede originar la formación de sales en las tuberías originando un serio problema en el sistema de distribución, por otro lado si el pH es demasiado ácido origina corrosión en el sistema de distribución.

Parámetro	Valor		
	Agua cruda	Agua sedimentada	Agua final
Máximo	54.66	54.00	58.33
Mínimo	28.86	22.48	22.87
Media	42.14	35.11	35.31
Desviación estándar	9.53	9.24	10.82

CAPITULO IV CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

IV.1.-CONCLUSIONES

El sulfato de aluminio acidifica el agua, por lo que se puede sustituir por cloruro férrico, o en su defecto por polimeros, ya que estos no cambian las propiedades físicas del agua. También se puede mezclar cal con sulfato de aluminio para alcalinizar el agua. Lo que es cierto es que los polimeros aunque son caros actúan muy bien como coagulantes, y son una alternativa muy tentadora para ser utilizados en el tratamiento, ya que su costo se reduce al hacer comparación con el sulfato de aluminio y cloruro férrico de acuerdo a las concentraciones a las cuales estos se manejan. El cloruro férrico actúa mejor como coagulante que el sulfato de aluminio, por lo que se puede usar como alternativa en el tratamiento de agua.

Dentro de la operación de la planta, en la unidad de mezcla rápida se deben adicionar los reactivos dentro de la masa de agua y no en la superficie, ya que de esta manera el reactivo tiene mejor contacto con el agua y optimiza el proceso de mezclado.

En la cámara de floculación se debe variar el gradiente de agitación de los motores al variar el caudal de entrada de agua al 50 y 200% del valor normal (1 Lps).

En la unidad de sedimentación, la variación en el volumen de sedimentación de lodos depende en gran parte de la calidad de agua cruda que llega, así como de el reactivo que se este utilizando como coagulante. Los lodos que se obtienen contiene todavía un porcentaje considerable de agua, por lo que estos lodos todavía se someten a tratamiento con polimeros para que se compacten más y posteriormente se desechen.

Los filtros rápidos de arena son eficientes en el tratamiento de agua, debido a sus características como lo son la granulometría y la carga de estos, así como su lavado. Estos filtros rápidos de arena pueden ser sustituidos por antracita, pero no existe diferencia alguna en los resultados del agua que pasa por estos dos diferentes medios. En consecuencia, lo más ideal es que se sigan utilizando estos filtros, pero se mejore su técnica de lavado de los mismos ya que se desperdicia demasiada agua, tiempo y energía en el Sistema Cutzamala, por lo que se recomienda utilizar el método alterno propuesto por la Planta Piloto Potabilizadora.

La Planta piloto cumple con normas de la Ley General de Salud, NOM-127-SSA1-1994, LGEE y Criterios Ecológicos en México, de acuerdo a la importancia que tiene los análisis de laboratorio, que dieron la pauta para poder concluir en el estudio de los diferentes cambios de operación en la Planta piloto, ya que estos al ser comparados con los resultados de los estándares de agua en nuestro país, cumplen con los requisitos para agua potable en México.

Todos los resultados, operacionales, así como de análisis, se pueden extrapolar a la Potabilizadora los Berros, debido a las características de diseño de la planta Piloto. Con lo que toda la información obtenida se proporcionó a la CNA para que determinen si hacen cambios pertinentes en las condiciones de operación y/o adición de productos químicos, para rehabilitar y ampliar las instalaciones del Sistema Cutzamala y poder de esta manera enviar más agua a la ZMCM. En la cuál cada vez es más la demanda de tan vital líquido por innumerables familias pertenecientes a esas y otras localidades que dependen del agua tratada del Sistema Cutzamala.

IV.2.-RECOMENDACIONES

- a) En la unidad de mezcla rápida se recomienda utilizar los reactivos (sulfato de aluminio, cloruro férrico, hipoclorito de sodio y cal), dentro de la masa de agua y no en la superficie, esto para que se promueva mejor la interacción de los reactivos con el agua.
- b) Se recomienda a la CNA. Incrementen la velocidad de mezclado en la unidad de mezcla rápida, debido a que solo su mezclado es promovido por turbulencia, ocasiona que no se efectúe adecuadamente la coagulación-floculación.
- c) En la cámara de floculación se recomienda utilizar los valores de agitación propuestos por la Planta Piloto, cuando se varía el caudal al 50 y 200%.
- d) Los polimeros se deben adicionar en la segunda cámara de floculación, debido a que se promueve en ese lugar, la formación ideal de los floculos para poder efectuar un mejor tratamiento.
- e) En la filtración se recomienda utilizar el método de retrolavado propuesto por la Planta piloto potabilizadora (aire y agua en etapas sucesivas).
- f) En la dosis de sulfato de aluminio se recomienda utilizar dosis menores de 30 ppm, o las requeridas por medio de las pruebas de jarras, ya que se notó que en el Sistema Cutzamala no tenían un buen método para cuantificar la cantidad de reactivo adicionado al proceso. Por lo que se sobredosificaba el proceso o le faltaba coagulante y de esta manera se ocasiona un inadecuado tratamiento de agua.
- g) En las pruebas de análisis de laboratorio se recomienda contar con métodos más modernos de análisis, ya que los métodos utilizados no satisfacen las características de las dimensiones de la planta potabilizadora.
- h) El cloruro férrico se recomienda ampliamente debido a los resultados que se obtuvieron en la planta piloto.
- i) El sulfato de aluminio mezclado con cal, se recomienda a concentraciones < de 30 ppm y 1.2 ppm de cal.
- j) El cloruro férrico mezclado con cal se recomienda a concentraciones menores de 15 ppm y 1.08 ppm de cal.
- k) Cuando se varia el caudal de entrada de agua a la mitad (50%), se recomienda el sulfato de aluminio a concentraciones < de 15 ppm y con cloruro férrico < 15 ppm.
- l) Cuando se varia el caudal al 200% se recomienda el sulfato a concentraciones de 50 ppm y de cloruro férrico < 20 ppm. Tambien se recomienda tener sumo cuidado con los filtros, ya que estos como tienen mayor tasa de filtrado, se tapan más rápidamente.
- m) En el caso de la mezcla de coagulantes metálicos con polimeros, se recomienda utilizar el polimero aniónico, ya que la mayoría de las veces el agua tiene un carácter ligeramente ácido. Reaccionando favorablemente en la formación del floculo.

- n) Los polimeros por si solos, al ser aplicados se recomiendan ampliamente debido a las bajas dosis de estos que se utilizan. Pero tienen el inconveniente de ser caros para el tratamiento de agua. Por lo que es preferible mezclarlos con los coagulantes metálicos como método alternativo.
- o) Cuando se trata agua de alta turbidez con sulfato de aluminio como coagulante, se recomienda hacer la prueba de jarras correspondiente y tratar de dosificar lo más exacto la cantidad indicada. Ya que talvez se vea impresionante la turbiedad del agua cruda, pero en realidad el material coloidal es el que reacciona con el sulfato y pudiera ser que se formaran más fácilmente los floculos a las mismas concentraciones que cuando el agua llega sin tanta turbiedad.

BIBLIOGRAFÍA

- 1.-Leal, M., Chavez, V. y Larralde, L. *Temas Ambientales de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México*. Ed. Secretaria de Ecología, Comisión Ambiental Metropolitana, Proyecto Universitario del medio Ambiente, SEMARNAP, México, 1996.
- 2.-González, H., González, F. y Ramos, C., *México Grandes presas*, Ed. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, C.N.A., Dirección General de Infraestructura Agrícola, México, 1991.
- 3.-C.N.A., *Situación del Subsector Agua Potable y Alcantarillado y Saneamiento a Diciembre de 1995*, Ed. Kavers, México, 1997.
- 4.-C.N.A., *Ley Federal de Derechos en Materia de Agua, Ley de Contribución de Mejoras por Obras Públicas Federales de Infraestructura Hidráulica*, Ed.. Comisión Nacional del Agua, México, 1991.
- 5.-C.N.A., *Sistema Cutzámala, Agua Potable Para Millones de Mexicanos*, Ed. Comisión Nacional del Agua, México, 1994.
- 6.-Gray, N., *Drinking Water Quality, Problems and Solutions*, Ed. John Wiley and Sons, England, 1994.
- 7.-Tebbutt, T, *Fundamentos de la Calidad del Agua*, Ed. Limusa, México, 1990.
- 8.-Nalco, A, *Manual del agua*, Tomo I y II. Ed McGraw Hill, México, 1990
- 9.-Hammer, M. y Hammer, M. Jr., *Water and Wastewater Technology*, 3ª ed. Ed. Prentice Hall, U.S.A., 1996.
- 10.-Buzzi, R., *Chemical Hazards at Water and Wastewater Treatment Plants*, Ed. Lewis Publishers, U.S.A., 1992.
- 11.-Rodier, J., y Col., *Análisis de las Aguas Naturales, Aguas Residuales, Aguas de Mar, Físicoquímicos, Bacteriológicos y Biológicos*, 2ª ed. Ed. Omega, España, 1990.
- 12.-Grenberg, A., Clesceri, L. And Eaton A., *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, Ed. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation, U.S.A., 1992

- 13.-Stanier, R., Adelberg, E., Ingraham, J., *Microbiología*, 4ª ed., Ed. Repla, México, 1996.
- 14.-Guinea, J., y col., *Análisis Microbiológicos de Aguas, Aspectos Aplicados*, Ed. Omega, España, 1979.
- 15.-Gleick, P., *Water in Crisis, A Wide to the Worlds Fresh water Resources*, Ed. Oxford University Press, U.S.A., 1993.
- 16.-C.N.A., *Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento*, 2ª ed., Ed. CNA, México, 1996.
- 17.-Dalmacija, B., Karlovic, E., Tamas, Z., et al, *Purification of High-Salinity wastewater by Activated Sludge Process*, *Water Research*, 1996;30(2): 295-298.
- 18.-Dean, A., *Water and Wastewater Examination Manual*, Ed. Lewis Publishers, U.S.A., 1990.
- 19.-Jih-Fen, K., Ching-lin, C., James, F., et al, *Evaluation of Four Different Tertiary Filtration Plants for Turbidity Control*, *Water Environment Research*, 1995; 66(7): 879-886.
- 20.-EPA., *Methods for Chemical Analysis of Water and Wastes*, Ed. Enviromental Monitoring and Support Laboratory, Office of Rsearch and Development, Enviromental Protecticon Agency, U.S.A., 1982
- 21.-Robert, J., Sheldon, J., *Coagulation and Precipitation of a Mechanical Pulping Effluent-I, Removal of Carbon, Colour and Turbidity*, *Water Research*, 1996; 30(4): 781-792
- 22.-Pichardo, B., Díaz, C., Gómez, L., *Centro Interamericano de Recursos del Agua*, 2ª ed., Ed. López Máynez, México, 1996
- 23.-Desbordes, M., Deutscher, D., Frerot A., *El Agua de Lluvia en las Ciudades*, *Mundo Científico*, 1990., 104(10): 752-766.
- 24.-Matthew, L., Stanley, R., *Métodos de laboratorio*, 2ª ed., Ed. Interamericana, México, 1985.
- 25.-Junkin, E., *Agua y Salud Humana*, Ed. O.M.S., Limusa, México, 1988.
- 26.-Pérez, F., *Todo lo que Querias Saber Sobre Coagulación y Floculación*, Ed. Poliquimicos S.A. de C.V., México, 1996.
- 27.-Cary, J., *Drinking Water Hazards, How to Know if There Are Toxic Chemicals in your Water and What to do it There Are*, Ed. Envirographics, U.S.A, 1990

- 28.-Taro, U., Kazuo, Y., Shishiro, O., *Evaluation of Virus Removal in Membrane Separation Processes Using Coliphage Q β* , *Water Science and Technology*, 1993; 28(7): 9-15
- 29.-Bribiesca, J., *Hidrología Histórica del Valle de México*, Revista de Ingeniería Hidráulica en México, México, 1960.
- 30.-D.D.F., *Programa de Uso Eficiente del Agua*, Ed. Dirección General de Obras de Construcción y Operación Hidráulica, México, 1990.
- 31.-D.G.C.O.H., *Alcantarillado 2000, Estrategia Para la Ciudad de México*, Ed. Sec. General de Obras, D.D.F., México, 1994.
- 32.-Secretaría de Desarrollo Social, Instituto Nacional de Ecología., *Informe de la Situación General en Materia de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente. 1993-1994*, México, 1994

Abrebiaturas

ZMCM.	Zona Metropolitana de la Ciudad de México
NOM	Norma Oficial Mexicana
LGEEPA	Ley General de Equilibrio Ecológico Para Aguas
CEM	Criterios Ecológicos de México
CNA.	Comisión Nacional del Agua
Lps	Litros por segundo
m ³	metros cúbicos
m ³ /s	metros cúbicos por segundo
DF.	Distrito Federal
L/s	Litros por Segundo
Km	Kilómetros
m.s.n.m.	metros sobre el nivel del mar
h/d	horas por día
Kv	Kilovolts
Mw	Megawats
Hp	Caballos de fuerza
SARH.	Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos
DDF.	Departamento del Distrito Federal
L/h/d	litros por hora diariamente
ppm.	Partes por millon = 1 mg/L
P.M.	Peso molecular
m ³ /m ² *d	metro cúbico por metro cuadrado diariamente
mm	milímetros
Kpa	Kilopascal
QOV.	Químicos Orgánicos Volátiles
QOS.	Químicos Orgánicos Sintéticos
ARN.	Ácido Ribonucleico.
ADN.	Acido Desoxirribonucleico
P	plástico
V	Vidrio
DQO.	Demanda Química de Oxígeno
DBO.	Demanda Bioquímica de Oxígeno.
FM.	Filtro de Membrana.
UFC/ml	Unidades Formadoras de Colonias por Mililitro.
EDTA.	Etilen Diamina Tetra Acetato.
UNT.	Unidades Nefelométricas de Turbidez.
SST.	Sólidos Suspendidos Totales.
m ³ /s/L	metros cúbicos por segundo por litro.
m/d	metro por día.
GT.	Gradiente de Agitación.
Rpm.	Revoluciones por minuto.
L/m ² /d	Litros por metro cuadrado diariamente.