



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
"ZARAGOZA"

"ESTUDIO DE LA DESINFECCIÓN CON CLORO DEL  
EFLUENTE FILTRADO PROVENIENTE DE UN PROCESO DE  
TRATAMIENTO PRIMARIO AVANZADO CON DIVERSAS  
TECNOLOGIAS, Y QUE SERÁ DESTINADO PARA REÚSO  
AGRÍCOLA"

T E S I S

PARA OBTENER EL TITULO DE:

I N G E N I E R O Q U Í M I C O

PRESENTA:

JOSE LINO JARDINES ORTEGA.



DIRECTORA DE TESIS:  
M. en I. ALMA CHÁVEZ MEJÍA



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



FACULTAD DE ESTUDIOS  
SUPERIORES  
\*ZARAGOZA\*

JEFATURA DE LA CARRERA DE  
INGENIERIA QUIMICA

OFICIO: FESZ/JCIQ/024/2000

**ALUMNO: JARDINES ORTEGA JOSÉ LINO**  
**P r e s e n t e.**

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

<b>Presidente:</b>	<b>I.Q. Gonzalo Rafael Coello García</b>
<b>Vocal:</b>	<b>M. en I. Alma C. Chávez Mejía</b>
<b>Secretario:</b>	<b>I.Q. Arturo Enrique Méndez Gutiérrez</b>
<b>Suplente:</b>	<b>I.Q. Andrés Aquino Canchola</b>
<b>Suplente:</b>	<b>I.Q. José Antonio Zamora Plata</b>

Sin más por el momento, reciba un cordial saludo.

**A T E N T A M E N T E**  
**"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPIRITU"**  
México, D. F., 8 de Junio del 2000.

**ING. ARTURO E. MENDEZ GUTIERREZ**  
**JEFE DE LA CARRERA**

## DEDICATORIAS

A Dios

Mis padres

En la loca carrera de la vida fueron mi faro, de uno la fuerza y entereza por alcanzar las metas, el ímpetu de no conformarme y materializar todos mis sueños, del otro la paz y tranquilidad, el amor al trabajo y la sensibilidad del corazón; de ambos la esperanza de alcanzar el equilibrio en mi vida. Por ustedes y para ustedes en ofrenda.

Angélica.

"Amarás y respetarás.....en lo prospero y en lo adverso, en la salud y en la enfermedad.....lo que Dios ha unido no lo separe el hombre.  
En tributo a lo más bello que ha sucedido, nuestro amor.

Humberto, Luis, Antonio, Maribel, Juan Carlos

Por todo lo vivido, todo lo aprendido, por ser remanso y estar ahí; por la amistad entrañable que no quebranta el tiempo y que en comunión somos uno.

Karla, Luis Felipe, José Carlos

En sus incipientes vidas están las esperanzas de sus padres, mi anhelo de éxito y por enseñarme la belleza simple de la vida, por ustedes.

Alma

Por el apoyo brindado, la paciencia y por ser ejemplo de entereza. Con respeto y admiración.

**"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"**

"Estoy aquí, descubriendo el significado de la razón, encontrando sentido a todo aquello que anhelo y que no poseo.

Estoy buscando un orden en todas las cosas, ensayando a cada instante la premisa de ser el mejor.

Ardua lucha que día a día desgasta mi ignorancia y fortalece mi espíritu.

Más cruel paradoja entre más conozco encuentro nuevos paradigmas y la distancia entre lo verdadero y lo imaginario se hace infranqueable.

Ante la adversidad tengo las mejores armas: el deseo de aprender, la necesidad de entender todo aquello que me rodea, todas aquellas almas que tienen puesta su confianza en mí, y no solo hablo del hogar hablo de todas aquellas personas que esperan de sus universitarios las respuestas a todo ese tiempo invertido y los conocimientos cimentados en el trabajo de mis profesores.

Ahora estoy aquí enfrentándome a la incertidumbre de la realidad, frente a mí se abre un mundo de problemas que resolver.

Me reafirmo como Ingeniero Químico y en el título llevo la insignia de servicio, de progreso y conocimiento al servicio de nuestra universidad, de nuestra sociedad.

En la fiesta de la vida, a mi lado existe un ser superior que alimenta mis sueños, que dibuja mi existencia, un mágico ser que llena de luz mi camino y en su sonrisa todo mi futuro se vislumbra. Entre sus brazos todo es posible y en el diario respirar su mano me fortalece y me convence de que el límite no existe y juntos luchamos, rodilla en suelo, con ahínco por bajar nuestros sueños."

Por nuestro triunfo.

**CONTENIDO**

<b>LISTA DE TABLAS</b>	<b>i</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b>	<b>iii</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>1</b>
<b>OBJETIVO Y METAS</b>	<b>2</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>3</b>
<b>2. ANTECEDENTES</b>	<b>6</b>
2.1 Importancia de una administración sustentable de los recursos hídricos superficiales nacionales	7
2.2 Problemas existentes por el riego de cultivos con aguas negras sin tratar	11
2.3 Aspectos sanitarios y necesidades de desinfección	12
2.4 Tratamiento de agua residual	16
2.4.1 Sistema de tratamiento previo a la desinfección, tratamiento físico-químico	18
2.4.2 Proceso de desinfección	21
2.4.2.1 Formas Físicas de desinfección	22
2.4.2.2 Formas Químicas de desinfección	25
2.4.3 Factores que influyen en la eficiencia de la desinfección	28
<b>3. FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LA CLORACIÓN</b>	<b>33</b>
3.1 Mecanismos de desinfección con cloro	34
3.2 Ventajas y desventajas de la desinfección con cloro	46
3.3 Teoría en el diseño de tanques cloradores	47
3.4 Diseño de tanques cloradores	49
3.5 Conceptos necesarios para la construcción de cloradores de serpentín	51

<b>4. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL</b>	<b>54</b>
4.1 Pruebas de tratamiento, filtración y desinfección en lotes	56
4.1.1 Simulación del proceso del TPA y la filtración	57
4.1.2 Simulación de la cloración en pruebas lote	58
4.2 Pruebas de desinfección en lote	59
4.2.1 Tratamiento Primario Avanzado y Filtración en continuo con desinfección en lote	59
4.2.1.1 Efluente proveniente de la planta ATLATEC (Sistema de sedimentación de alta tasa)	60
4.2.1.2 Efluente proveniente de la planta DEGREMONT (Densadeg®)-Filtración	63
4.2.1.3 Efluente proveniente de la planta MICROSEP (Actiflo®)	66
4.2.1.4 Efluente proveniente de la planta OTV (Actiflo®)-Filtración	68
4.2.1.5 Efluente proveniente de la planta US FILTER (Clarifloculación®)-Filtración	71
4.3 Evaluación de la cloración en continuo para el filtrado de un TPA	74
4.4 Evaluación del recrecimiento bacteriano durante la desinfección	78
<b>5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>80</b>
5.1 Pruebas en lote	81
5.1.1 Simulación del TPA, filtración y cloración	81
5.2 Desinfección en lote a partir de un efluente del TPA	86
5.2.1 Desinfección en lote para la planta Degremont	89
5.2.2 Desinfección en lote para la planta OTV®	94
5.2.3 Desinfección en lote para la planta U.S. FILTER®	98
5.2.4 Desinfección en lote para la planta Microsrp	102
5.2.5 Desinfección en lote para la planta Atlatec	105
5.3 Desinfección en continuo	107
5.3.1 Desinfección en continuo para la planta Degremont	107
5.3.2 Desinfección en continuo para la planta OTV	112
5.3.3 Desinfección en continuo para la planta US-FILTER®	114
5.4 Comparación de la desinfección de los efluentes filtrados de las diferentes tecnologías del TPA	116
5.5 Evaluación del recrecimiento bacteriano durante la desinfección en continuo	120

6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	123
7.	BIBLIOGRAFÍA	127
	ANEXOS	131
	Datos de la desinfección en pruebas de lotes	
	Datos de la desinfección en continuo	

**LISTA DE TABLAS**

Tabla 1.	Patógenos comúnmente encontrados en el agua cruda	14
Tabla 2.	Tiempos de supervivencia de patógenos (20-30°)	15
Tabla 3.	Aplicabilidad de procesos para acondicionar agua residual para reúso agrícola	17
Tabla 4.	Eficiencia de remoción del TPA	20
Tabla 5.	Clasificación de los filtros a profundidad	21
Tabla 6.	Valores C*T para diferentes organismos y cloro como desinfectante	32
Tabla 7.	Valores de la constante de ionización del ácido hipocloroso a diferentes temperaturas	36
Tabla 8.	Dosis típicas de cloro para efluentes tratados	45
Tabla 9.	Ventajas y desventajas de la desinfección con cloro	46
Tabla 10.	Criterios de mezclado	57
Tabla 11.	Parámetros a evaluar en la simulación del TPA	57
Tabla 12.	Parámetros a evaluar en la simulación de la desinfección	58
Tabla 13.	Etapas principales de un TPA convencional con sedimentación de alta tasa	61
Tabla 14.	Etapas principales de un TPA con manto de lodos y sedimentación de alta tasa	64
Tabla 15.	Etapas principales de un TPA lastrado con microarena y sedimentación de alta tasa, Actiflo®	69
Tabla 16.	Especificaciones técnicas del tanque clorador	76
Tabla 17.	Especificaciones técnicas del clorador	76
Tabla 18.	Parámetros fisicoquímicos y biológicos a evaluar	77
Tabla 19.	Simulación de la cloración con 40 mg/L de Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	82
Tabla 20.	Comparación del tiempo de contacto en la desinfección en lotes	84
Tabla 21.	Comportamiento de la cloración en dosis eficientes	85
Tabla 22.	Datos de la cloración en prueba de lotes. Degremont	90
Tabla 23.	Comportamiento de la cloración en dosis eficientes	93
Tabla 24.	Datos de la cloración en lotes. OTV	95
Tabla 25.	Comportamiento de la desinfección. OTV	96
Tabla 26.	Datos de la cloración en prueba de lotes. US-FILTER	99
Tabla 27.	Comportamiento de la desinfección. US-FILTER	100
Tabla 28.	Datos de la cloración en prueba de lotes. Microsep	102
Tabla 29.	Comportamiento de la desinfección. Microsep	103
Tabla 30.	Datos de la cloración en pruebas de lotes. ATLATEC	106
Tabla 31.	Comportamiento de la desinfección Atlatec	107

---

Tabla 32	Remoción promedio de colonias de coliformes fecales con respecto a dosis de cloro y tiempo de contacto	108
Tabla 33	Comportamiento de la cloración con gas para el efluente Degrémont	110
Tabla 34	Remoción de Coliformes Fecales, desinfección con cloro gas. OTV	112
Tabla 35	Comportamiento de la cloración con gas para el efluente OTV	114
Tabla 36	Eficiencia de desinfección en continuo, US-FILTER	115
Tabla 37	Comparación de la calidad de agua desinfectada y proveniente de diversos sistemas de TPA	119
Tabla 38	Remoción de otros microorganismos patógenos durante la desinfección con cloro	120

**LISTA DE FIGURAS.**

Figura 1.	Distrito de Riego 03	10
Figura 2.	Configuración del tratamiento primario avanzado	19
Figura 3.	Acción germicida de la radiación UV	24
Figura 4.	Resistencia a la desinfección por agentes externos	31
Figura 5.	Relación entre la concentración de HOCl y OCl	36
Figura 6.	Cloración en el Punto de Quiebre	40
Figura 7.	Sistema de mezclado cloro gas-agua	48
Figura 8.	Diseño recomendado de cloradores	50
Figura 9.	Diagrama de bloques de la metodología	55
Figura 10.	Esquema de muestreo para la desinfección en prueba de jarras	56
Figura 11.	Equipo de mezclado, prueba de jarras	58
Figura 12.	Vista aérea de "El Salto", Tepeji del Río Hgo.	59
Figura 13.	Diagrama de bloques de la planta piloto Atlatec	62
Figura 14.	Vista de la planta Atlatec	62
Figura 15.	Diagrama de bloques de tratamiento. Degremont	65
Figura 16.	Vista de la planta Degremont	65
Figura 17.	Vista del sistema de filtración. Degremont	66
Figura 18.	Diagrama de bloques de la planta piloto Microsep®	67
Figura 19.	Vista de la planta piloto Microsep®	68
Figura 20.	Esquema de funcionamiento de un TPA con floculación lastrada	70
Figura 21.	Vista del sistema de filtración de OTV	70
Figura 22.	Diagrama de bloques US-FILTER	72
Figura 23.	Vista de la planta US-FILTER	73
Figura 24.	Vista del tanque sedimentador US-FILTER	73

Figura 25.	Esquema del muestreo para la cloración prueba de jarras y continuo	74
Figura 26.	Sistema de bombeo para clorador, Tepeji del Río Hgo.	75
Figura 27.	Equipo de contacto, Tepeji del Río, Hgo.	76
Figura 28.	Desinfección en lotes a diversos tiempos de contacto	83
Figura 29.	Desinfección en lotes para una hora de tiempo de contacto	86
Figura 30.	Desinfección en lotes para dos horas de tiempo de contacto	87
Figura 31.	Desinfección en lotes para tres horas de tiempo de contacto	88
Figura 32.	Desinfección para el efluente Degremont	92
Figura 33.	Cloro libre en los tiempo de contacto y dosis de cloro establecidos	94
Figura 34.	Cloro combinado en los tiempo de contacto y dosis de cloro establecidas	94
Figura 35.	Desinfección para el efluente OTV	96
Figura 36.	Cloro libre en tiempo de contacto y dosis establecidas	97
Figura 37.	Cloro combinado en tiempo de contacto y dosis establecidas	98
Figura 38.	Desinfección para el efluente US-FILTER	100
Figura 39.	Cloro libre en tiempo de contacto y dosis establecidos	101
Figura 40.	Cloro combinado para 120 y 180 minutos	101
Figura 41.	Desinfección para el efluente Microsep	103
Figura 42.	Cloro combinado en tiempo de contacto y dosis establcidas	104
Figura 43.	Cloro libre en tiempo de contacto y dosis establecidos	105
Figura 44	Desinfección para el efluente Atlatec	106
Figura 45	Desinfección en continuo para Degremont, 8 mgCl <sub>2</sub> /L	109
Figura 46	Desinfección en continuo, Degremont, 9 y 10 mg Cl <sub>2</sub> /L	109

Figura 47	Compórtamiento del cloro libre y combinado durante la desinfección en continuo para Degremont, 10 mgCl <sub>2</sub> /L y 3 horas de TC	111
Figura 48	Desinfección en continuo con 10, 11, y 12 mgCl/L. OTV	113
Figura 49	Comportamiento de desinfección en continuo, US-FILTER	115
Figura 50	Comparación de la remoción de Coliformes Fecales de los tres procesos	118
Figura 51	Comparación de turbiedad de los tres procesos	118
Figura 52	Recrecimiento Bacteriano para 8, 10 y 12 mgCl <sub>2</sub> /L y hasta 48 horas de TC	120
Figura 53	Remoción de microorganismos empleando 12 mgCl <sub>2</sub> /L y diversos tiempos de contacto	122

## RESUMEN

La presente tesis surge ante la necesidad de tratar el agua residual generada en el Valle de México y que es utilizada para riego en el Valle del Mezquital, Hgo. Este tratamiento tendrá la finalidad de reducir el riesgo a la salud de la población, así como evitar la contaminación en el suelo y el acuífero en el Valle del Mezquital. El tratamiento seleccionado deberá disminuir la concentración de patógenos, sin eliminar los nutrientes que proporcionan valor al agua residual para su reúso agrícola. El Tratamiento Primario Avanzado (TPA) reduce la concentración de Huevos de Helminto a valores por debajo de los establecidos en la NOM/001/ECOL/96; sin embargo los demás patógenos no sufren variaciones considerables, por lo que además se propone adicionar gas cloro como agente desinfectante.

El presente estudio analiza la desinfección del efluente filtrado de un proceso de TPA y el recrecimiento bacteriano en el efluente clorado. Para la evaluación a nivel piloto se convocó a cinco empresas que están a la punta en tecnología de tratamiento de agua: Degremont, OTV, US-Filter, Microsep y Atlatec, las cuales instalaron plantas piloto en la salida del Emisor Central en Tepejí del Río, Hgo. Degremont, OTV, y US-Filter complementaron el TPA con filtración, adicionando filtros de arena sílica.

Tomando como indicador a los Coliformes Fecales se estudió la simulación de la cloración y el TPA en un sistema de jarras; en estas condiciones se encontró que fue necesario dosificar  $7 \text{ mgCl}_2/\text{L}$ , en promedio para alcanzar a reducir la concentración de Coliformes Fecales a menos de  $1000 \text{ UFC}/100\text{ml}$ , en un tiempo de retención de 30 minutos; para 60 minutos se necesitaron  $6 \text{ mgCl}_2/\text{L}$  y para 90 minutos se dosificaron  $5 \text{ mgCl}_2/\text{L}$ .

De la simulación de cloración de los efluentes de las plantas se encontró que  $8 \text{ mgCl}_2/\text{L}$  y tres horas de tiempo de contacto reducen la concentración de Coliformes a menos de  $1000 \text{ UFC}/100 \text{ ml}$ .

En el análisis de la cloración en continuo de los efluentes de las plantas se encontró que es necesario dosificar  $10 \text{ mgCl}_2/\text{l}$  en tres horas de tiempo de contacto para cumplir con la NOM/001 ECOL/96. El estudio del efluente desinfectado con  $10 \text{ mgCl}_2/\text{L}$  después de 48 horas demostró que existe recrecimiento de microorganismos.

Con esto se concluye que la desinfección con gas cloro es viable para desinfectar el agua tratada por un TPA más filtración, por lo que se recomienda el uso del tren de tratamiento bajo la condición de una correcta operación de todo el sistema

**Objetivo:**

Evaluar la desinfección con cloro para cinco efluentes cuyas tecnologías utilizan el principio de Tratamiento Primario Avanzado, complementada con una filtración rápida, para tratar agua residual municipal destinada para reuso agrícola.

**Metas:**

**Estudiar:**

- ✓ La desinfección con cloro en prueba de lotes, evaluando tiempo de contacto y dosis de cloro necesarios para alcanzar la concentración de coliformes fecales que establece la NOM/001/ECOL/96 para reuso agrícola.
- ✓ La desinfección con cloro en sistema continuo, determinando tiempo de contacto y dosis de cloro necesarios para cumplir con los requerimientos microbiológicos que establece la NOM/001/ECOL/96, como límites de concentración de coliformes fecales, para agua de reuso agrícola.
- ✓ El efecto de la desinfección con cloro después de un tiempo de contacto prolongado en la regeneración de microorganismos patógenos, (recrecimiento de microorganismos).



## 1. INTRODUCCIÓN

## 1. INTRODUCCIÓN

Actualmente, se considera que en el Valle de México se generan, en promedio, 45 m<sup>3</sup>/s, de agua residual que es la mezcla de las descargas domésticas, industriales y comerciales. No obstante, en drenajes se transportan alrededor de 13 m<sup>3</sup>/s (promedio anual) de agua de lluvia, confiriéndole a las descargas una variabilidad en cantidad y calidad a lo largo del año, (British Geological Survey, 1995).

El empleo más importante del agua residual del Valle de México es el riego del Valle del Mezquital; gracias a ello esta zona semiárida se ha transformado en una zona agrícola de gran importancia en la región. El uso de agua residual permite la alta producción de maíz, alfalfa, frijol, entre otros, sin la necesidad de emplear fertilizantes. Aunque parecería conveniente dejar el agua residual sin tratar, estudios efectuados por el Instituto Nacional de Salud Pública, muestran que la incidencia de enfermedades transmitidas en niños que radican en zonas donde se riega con agua residual sin tratar, es 13 veces mayor que en el resto de la población infantil, (Cifuentes, 1993)

Dadas las características microbiológicas que este tipo de descargas presentan, para el saneamiento de estas aguas es necesario contar con la infraestructura adecuada para su depuración, misma que debe ser determinada en función del uso posterior o del sitio de disposición final del líquido (British Geological Survey, 1995).

Puesto que la transmisión de las enfermedades se realiza por el contenido microbiológico del agua residual, bastaría controlar este componente para obtener el beneficio del reúso sin sus consecuencias. Para lograrlo es necesario responder a dos preguntas esenciales: cómo asegurar que el agua sea microbiológicamente segura y qué tratamiento emplear para ello.

Elegir el proceso que asegure la calidad de agua que pide la normatividad (NOM/001/ECOL/96), es de suma importancia. De acuerdo a estudios realizados por el Instituto de Ingeniería de la UNAM, en un periodo de cuatro años, una alternativa viable de tratamiento es el sistema físico-químico denominado

Tratamiento Primario Avanzado (TPA), y aunque este tratamiento presentó una gran versatilidad de operación y un efluente propio para riego de ciertas especies, (riego restringido), es necesario complementarlo con una filtración; con ello se logra reducir la concentración de Huevos de Helminto a la norma ecológica vigente ( $HH < 1$   $HH / L$ ) (Jiménez, 1998). Además de la remoción de huevos de helminto lograda mediante la filtración, se ha encontrado necesaria la utilización de un sistema de desinfección para el control de organismos patógenos, tomando como indicador a los coliformes fecales, y de esta manera alcanzar las recomendaciones indicadas en la norma NOM/001/ECOL/96, ( $< 1000$  UFC/100ml).

El uso de desinfectantes para el control de los organismos patógenos se remonta a principios de siglo. En la evolución de la ciencia se han generado nuevos y eficientes sistemas de desinfección. Emplear cloro como desinfectante, quizá sea la práctica de desinfección más utilizada.

Con intención de validar esta opción de desinfección, se presenta una evaluación de la desinfección con cloro en un sistema en lote y un proceso continuo de efluentes provenientes de un sistema TPA, previa filtración, y cuyo fin es el reúso agrícola.

Para enmarcar la situación que origina la necesidad de la desinfección del efluente filtrado de un Tratamiento Primario Avanzado, se presenta en el capítulo dos, la problemática existente, la filosofía del proyecto y los antecedentes técnicos que sustentan la tratabilidad del agua residual del Valle de México, describiendo las operaciones unitarias involucradas en el proceso de tratamiento: floculación, sedimentación y filtración.

El proceso de desinfección se describe en el capítulo dos, en el cual se analizan algunos mecanismos de desinfección mostrando ventajas y desventajas. En el capítulo tres se presentan las bases teóricas para la práctica de desinfección con cloro. En el cuarto capítulo se presenta la metodología experimental; y finalmente, en el capítulo cinco se muestran los resultados acompañados de las conclusiones y recomendaciones que arroja este análisis.



## 2. ANTECEDENTES

## 2. ANTECEDENTES

### *2.1 Importancia de una administración sustentable de los recursos hídricos superficiales nacionales*

Para el desarrollo de México, es de gran importancia la administración "sustentable" de los recursos naturales. El aprovechamiento óptimo de cada recurso dará la pauta para una cultura ecológica que encamine hacia el entendimiento de los mecanismos naturales de recuperación ambiental.

Apunto de iniciarse el tercer milenio de nuestra era, nos encontramos en una situación ciertamente paradójica: los avances de la humanidad son numerosos y sorprendentes en multitud de campos, aunque no se ha podido resolver el problema de la desigualdad social, la pobreza y la destrucción del medio ambiente.

Uno de los aspectos más importantes y urgentes a tratar es la inconsciente explotación de los recursos hídricos. El bajo costo del suministro de agua potable, la inexistente administración de aguas residuales, así como su creciente demanda para uso agrícola e industrial, hace de éste la incógnita a resolver en la presente década.

Numerosos estudios se han realizado para demostrar la tratabilidad de las aguas residuales; de hecho existen tecnologías apropiadas para tratar cada tipo de agua, sin embargo, su baja y en ocasiones nula remuneración, el costo de operación y mantenimiento, han mermado su aplicación en el país.

Con la nueva normatividad ecológica, (NOM/001/ECOL/1996) se ha promovido el uso de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales e industriales, generando con ello la apertura de líneas de investigación en pos de un mayor entendimiento y mejor administración del recurso que representa el agua acondicionada para riego.

Según economistas del Banco Mundial (Ayres y McCalla, 1996), en estos momentos, cuando iniciamos el siglo XXI, 800 millones de seres humanos pasan hambre; 2 mil millones de personas están expuestas a trastornos por carencia de micronutrientes (por ejemplo vitamina A, yodo y hierro); y más de mil millones sufren retraso mental,

dificultades de aprendizaje y ceguera por esta causa. Irónicamente casi el 75% de los pobres y desnutridos viven en las regiones en donde se producen los alimentos.

La comprensión de los problemas que ponen en riesgo el futuro sustentable del ambiente biofísico de las grandes ciudades, supone un conocimiento de fenómenos aislados e interconectados y que son del dominio apenas de una elite de especialistas.

En síntesis, hace largo tiempo que la zona metropolitana de la Ciudad de México entró en una fase crítica de su ordenamiento territorial y sustentabilidad ambiental.

En posición de dar solución, es necesario partir de lo general para incurrir en lo particular. Con tal visión partiremos del estudio del agua residual del Valle de México, que es reutilizada para riego en el distrito 03 del Valle del Mezquital, (Figura 1), y su relación con la tratabilidad para reúso agrícola sin dejar de tomar en cuenta todos los efectos secundarios de las acciones tomadas, es decir procurando contemplar los aspectos que involucran la reacción de la acción tomada.

El Valle del Mezquital se localiza en la porción suroccidental del estado de Hidalgo, aproximadamente a 70 Km de la Ciudad de México. Su clima es semiárido, con una precipitación media anual de 450 mm y una temperatura media de 18°C, (British Geological Sourvey, 1995).

Actualmente la zona recibe aproximadamente 45 m<sup>3</sup>/seg de aguas residuales no tratadas que se utilizan parcialmente mezcladas con el escurrimiento natural del río Tula, para regar alrededor de 85,000 hectáreas (CNA, 1995).

El Valle posee una amplia infraestructura hidro-agrícola, que consiste en almacenamientos, conducciones y vías de comunicación.

Hasta 1992 se contaba con: 3 presas de almacenamiento, 6 derivadoras así como una red de distribución constituida con 209 Km de canales principales, 39 km de ellos revestidos, además de 365 km de canales laterales teniendo 176 km de canales laterales revestidos (CNA, 1995).

Históricamente puede observarse como ha ido incrementando el área que se sirve de este sistema de riego. En efecto, el crecimiento de la demanda de agua y los beneficios obtenidos con ésta, hace del agua residual un "producto" de interés comercial. En contraste, la tasa de enfermedades gastrointestinales ha aumentado alarmantemente en los pobladores de la zona, por lo que es importante hacer de esta técnica de riego una medida segura.

La presente tesis se desarrolló con el fin de asentar bases que fomenten el reuso de aguas residuales municipales en el riego de terrenos agrícolas, teniendo como eje la utópica "sustentabilidad" de este proceso. Para ello se acopló a un sistema de tratamiento primario avanzado, (TPA) un sistema de filtración y desinfección con cloro.



## *2.2 Problemas existentes por el riego de cultivos con aguas negras sin tratar*

De los errores más lamentables en el desarrollo económico de la zona, es el empleo de aguas negras sin tratamiento en el riego de 85,000 hectáreas, principalmente de maíz y alfalfa, las estadísticas de salud indican que la incidencia de enfermedades gastrointestinales en el Valle está por encima de la medio nacional, así mismo la infiltración de las aguas residuales ha modificado sensiblemente el régimen de flujo y la calidad del agua subterránea en todo el valle, cambiando los regímenes de recarga y descarga del acuífero, además de una restricción en la variación de cultivos en la zona de riego (British Geological Survey, 1995).

A este fenómeno, han contribuido varios factores, entre ellos destacan:

- La alta concentración de agentes patógenos en el agua para riego.
- La aplicación de láminas muy altas (mayores de 2 m/año), con el propósito de compensar la ausencia de suelos o su poca fertilidad.
- La reducida tecnificación de la agricultura.
- La gran capacidad de infiltración de los terrenos tobáceos.

Como resultado de ello:

- ✓ La incidencia de enfermedades gastrointestinales infecciosas en los pobladores de la zona ha aumentado notablemente.
- ✓ Las infiltraciones en los canales y vasos de las presas ha propiciado que la superficie freática regional se haya elevado hasta encontrar nuevas áreas de descarga; así, han brotado manantiales "negros".
- ✓ Se han inundado algunas áreas, y se ha incrementado el caudal base del río Tula hasta 300 Mm<sup>3</sup>/año (CNA, 1995).

Por otra parte, la calidad del agua subterránea se ha deteriorado seriamente debido a los contaminantes acarreados por las aguas residuales procedentes del Valle de México. Las fuentes superficiales muestran una contaminación evidente en los cuerpos y cursos de agua, y las aguas subterráneas han sido modificadas sensiblemente, ya que en una gran extensión de la zona el subsuelo no posee capacidad de atenuación. Así mismo, muchos de los productos agrícolas que se

producen se han convertido en un riesgo para la salud pública regional (British Geological Survey, 1995).

### *2.3 Aspectos sanitarios y necesidades de desinfección*

La protección de la salud pública a través del control de enfermedades causadas por microorganismos patógenos es la principal razón de la desinfección del agua residual; y no sólo eso, esta medida involucra otros aspectos importantes como la reducción de la concentración de huevos de helminto, así como de la materia orgánica, inorgánica, nutrientes, olor, además de mantener la capacidad y calidad de los cuerpos receptores (ríos, lagos, acuíferos, etc.).

Los principales agentes contaminadores biológicos de las aguas residuales son diversos microorganismos patógenos de origen fecal, como virus, bacterias, protozoarios y parásitos. Muchas enfermedades importantes se asocian al agua contaminada por desechos fecales. Algunas de estas enfermedades como las gastrointestinales, ocupan lugares alarmantemente altos como causa de mortalidad infantil en regiones donde la pobreza y la desnutrición son comunes. Así mismo, las enfermedades parasitarias crónicas causan debilidad, conduciendo al individuo a un mayor riesgo de sufrir infecciones por otros microorganismos (Enríquez, 1990).

La ruta más común de infección es por ingestión. Cuando algún individuo presenta una cuadro de infección por bacterias, gran cantidad de microorganismos son evacuados en la materia fecal, que al canalizarse en el drenaje o en exposición directa crea focos de infección en la población.

En la mayoría de las infecciones por bacterias entéricas patógenas existe el estado de portador sano, por lo que en las poblaciones donde tales infecciones son comunes, una proporción alta de individuos sanos excretan altas concentraciones de bacterias patógenas. Dicho estado portador puede variar de semanas hasta toda la vida del individuo (Enríquez, 1990).

Los organismos patógenos que se encuentran en las aguas residuales provienen de desechos humanos que estén infectados o que son portadores de una determinada enfermedad. Los principales organismos patógenos (bacterias, virus, protozoos y helmintos), se presentan en la Tabla 1.

Estos patógenos generalmente causan enfermedades del aparato intestinal como fiebre tifoidea, paratifoidea, disentería. Las diarreas, la poliomielitis, helmintiasis y cólera, entre muchas otras. Estos organismos son responsables de un gran número de muertes al año en países con escasos recursos sanitarios, especialmente en zonas tropicales, (Mara, 1974 y Feachem *et al*, 1983).

La ocurrencia y concentración de microorganismos patógenos en la agua residual cruda depende de diversos factores que incluyen la fuente del agua residual, la salud general de la población, el medio vector o "transmisor de enfermedades" y la habilidad del agente infeccioso para sobrevivir fuera de su huésped, bajo una variedad de condiciones ambientales.

Tabla 1. Patógenos comúnmente encontrados en el agua cruda.

Patógeno	Género y especie	Enfermedades	Dosis infectiva	Concentración (número/100 mL)
<b>Protozoa</b>				
	<i>Entamoeba histolytica</i>	Amebiasis (disentería amebica)		
	<i>Giardia lamblia</i>	Giardiasis		
	<i>Balantidium coli</i>	Balantisiasis (disentería)		
	<i>Cryptosporidium</i>	Cryptosporidiosis,		
<b>Helmintos</b>				1-800
	<i>Ascaris lumbricoides</i>	Ascariasis	1-10	
	<i>Ancylostoma duodenale</i>	Ancilostomiasis		
	<i>Necator americanus</i>	Necatoriasis		
	<i>Ancylostoma</i> (spp)	Cutáneos larva migrans		
	<i>Strongyloides stercoralis</i>	Strongiloidiasis		
	<i>Trichuris trichiura</i>	Trichuriasis		
	<i>Taenia</i> (spp)	Taeniasis		
	<i>Enterobius vermicularis</i>	Enterobiasis		
	<i>Echinococcus granulosus</i> (spp)	Hydatidoso		
<b>Bacteria</b>				
	<i>Shigella flexneri</i> 2 <sup>a</sup>		180	
	<i>Shigella</i> (4 spp)	Shigellosis (dysenteria)	10	1-1,000
	<i>Salmonella typhi</i>	Fiebre tifoidea	10 <sup>4</sup> -10 <sup>7</sup>	
	<i>Salmonella</i>	Salmonellosis		400-800
	<i>Vibrio cholerae</i>	Cólera	10 <sup>3</sup> -10 <sup>7</sup>	
	<i>Escherichia coli</i> (enteropatógena)	Gastroenteritis	10 <sup>6</sup> -10 <sup>10</sup>	
	<i>Yersinia enterocolitica</i>	Yersiniosis		
	<i>Leptospira</i> (spp)	Leptospirosis		
	<i>Legionella</i>	Enfermedad del Legionnaire		
	<i>Giardia lamblia</i>		<10	50-10 <sup>4</sup>
	<i>Clostridium perfringens</i>		1X10 <sup>10</sup>	
	<i>Entamoeba histolytica</i>		20	0-10
	<i>Coliformes fecales</i>			10 <sup>4</sup> -10 <sup>9</sup>
	<i>Streptococcus fecales</i>			10 <sup>4</sup> -10 <sup>6</sup>
	<i>Campylobacter jejune</i>	Gastroenteritis		
<b>Virus</b>			1-10	
	<i>Enterovirus</i> (72 tipos) polio, echo coxsackie, nuevo enterovirus)	Gastroenteritis, anomalías del corazón meningitis y otras		100-50,000
	<i>Hepatitis A Virus</i>	Infecciones hepáticas		
	<i>Adenovirus</i> (47 tipos)	Enfermedades respiratorias, infección en ojos		
	<i>Rotavirus</i> (4 tipos)	Gastroenteritis		
	<i>Parvovirus</i> (3 tipos)	Gastroenteritis		
	<i>Norwalk agente</i>	Diarrea vómito y fiebre		
	<i>Reovirus</i> (3 tipos)	Estabilidad no clara		
	<i>Astrovirus</i> (5 tipos)	Gastroenteritis		
	<i>Calicivirus</i> (2 tipos)	Gastroenteritis		
	<i>Coronavirus</i>	Gastroenteritis		

Adaptada de Feachem *et al*, 1983 y Stanier, 1986

La Tabla 2 presenta los organismos de mayor frecuencia encontrados en el agua residual cruda así como sus expectativas de vida en sistemas comunes. De ellos destacan, los Coliformes Fecales, que se relacionan con las principales enfermedades gastrointestinales del país y que, bajo condiciones favorables sobreviven por largos períodos en el agua, los cultivos y los suelos.

Tabla 2. Tiempos de supervivencia de patógenos (20-30 °C)

TIEMPO DE SUPERVIVENCIA (DÍAS)			
PATÓGENO	AGUA FRESCA Y DRENAJE	CULTIVOS	SUELO
<b>Virus<sup>a</sup></b>			
Enterovirus <sup>b</sup>	<120 pero usualmente <50	<60 pero usualmente <15	<100 pero usualmente <20
<b>Bacterias</b>			
Coliformes fecales <sup>a</sup>	<60 pero usualmente <30	<30 pero usualmente <15	<70 pero usualmente <20
<i>Salmonella spp</i> <sup>b</sup>	<60 pero usualmente <30	<30 pero usualmente <15	<70 pero usualmente <20
<i>Shigella spp</i> <sup>b</sup>	<30 pero usualmente <10	<10 pero usualmente <5	
<i>Vibrio cholerae</i> <sup>c</sup>	<30 pero usualmente <10	<5 pero usualmente <2	<20 pero usualmente <10
<b>Protozoarios</b>			
Quistes de <i>Entamoeba histolytica</i>	<30 pero usualmente <15	<10 pero usualmente <2	<20 pero usualmente <10
<b>Helmintos</b>			
huevos de <i>Ascaris lumbricoides</i>	Algunos meses	<60 pero usualmente <30	Algunos meses

a: En agua de mar, la supervivencia viral es menor y la bacterias es mucho menor que en agua fresca

b: Incluye polio-echo, y coxsackievirus

c: La supervivencia de *Vibrio cholerae* en ambiente acuoso es incierto.

FUENTE: Adaptado de Feacham *et al.*, 1983.

## *2.4 Tratamiento de agua residual*

La manera idónea de poder iniciar la solución al problema de la contaminación que produce el uso inadecuado de las aguas residuales, comienza con la evaluación de los procesos existentes para mejorar la calidad de agua.

En la obligada reflexión que surge de la gran cantidad de agua residual que es generada día con día, y de su empírico aprovechamiento, es necesario comprender que el agua residual sigue siendo agua y "algo más". Como ya se mencionó, la falta de una conciencia de desarrollo sustentable, ha cubierto de paradigmas el reuso del agua residual. Actualmente la reutilización de agua residual ha sido clasificada, según su reuso, por municipal, industrial, agrícola, de recreo y para la recarga de acuíferos (Metcalf & Eddy, 1996).

Entre la gama de procesos que se emplean para el tratamiento del agua residual, se acostumbra distinguir dos grupos: los biológicos y los físico-químicos, combinados con tres niveles de tratamiento: primario, secundario y terciario.

Los procesos biológicos se distinguen por que emplean los microorganismos para eliminar la materia orgánica -principalmente soluble- y se usan asociados con sedimentadores. Se acostumbra considerar que para aguas residuales domésticas son los de menor costo debido a que tiene una baja producción de lodos. Por su naturaleza biológica, estos procesos no se adaptan a influentes de características y condiciones ambientales variables, además de que emplean el nitrógeno y el fósforo del agua.

En los procesos físico-químicos en cambio, se recurre a la adición de reactivos para atrapar y formar flóculos pesados a partir del material coloidal y en suspensión. Debido a que en los lodos (producto del tratamiento) se encuentran tanto los contaminantes originales como los reactivos añadidos, por lo general, los procesos físico-químicos tienen una mayor producción de lodos y en consecuencia, resultan más caros que los biológicos.

Afortunadamente, en la práctica, lo anterior no es necesariamente cierto. Pues por una parte, los procesos biológicos sí eliminan material suspendido por biodegradación con organismos superiores a las bacterias y los físico-químicos

remueven material soluble por adsorción en los flóculos formados. Por otra parte, los costos dependen de una gran cantidad de variables y no sólo del volumen de lodos producidos, por lo que su evaluación para cada tipo de agua es indispensable.

Las características recomendables para agua destinada a riego son (Murcott, 1996):

- ✓ Elevado contenido de materia orgánica.
- ✓ Elevado contenido de nutrientes (nitrógeno y fósforo).
- ✓ Bajo contenido de agentes patógenos.
- ✓ Bajo contenido de metales y compuestos orgánicos tóxicos.

De las diversas tecnologías aplicadas, podemos observar en la Tabla 3, la eficiencia en el tratamiento de las aguas residuales.

Tabla 3. Aplicabilidad de procesos para acondicionar agua residual para riego agrícola

PROCESO	CONTENIDO ORGÁNICO	NUTRIENTES N Y P	PATÓGENOS
Primario	Elevada	Elevada	Elevada
Primario Avanzado	Medio	Medio	Medio Bajo
Lodos Activados	Bajo	Medio	Medio Bajo

Por otra parte, en cuanto a la remoción de nitrógeno y fósforo, prácticamente es imposible diseñar un proceso de depuración que elimine únicamente lo que se desea y mantenga lo que se requiere. La eliminación de estos compuestos en un proceso de lodos activados es de aproximadamente 40 % para el nitrógeno y 15% para el fósforo, valores que se esperan menores para un primario avanzado, (Metcalf & Eddy, 1996).

### *2.4.1 Sistema de tratamiento previo a la desinfección, tratamiento físico químico*

Con el desarrollo de los nuevos floculantes de alto peso molecular es posible manejar dosis bajas de coagulantes (semejantes a las empleadas en los procesos de potabilización), planteando una nueva oportunidad para los procesos físico-químicos en el tratamiento de agua residual doméstica.

Los fundamentos teóricos del proceso primario avanzado tienen que ver con tres aspectos: la desestabilización de sólidos suspendidos, la formación de flóculos y la eliminación de éstos de la suspensión. Los dos primeros aspectos están relacionados con la teoría de la coagulación-floculación y el tercero con el de la sedimentación, (Figura 2).

Existen cuatro configuraciones comunes del tratamiento primario avanzado, (Figura 2).

- a) Tratamiento primario convencional que consiste básicamente en desarenación y sedimentación primaria. Su eficiencia es de 65% en remoción de sólidos suspendidos y 30% en Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), para aguas residuales domésticas convencionales.
- b) Tratamiento primario avanzado que tiene una configuración igual a la anterior pero se añaden reactivos: generalmente emplean cloruro férrico con dosis de 10 a 40 mg/L combinadas con pequeñas cantidades de polímero aniónico. Este proceso remueve entre 80 y 85% de los sólidos suspendidos y 50 a 55% de la DBO. Se adapta muy fácilmente en plantas en operación.
- c) Tratamiento químico primario. En este caso se tiene una unidad de coagulación-floculación antes de la sedimentación. Se emplea con frecuencia en Noruega y Suecia donde el criterio de diseño para la etapa primaria se basa, además en la eliminación de fósforo, en los sólidos suspendidos y la DBO. En este caso, las dosis empleadas son altas de cloruro férrico (150 mg/L), con 0.2 mg/L de polielectrolito aniónico, con eficiencias de más del 90% para los sólidos, 75% para la DBO y 95% para el fósforo en agua residual doméstica.

d) Tratamiento químico de dos etapas. Este proceso se desarrolló en 1980 y consiste en añadir reactivos en dos etapas. La primera es un tratamiento primario avanzado, la segunda es un proceso de floculación. La dosis y el volumen de los reactores son menores. En la Tabla 4 se muestran los tipos de tratamiento primario avanzado, así como sus respectivas eficiencias en remoción de SST(Sólidos Suspendidos Totales), DQO (Demanda química de oxígeno) y fósforo.

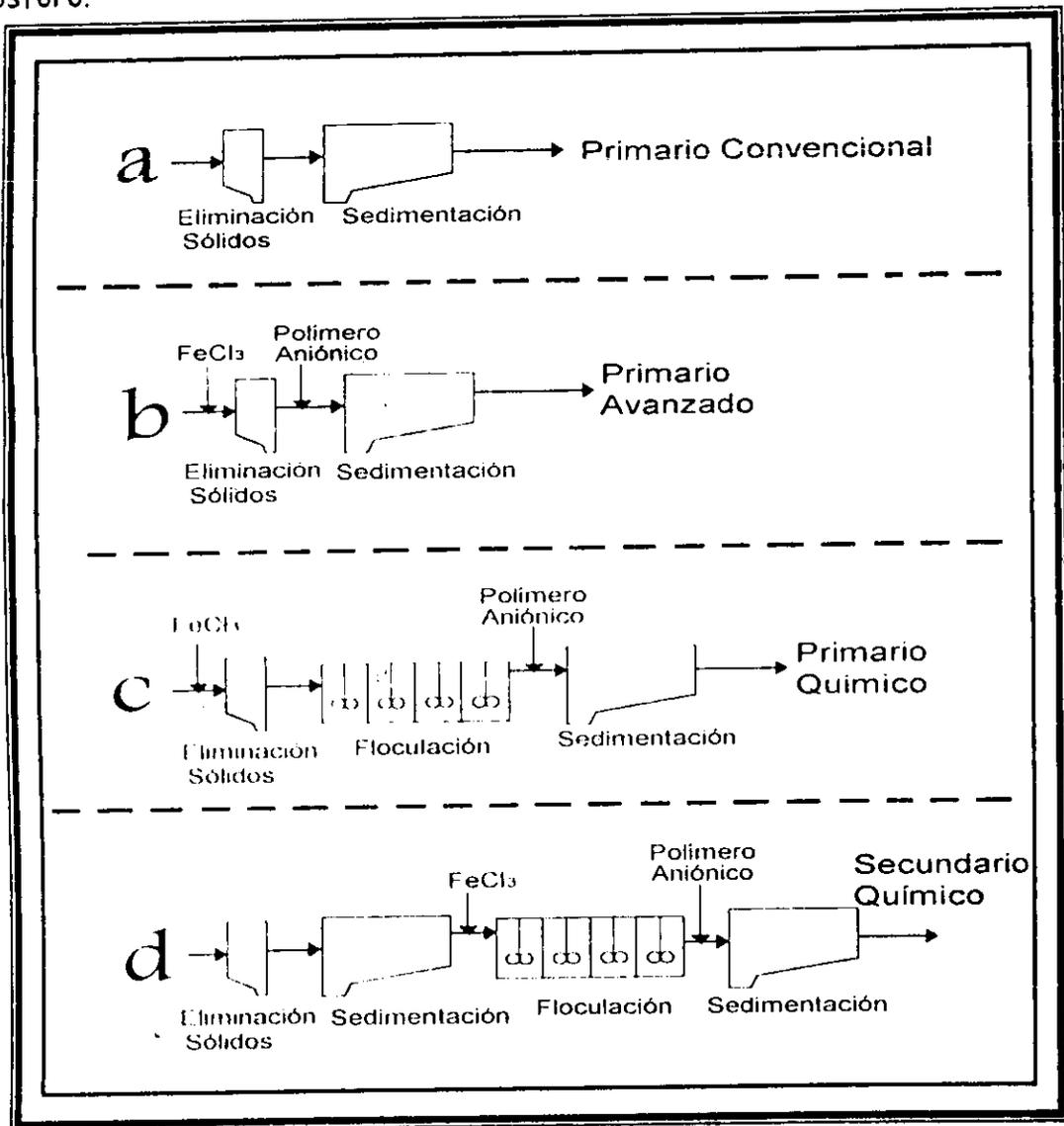


Figura 2. Configuración del tratamiento primario, (Fuente: Shao, 1993).

Tabla 4. Eficiencia de remoción del TPA

PROCESO	CONFIGURACIÓN	% DE SST	%DBO	%P
PRIMARIO CONVENCIONAL	DA + SP	65	30	11
PRIMARIO AVANZADO	(AC)DA + (AP)SP	80-85	50-55	31
FLOCULACIÓN PRIMARIA	(AC)DA + FL + (AP)SP	>90	75	95
FLOCULACIÓN DE DOS ETAPAS	DA + SP + (AP) + SeS	83	52	SD

Da : Desarenación.

SP: Sedimentación primaria.

AC: Adición de coagulante.

AP: Adición de polímero.

FL: Floclador.

SeS: Sedimentación secundaria

SD: sin datos

Sin: datos

ADAPTADO DE. Shao *et al*, 1991

Se ha documentado la remoción de huevos de helmintos por un tratamiento primario avanzado, (Landa, 1996), sin embargo para poder cumplir la normatividad en cuanto a riego restringido es recomendado un sistema de filtración rápida, (Landa, 1996).

La filtración es un proceso físico-químico para separar sólidos suspendidos y materia coloidal de la fase líquida por medio de un material poroso. Este proceso consiste en hacer pasar una mezcla sólido-líquido a través de un medio poroso (filtro) que retiene los sólidos y permite el paso de los líquidos.

Este proceso disminuye la carga de sólidos y material coloidal en el agua, remueve las partículas y materia coloidal no sedimentables después de la floculación biológica o química, incrementa la remoción de sólidos suspendidos, turbiedad, fósforo, materia orgánica (medida como DBO y DQO), metales pesados, asbestos, bacterias y virus, (Jiménez, 1995). Además de mejorar la eficiencia de la desinfección al mismo tiempo reduce el costo de ésta a través de la remoción de materia orgánica suspendida y otras sustancias interferentes.

Dependiendo de la forma en que los sólidos son retenidos, se conocen tres tipos principales de filtración: Superficial, a través de un soporte grueso, a profundidad, Tabla 5.

Tabla 5. Clasificación de los filtros a profundidad (Fuente Jiménez, 1995)

FUERZA MOTRIZ	POR GRAVEDAD A PRESIÓN
Velocidad de filtración	Lentos Rápidos
Tipo de proceso	Convencional Directo
Dirección de flujo	Ascendentes Descendentes Biflujo Horizontales
Medio filtrante	Simples o únicos Dual Combinado o múltiple
Situación en un sistema de tratamiento	Primario Secundario Terciario

#### 2.4.2 Procesos de desinfección

La desinfección se define como la destrucción de microorganismos capaces de causar enfermedades, por lo que puede considerarse el mecanismo esencial para la protección de los seres humanos ante la posible exposición a focos infecciosos o enfermedades causadas por organismos patógenos, incluyendo virus, bacterias y parásitos protozoarios.

La destrucción de patógenos y parásitos, por mecanismos de desinfección, contribuye considerablemente en la reducción del transporte de enfermedades por el agua y ciertos alimentos. No obstante, en años recientes, el hallazgo de subproductos tóxicos en algunos sistemas de desinfección, ha puesto en duda el papel de los desinfectantes. Esto fue reforzado con el aislamiento de organismos que son más resistentes a los desinfectantes tradicionales, que los microorganismos indicadores utilizados.

Además del uso de desinfectantes para la remoción de parásitos y patógenos, algunos desinfectantes (ozono, dióxido de cloro) son también empleados para la

---

oxidación de materia orgánica, fierro y magnesio, así como para controlar problemas de olores y formación de algas.

Es inminente la necesidad de desinfectar aguas tratadas, y la elección del mecanismo de desinfección es parte importante en los costos de la planta, la eficiencia del proceso así como de su posible automatización.

Los organismos patógenos o mueren de manera natural, o son destruidos de manera significativa en el transcurso del tratamiento de agua residual. Esta disminución es útil en el proceso de acondicionamiento, pero no es suficiente, por lo que es necesario emplear métodos químicos o físicos de desinfección en las plantas para inactivar los patógenos restantes.

Debe tenerse cuidado de no confundir la esterilización con la desinfección. La esterilización implica la total destrucción de los organismos vivos del medio. La producción de agua esterilizada es generalmente destinada a investigación, prácticas médicas y en la manufactura de medicamentos (Fair *et al*, 1968),

El proceso de desinfección es una operación por la cual los organismos, potencialmente infecciosos, son liquidados. La operación unitaria de la desinfección puede realizarse por distintos medios: aplicación de calor, luz, agentes químicos oxidantes, ácidos y álcalis, iones metálicos y superficies activadas químicamente

#### *2.4.2.1 Formas físicas de desinfección*

Los organismos patógenos pueden ser dañados empleando medios físicos o químicos. Las formas físicas de desinfección causan una reducción en la concentración de organismos en el medio, o dañan su barrera celular, alterando la fisiología de la célula, causando la muerte del organismo (Singh, 1990). De los agentes físicos de desinfección resaltan por su aplicabilidad los mencionados a continuación.

*a) Sedimentación*

La sedimentación es el proceso por el cual se realiza la decantación de materiales en suspensión por la acción de la gravedad. La decantación natural del material fino, entre ellos, limo y arcillas ayuda a la remoción de las bacterias, decantando más rápidamente los esporulados y los huevos de helmintos, dependiendo su eficiencia del tiempo de retención y el sistema de flujo en el sistema (Cáceres, 1990).

*b) Temperatura*

Someter el agua a temperatura de ebullición es una buena práctica de desinfección. Por su alto costo, esta medida de desinfección se ha limitado a uso doméstico o en su defecto y con el equipo apropiado (destilación) se utiliza para acondicionamiento de agua para la fabricación de medicamentos y a nivel reactivo.

*c) Radiación solar y luz ultra violeta*

La luz solar es un desinfectante natural sea como agente desecante, por su constitución de luz ultra violeta, entre otro tipo de radiaciones.

Los efectos germicidas de la luz ultra violeta involucran un daño fotoquímico al RNA y DNA dentro del organismo. Los ácidos nucleicos en los microorganismos son los principales absorbedores de la energía en un intervalo de longitud de onda entre 240 y 280 nm (Jagger, 1967). Debido a que el DNA y RNA transportan y procesan la información genética para la reproducción del organismo, el daño en estas sustancias puede inactivar efectivamente la célula. El daño surge de la dimerización de dos moléculas de piridina.

Los tres principales tipos de piridina son la citosina (encontradas tanto en el DNA como en el RNA); timina, (sólo en el DNA) y uracilo, (sólo en RNA).

Las moléculas de pirimidina, bajo la influencia de la luz ultravioleta, se unen entre sí formando un doble enlace, generando con ello la incapacidad de reproducir los ácidos nucleicos, modificando la forma helicoidal original, (Figura 3)

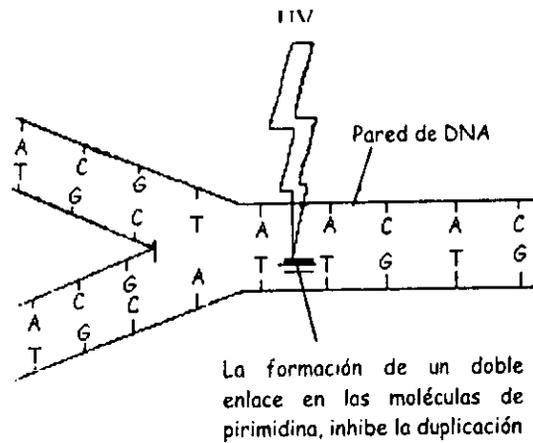


Figura 3. Acción germicida de la radiación UV

Cuando los organismos afectados son expuestos a radiación UV con longitudes de onda que oscilan entre 310 y 350 nm, ocurre una fisión de la pirimidina, y la secuencia original de los ácidos nucleicos es reestructurada dando la posibilidad a los organismos que puedan reproducirse normalmente. Este fenómeno es llamado fotoreactivación (Kelner, 1949 y Dulbecco, 1949).

La reestructuración nunca es completa y solamente una porción de los organismos es restaurada (Lamina *et al*, 1973). El grado de reactivación, el cual es regulado por las enzimas, es proporcional al tiempo, intensidad de radiación y la temperatura.

#### e) Procesos electrolíticos

El proceso consiste en hacer pasar el agua a través de cámaras que están equipadas con electrodos; a los cuales se les aplica corriente eléctrica. La electrólisis de agua residual, bajo ciertas condiciones, permite reducir simultáneamente sólidos suspendidos y microorganismos presentes, incluyendo virus, (Wolfgang, 1985).

De acuerdo con diversos estudios, se requiere un consumo energético de aproximadamente 4.5 watts/hora por cada litro de agua tratada, (Cáceres, 1990)

### f) Radiaciones Gamma

También se ha considerado el uso de radiación gamma para la desinfección de agua residual; su efecto ionizante constituye una alternativa en el tratamiento de agua residual y de lodos provenientes de la misma.

En 1980, Alarcón, concluyó que este método ofrece apreciables ventajas sobre los métodos convencionales de tratamiento de aguas residuales, ya que el gran poder de penetración de los rayos gamma, destruye a los microorganismos, sin que para ello sea un obstáculo la materia orgánica existente, aunque no sustenta el posible daño por la radiación, costo de producción, así como seguridad de manejo, (Cáceres, 1990).

### 2.4.2.2 Formas químicas de desinfección

En general los agentes químicos utilizados en la desinfección son fuertes agentes oxidantes, y aunque no es necesariamente cierto que cualquier agente oxidante es un buen desinfectante, los agentes químicos son los más utilizados para la desinfección de aguas residuales tratadas.

#### a) Yodo

Todos los halógenos son desinfectantes; sus propiedades germicidas y de penetración, en general aumentan con su peso atómico. El yodo es el halógeno de mayor peso atómico y que por su bajo poder oxidante resulta el más estable; por esta razón sus residuales se conservan por mucho más tiempo que el cloro. El mecanismo de desinfección es similar al del cloro, al contacto con el agua produce ácido hipoyodoso:



de eficaz comportamiento desinfectante, consiguiendo con una dosis de 0.5 mg/L destrucción de 99.99% de *E. Coli* en un minuto y de quistes de amebas en 100 minutos (Unda 1968).

---

La desventaja radica en su costo, ya que su precio es varias veces más alto que el del cloro, además de no haberse determinado con exactitud sus efectos secundarios.

*b) Bromo*

Halógeno al fin, comparte el papel de desinfectante, aunque su poder es menor que el del cloro o el Yodo. Su costo es más elevado, por lo que su uso se ha limitado a la desinfección de agua para albercas ya que posee propiedades plaguicidas. Generalmente se dispone de sales de bromo.

*c) Plata ionizada*

Este proceso oligodinámico requiere que la plata se encuentre en estado iónico, para lograr esto se conectan electrodos de plata a corriente eléctrica, teniendo la certeza que 1 amperio de corriente pasando durante una hora, pone en solución 4.023g de plata ionizada. Obviamente es un proceso con un alto costo, además de ser inoperante para grandes flujos. Es recomendado para desinfección en albercas, y ocasionalmente se puede observar en filtros purificadores caseros.

*d) Ozono*

El ozono es un gas ligeramente azul, de olor característico. Es una forma alotrópica del oxígeno, en el cual tres átomos del elemento se combinan para formar una molécula. Es inestable y se descompone con cierta facilidad en oxígeno normal y oxígeno nascente, que es un fuerte oxidante.

El ozono se obtiene industrialmente, haciendo pasar una corriente de aire seco o de oxígeno, entre dos electrodos sometidos a una diferencia de potencial alterna. Los voltajes requeridos, son de 110 voltios para generadores pequeños y 220,440 voltios para los grandes. Este voltaje es elevado a 25,000 Hz, (Cáceres, 1990).

El ozono además de ser un buen desinfectante, es desodorante y decolorante, además de ser poco soluble en agua y ser muy volátil, se mantiene en solución, sólo algunos minutos; en su aplicación. Se pierde aproximadamente cerca de 10 % de su producción, al volatilizarse.

La eficiencia microbicida del ozono es bastante alta, necesitando tiempos cortos para la aniquilación de los microorganismos.

La razón por la que las velocidades de muerte de las bacterias son tan distintas, entre el ozono y/o el cloro, es debida a que, aunque ambos son oxidantes, el mecanismo como matan es diferente. El ozono mata a las bacterias por medio de la ruptura de la membrana celular. Este proceso conocido como destrucción de células por lisina, produce la dispersión del citoplasma celular en el agua (Nebel, 1982).

Si se desea optimizar este mecanismo de destrucción, las bacterias deben estar en contacto más estrecho con las altas concentraciones de ozono y agua, en un reactor en contra corriente.

Debido a su gran poder de destrucción de los virus, su uso puede ser muy recomendable con aguas *altamente contaminadas*.

El costo de las instalaciones es relativamente elevado en relación a su capacidad de producción. Se requiere compresoras, secadoras de aire, generadores de ozono, equipos de aplicación y cámaras de contacto. En estas operaciones se tiene un consumo de energía eléctrica de alrededor de 30 kw/h por kilo de ozono (Cáceres, 1990).

El ozono, además de atacar a los precursores de los trihalometanos destruye a estos compuestos ya formados, indicándose también que tiene un efecto removedor de plaguicidas (Cáceres, 1990).

#### *e) Cloro*

Probablemente no existe un proceso más difundido que la desinfección con cloro. La cloración, es la introducción del cloro en el agua, no sólo para desinfectarla, sino también para lograr otros resultados biológicos y químicos. Así, la cloración mejora la coagulación en muchas aguas, especialmente las que contienen complejos coloreados y hierro.

En ocasiones se combinan dos o más mecanismos de desinfección, y aunque para la desinfección de agua residual es económicamente contraindicado, podría, en su momento, ser la respuesta a la demanda de agua potable.

### 2.4.3 Factores que influyen en la desinfección

La acción desinfectante de las sustancias químicas, teóricamente se realiza en dos etapas: primero la penetración de la pared celular y luego la reacción con las enzimas, paralizando en consecuencia el metabolismo de la glucosa, provocando con ello la muerte del organismo. La eficiencia de este mecanismo se puede ver afectado por los siguientes fenómenos:

a) *Naturaleza y concentración de los microorganismos a ser destruidos, distribución y condición en el agua.*

El tipo de microorganismos a ser destruidos, tiene gran influencia en el resultado de la desinfección. La reacción de los microorganismos parece estar determinada por la resistencia de sus membranas celulares a la penetración del desinfectante y por la relativa afinidad química con las sustancias vitales del organismo.

Las bacterias como las del grupo coliforme, y las *Salmonella*, son las que menos resistencia presentan a la desinfección, ya que su respiración se efectúa en la superficie de la célula.

Algunos grupos de bacterias, cuando se encuentran en condiciones adversas a su hábitat natural, producen una espora, que es bastante semejante a una semilla, en cuya fase son capaces de resistir a los desinfectantes y el calor seco, requiriendo de un proceso distinto para su destrucción, (Bitton, 1994).

A las bacterias no esporuladas les siguen en resistencia los quistes de protozoarios (quistes de amebas). Según investigaciones realizadas, estas son 100 veces más resistentes a la desinfección con cloro libre que la *Scherichia coli* y nueve veces más que los virus más fuertes, (Lippy, 1986).

Los virus entéricos como el ecovirus, cocksakiavirus y polivirus, son también bastante resistentes a la desinfección con base a la capa de proteínas que los cubre, en general, la resistencia a la desinfección puede describirse como sigue: Virus entéricos > bacterias vegetativas > bacterias formadoras de esporas > quistes y protozoarios, (Ward, 1984)

Entretanto, el número de microorganismos presentes en el agua, no afecta el proceso de desinfección; ello quiere decir que se requiere la misma concentración y tiempo de contacto del desinfectante, para matar una gran cantidad de microorganismos que para una pequeña, siempre y cuando la temperatura y pH del agua sean los mismos.

Cuando las bacterias, como los estafilococos, forman grumos de células, las que se encuentran en el interior, están protegidas pudiendo sobrevivir intactas. Por ello los microorganismos deben estar distribuidos uniformemente y moverse en el agua; esto se puede lograr mediante la agitación, (Bitton, 1994).

#### *b) Naturaleza y concentración del desinfectante y su distribución en el agua*

El comportamiento del desinfectante es un factor importante en el mecanismo de aniquilación. Existen químicos, como el cloro, que al estar en contacto con el agua forma nuevos compuestos de carácter desinfectante, teniendo un comportamiento diferente. Una concentración elevada de desinfectante requerirá menos tiempo de contacto, aunque no es la mejor opción. Para poder desarrollar todo el poder desinfectante, estos se deben hallar distribuidos en forma uniforme en el agua, para ello se requiere que la aplicación se efectúe con una fuerte agitación, (AWWA, 1996).

#### *c) Temperatura*

La destrucción de microorganismos mediante la desinfección es mucho más rápida con el aumento de la temperatura. Es decir, cuanto más caliente sea el agua, más eficiente y rápida será la desinfección.

#### *d) Naturaleza y condición del agua*

La materia en suspensión puede proteger a los microorganismos existentes en el agua, ya sea contra la desinfección química o física. Así, la materia orgánica reacciona con los desinfectantes cambiando incluso su estructura; algunos de los compuestos resultantes pueden ser ineficientes y algunos pueden llegar a ser inocuos.

Por otra parte, el pH del agua es de suma importancia ya que valores muy altos o muy bajos ofrecen a los microorganismos un medio adverso, con excepción de los

quistes de amebas que soportan un pH tan alto como 13 o muy bajos como 1. Por otra parte, la acción de los desinfectantes es fuertemente influenciado por el pH de las aguas. Cada desinfectante tiene un intervalo de pH en el que se puede esperar su máxima efectividad. En general, mientras más alcalina sea el agua se requerirán mayores dosis para una misma temperatura y tiempo de contacto, (Bitton, 1994).

#### e) Tiempo de contacto

La destrucción de los patógenos con los desinfectantes incrementa con el tiempo de contacto e idealmente puede seguir un modelo cinético de primer orden. Graficando la inactivación contra el tiempo, en escala log-log, se encuentra la línea que sigue el modelo de primer orden:

$$\frac{N_t}{N_0} = e^{-kt} \quad (2)$$

donde:

$N_0$ = número de microorganismos al tiempo 0

$N_t$ = número de microorganismos al tiempo t

t= tiempo

K= constante de destrucción ( $t^{-1}$ ).

No obstante, los datos reales -en la mayoría de los casos- muestran una desviación del modelo ideal.

La curva C en la Figura 4 muestra la desviación del modelo cinético de primer orden. La forma final de la curva demuestra la resistencia de algunos organismos o evidencia la protección de éstos por factores externos. La gráfica representa la inactivación que siguen los organismos por la desinfección.

La línea A representa la desactivación de un grupo homogéneo, B representa la desinfección de un grupo homogéneo pero más resistente, C representa la inactivación de un grupo heterogéneo de organismos parcialmente protegidos.

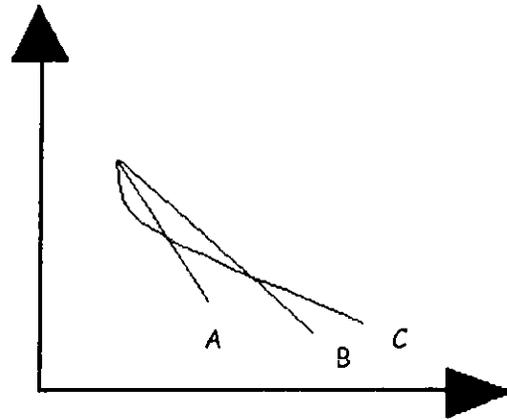


Figura 4. Resistencia a la desinfección por agentes externos, (Bitton, 1994)

La efectividad de un desinfectante puede ser expresada como  $C^*t$ , donde  $C$  es la concentración de desinfectante y  $t$  el tiempo requerido para la inactivación de cierto porcentaje de la población bajo condiciones especiales (pH y temperatura). La relación entre la concentración del desinfectante y el tiempo de contacto puede ser descrita por la relación de Watson.

$$K=C^n t \quad (3)$$

Donde:

$K$ = constante que toma a los microorganismos expuestos al desinfectante bajo ciertas condiciones.

$C$ = concentración del desinfectante (mg/L)

$t$ = tiempo requerido para aniquilar cierto porcentaje de la población (minutos).

$N$ = constante llamada "coeficiente de dilución".

Cuando  $t$  es graficada contra  $C$  en una escala log-log,  $n$  es la pendiente de la línea. El valor de "n" determina la importancia de la concentración del desinfectante contra el tiempo de contacto en la inactivación de los microorganismos. Si  $n < 1$ , la concentración del desinfectante es el factor predominante que controla el mecanismo de inactivación. No obstante "n" es frecuentemente igual a 1.

La determinación de los valores  $C$  y  $t$  pueden ser obtenidos en función de la temperatura y pH, determinándose polinomios de la manera:

$$C^*t = aC^b * pH^c * T^d \quad (4)$$

Donde:

$C$  = concentración de desinfectante

$t$  = tiempo requerido para matar el 99 % de los organismos seleccionados

$T$  = temperatura

$a, b, c, d$ , son constantes de ajuste del polinomio

Valores de  $C^*t$  para diferentes organismos y cloro como desinfectante se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6. Valores de  $C^*t$  para diferentes organismos y cloro como desinfectante

MICROORGANISMOS	CLORO mg/L	TIEMPO DE INACTIVACIÓN Minutos	$C^*T$
E. Coli	0.1	0.4	0.04
Polivirus	1.0	1.7	1.7
E.histolytica (quiste)	5.0	18	90
G. Lamblia	1.0	50	50
G. muris	2.5	100	250



### 3. FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LA CLORACIÓN

### 3. FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LA CLORACIÓN

#### *3.1 Mecanismos de desinfección con cloro*

La práctica de la cloración se originó a principios del siglo XX. En 1908 se realizó la primera aplicación en continuo para aguas de consumo en New Jersey, Estados Unidos de América. Actualmente esta tecnología de desinfección es la más utilizada. De acuerdo con Huebner (1996), el 87% de los procesos de desinfección usan cloro. Se cuenta, por lo tanto, con la tecnología en cuanto a manejo, disposición, control y análisis para la cloración de aguas residuales municipales e industriales.

El cloro, es un gas verde, que pesa dos veces más que el aire. Se le produce en forma gaseosa por electrólisis de una solución de cloruro de sodio. De las características de más utilidad destacan:

Peso molecular: 35.357

Punto de fusión:  $-101.4^{\circ}\text{C}$ .

Punto de ebullición:  $-34.5^{\circ}\text{C}$ .

Densidad aparente: 2.5 (aire = 1).

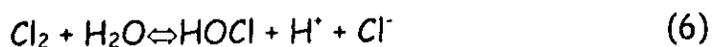
Para encontrarlo en estado líquido, el cloro se debe mantener a 1.74 atmósferas y  $-18^{\circ}\text{C}$ . El cloro es ligeramente soluble en agua (máxima solubilidad a 1 atm 10 000 mg/L, 1% a  $9.6^{\circ}\text{C}$ ). De naturaleza altamente reactiva se combina con diferentes compuestos rápidamente y se ha mencionado su relación con los compuestos nitrogenados. El cloro reacciona fácilmente con sustancias explosivas, por lo cual no debe almacenársele en las mediciones del laboratorio o de la planta, (Droste, 1990).

El cloro principalmente agrede al sistema respiratorio, clasificándosele como tóxico para concentraciones de aproximadamente 1.0 ppm en volumen, daña las membranas de la mucosa, e irrita la piel. En forma líquida, causa quemaduras en los ojos, además que evapora rápidamente.

La disolución puede ser descrita de manera ideal por la ley de Henry para el equilibrio líquido gas:



No obstante las pérdidas de cloro por volatilización son mínimas ya que se hidroliza rápidamente en el agua de acuerdo con la siguiente reacción:



y que tiene una constante de equilibrio de:

$$k = \frac{[\text{H}^+][\text{Cl}^-][\text{HOCl}]}{[\text{Cl}_2]} = 4.5 \cdot 10^{-4} \quad (7)$$

25°C

Debido a la magnitud de este coeficiente es posible la disolución en agua de cloro. Equivalentemente ocurre una ionización:



La constante de equilibrio es descrita por:

$$k_a = \frac{[\text{H}^+][\text{OCl}^-]}{[\text{HOCl}]} = 2.9 \cdot 10^{-8} \quad (9)$$

La reacción (6) ocurre en fracción de segundos a 20 °C y toma sólo unos cuantos segundos a 0°C. El ácido hipocloroso (HOCl) es, también, volátil ( $1.28 \times 10^5$  veces menor que el  $\text{Cl}_2$ ). Los principales compuestos usados para la desinfección de aguas residuales incluyen al ácido hipocloroso (HOCl), el ión hipoclorito ( $\text{OCl}^-$ ) y a la monocloraamina ( $\text{NH}_2\text{Cl}$ ).

De la ecuación (9) se puede observar que el  $\text{Cl}_2$  es mucho menos del 1% de las moles totales de las especies de cloro ( $\text{Cl}_2$ , HOCl,  $\text{OCl}^-$ ) en un promedio de pH de 6.9, típico en aguas residuales, la Tabla 7 muestra la variación de la constante de equilibrio en función de la temperatura.

Tabla 7. Valores de la constante de ionización del ácido hipocloroso a diferentes temperaturas. (Fuente: Metcalf & Eddy, 1996)

Temperatura °C	$K_i \times 10^8$ mol/L
0	1.49
5	1.75
10	2.03
15	2.32
20	2.62
25	2.90

La disociación de HOCl es dependiente de la temperatura y pH, como se puede observar en la Figura 5 y en la Tabla 7. La variación de los  $pK_a$  en la ecuación (9) como función de la temperatura fue estudiada por Morris (1996) que encontró la siguiente relación:

$$pK_a = 3000 \cdot T^{-1} - 10.06860 + 0(0.0253) \cdot T \quad (10)$$

Donde  $T(=)^\circ K$

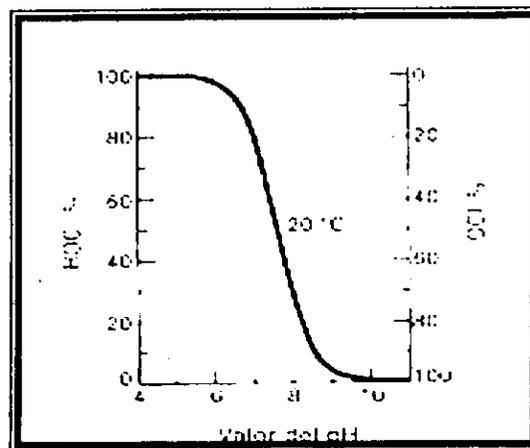


Figura 5. Relación entre la concentración de HOCl y OCl. (Fuente: Metcalf & Eddy, 1996)

El HOCl es un fuerte desinfectante, alrededor de 40-80 veces más fuerte que el OCl<sup>-</sup>, por ende su efectividad germicida se verá altamente influenciada por

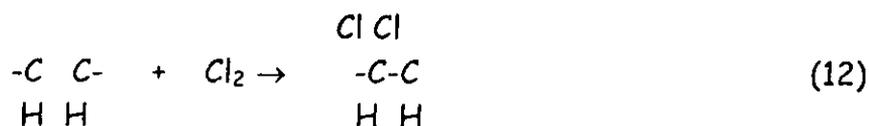
el pH; el cloro puede reaccionar con las siguientes sustancias, encontradas comúnmente en el agua residual, (Droste, 1990):

a) *Agentes reductores* (AR) como  $S^{2-}$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $Mn^{2+}$  y  $NO^{2-}$

Por ejemplo:



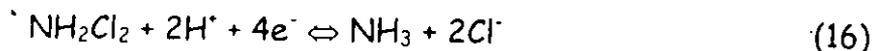
b) *Materia orgánica*



c) *Amoniaco*



A los compuestos generados en las ecuaciones 13, 14, y 15 se les conoce como cloroaminas y a las cloroaminas, en conjunto, se les da el nombre de cloro combinado. La capacidad de transición electrónica de las cloroaminas, es directamente dependiente del número de moléculas de HOCl disponibles en la solución. El mecanismo con el que se combinan el amoníaco y el cloro puede considerarse como un mecanismo reductor, esto se observa en el balance energético:



Además se observa que se necesitan dos moléculas de HOCl para formar una de  $NHCl_2$  y cada molécula de HOCl puede tomar sólo dos electrones.

Al igual que el cloro, el amoníaco es un desinfectante, por lo que no es extraño que las cloroaminas tengan propiedades desinfectantes, aunque en menor intensidad que el HOCl o OCl<sup>-</sup>. No obstante las cloroaminas perduran más en agua, con lo que se provee de una desinfección residual adicional (Droste, 1997).

Como resultado de impurezas amoniacales presentes en el agua, éstos en conjunto con las demás impurezas, son los principales demandantes del cloro. Esta demanda puede ser evaluada agregando cantidades conocidas de cloro en agua y después medir la concentración de cloro residual, pasado un tiempo específico, pudiéndose representar gráficamente dando origen a las curvas de demanda de cloro del sistema.

La forma curva que representa la demanda es resultado de las reacciones que efectúa el cloro. Obviamente la curva también se verá modificada por el tiempo de contacto.

Al entrar en contacto con el agua, una primera cantidad de cloro es consumida por compuestos inorgánicos que convierten al cloro en cloruro, el resto se transforma en cloroaminas y organoclorados. De las tres cloroaminas posibles (NH<sub>2</sub>Cl, NHCl<sub>2</sub>, NCl<sub>3</sub>), predomina aquella que alcance la relación molar apropiada. Cuando la relación molar de cloro/amoniaco excede de 1, la reacción (13) será predominante; cuando la relación exceda a 2, la reacción (14) predominará. La formación de NCl<sub>3</sub> sucederá siempre y cuando la relación Cl/N sea menor que 1; generalmente existe una tendencia para la formación de las monocloroaminas (Droste, 1990).

Análogamente se puede esperar un aporte en compuestos inorgánicos de nitrógeno con varios estados de oxidación, traduciéndose en una reducción del cloro residual.

La mayoría de las reacciones tiene lugar después de la campana formada en la curva de demanda, (Figura 6), su comportamiento y mecanismos aún no son bien comprendidos. Después de esta desviación de la curva y en la declinación de la curva, se finalizan las reacciones con el amoniaco, y si se agregase más cloro, éste se convertiría en cloro residual en forma de HOCl y OCl<sup>-</sup>. El mínimo de la forma convexa de la curva se conoce como "break-point", o punto de quiebre, y

la adición de cloro después de este punto es conocida como cloración break-point.

De los tres compuestos, (HOCl, OCl<sup>-</sup> y NH<sub>2</sub>Cl), el ácido hipocloroso es el más efectivo en la inactivación de microorganismos en agua residual. La presencia de sustancias interferentes en el agua residual disminuye la eficiencia de la desinfección del cloro, siendo necesarias dosis relativamente altas de cloro, (20 - 40 ppm) para la inactivación de virus (Bitton, 1994).

En la cloración, específicamente la acción del HOCl, es generalmente eficiente en la inactivación de organismos patógenos y bacterias indicadoras. En el tratamiento de agua, con 1 mg HOCl/L por tiempos de 30 minutos, se logra una eficiente remoción en el número de bacterias (Blaser *et al*, 1986).

Aunque la resistencia de virus entéricos ante el cloro es variable, éstos patógenos son generalmente más resistentes a este desinfectante que las bacterias vegetativas; esto explica porque estos organismos han sido encontrados en algunos efluentes desinfectados con cloro.

Las cloroaminas son menos eficientes que el cloro residual, (alrededor de 50 veces menor), en la inactivación de los virus, en cuanto a los quistes de protozoarios, (ejemplo, *Giardia lamblia*, *Entamoeba histolytica*, *Nalgeria gruberi*), son más resistentes que los virus entéricos. En la presencia de HOCl a pH=6, el factor C\*t para E. Coli es 0.04 en contraste, el C\*t necesario para inactivar polivirus tipo 1 o *G. lamblia*, (1.08 y 80 respectivamente), (Logsdon & Hoff, 1986).

Se ha encontrado que los organismos más resistentes ante la acción del cloro es la especie *Cryptosporidium*, es necesario aplicar dosis de 80 mg/L de cloroaminas para inactivar al 90% de los organismos, con un tiempo de contacto de 90 minutos, (Korich *et al*, 1990).

El cloro causa dos tipos de daño en las células de las bacterias, por un lado causa una oclusión de la permeabilidad de la célula, afectando la integridad de la membrana, y otras funciones celulares, daño en las enzimas y ácidos nucleicos (Berg, *et al*, 1986).

### Cloración al punto de rotura ó Breakpoint

El hecho de que el cloro libre reaccione con el amoniaco y de que sea un fuerte agente oxidante, complica bastante el mantenimiento de una cantidad residual (combinado o libre) para la desinfección de las aguas residuales. Los fenómenos que resultan de añadir cloro a un agua residual que contenga amoniaco puede explicarse a partir de la Figura 6. Al ir añadiendo cloro, las sustancias que reaccionan con facilidad, como el  $Fe^{+2}$ , el  $Mn^{+2}$ , el  $H_2S$  o la materia orgánica, reaccionan con el cloro y lo reducen en gran parte a ion cloruro, punto A Figura 6. Tras satisfacer esta demanda inmediata, el cloro continuará reaccionando con el amoniaco para formar cloroaminas, proceso que corresponde al tramo entre los puntos A y B de la Figura 6.

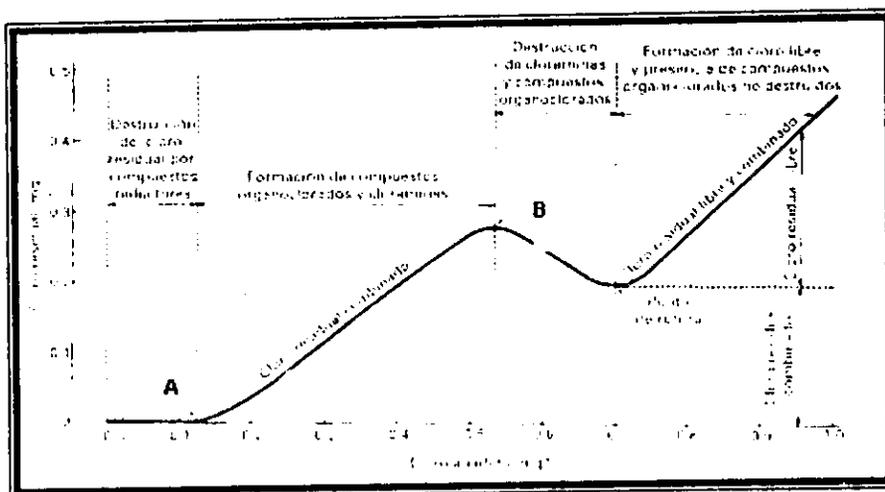


Figura 6. Cloración en el punto de quiebre. (Fuente: Metcal & Eddy, 1996)

Para relaciones molares entre cloro y amoniaco inferiores a 1, se formará monocloraamina y dicloraamina. La distribución de estas dos formas viene indicada por sus velocidades de formación, que son función de la temperatura y del pH. Entre el punto B y el punto de Breakpoint, algunas de las cloroaminas se transforman en tricloruro de nitrógeno, mientras que las restantes cloroaminas se oxidarán a óxido de nitrógeno ( $N_2O$ ) y nitrógeno ( $N_2$ ) y el cloro se reducirá a ion cloruro. Si se continúa añadiendo cloro, todas las cloroaminas se oxidarán en el breakpoint. Teóricamente, la relación ponderal entre el cloro y el nitrógeno amoniacal en el breakpoint es de 7.6 : 1.

La adición de cloro más allá del breakpoint, producirá un aumento del cloro libre disponible directamente proporcional al cloro añadido (cloro libre sin reaccionar).

La razón principal para añadir suficiente cloro como para obtener cloro residual libre, radica en el hecho de asegurar que se alcanzará la desinfección. En ocasiones, debido a la formación de tricloruro de nitrógeno y de sus compuestos afines, las operaciones de cloración al breakpoint han presentado problemas de olores. La presencia de compuestos adicionales durante la cloración da lugar a la reacción con la alcalinidad del agua residual y, en casi todos los casos, la reducción del pH será pequeña. La presencia de compuestos adicionales que reaccionen con el cloro puede alterar significativamente la forma de la curva del breakpoint.

En México el total del agua residual que se desinfecta, se hace con cloro, los residuales de la cloración, libres o combinados, pueden ser altamente tóxicos, bajo ciertas condiciones, para los peces y vida acuática en general.

Es importante destacar que la toxicidad del cloro y de sus compuestos en el medio acuático, no es dependiente de la cantidad de cloro utilizado, sino más bien, de la concentración y composición del cloro residual, ya sea libre o combinado, (WERF; 1995). Además esta toxicidad depende todavía de otros factores tales como la presencia de materia orgánica, pH, temperatura y tiempo de contacto.

Por las características del sistema urbano de drenaje, en muchas ciudades de los países en desarrollo el drenaje se considera una mezcla de desagüe municipal e industrial, por lo que compuestos orgánicos encontrados en el agua y a través de la interacción con el cloro forman una diversidad de compuestos organoclorados, entre ellos podemos distinguir (Cáceres, 1990):

#### *a) Alcanos clorados*

Estos compuestos son fabricados y utilizados en grandes cantidades en la industria química, como factor intermediario en la producción de otros compuestos organoclorados, (Cáceres, 1990).

De la gran cantidad de alcanos clorados que son producidos comercialmente sólo se tienen estudios del 1,2-dicloroetano como agente cancerígeno.

El dicloroetano es utilizado ampliamente como solvente, este compuesto ha sido reconocido ampliamente como un compuesto cancerígeno, siendo también un mutágeno conocido.

#### *b) Etano clorados*

Estos compuesto son de uso difundido en la industria, utilizándose como solvente ablandador, diluyente de pintura, líquido para tintorería, etc.

De este tipo de compuestos interesan aquellos que han demostrado un riesgo para la salud; entre los más estudiados destaca el cloruro de vinilo, cancerígeno bien conocido para los seres humanos, (Cáceres, 1990).

#### *c) Trihalometanos*

Los trihalometanos (THMs), constituyen un grupo de compuestos orgánicos derivados del metano ( $\text{CH}_4$ ), de cuya molécula son sustituidos tres átomos de hidrógeno por igual número de halógenos, (cloro, bromo, yodo).

La sustitución de los halógenos puede ser hecha por un solo compuesto, por ejemplo triclorometano, o por diferentes elementos, bromodiclorometano. Algunos grupos poseen nombres especiales: cloroformo ( $\text{CHCl}_3$ ), bromoformo ( $\text{CHBr}_3$ ) y yodoformo ( $\text{CHI}_3$ ).

En el agua residual que se desinfecta con cloro, los THMs se forman a partir de sustancias más complejas que se encuentran disueltas en las aguas superficiales.

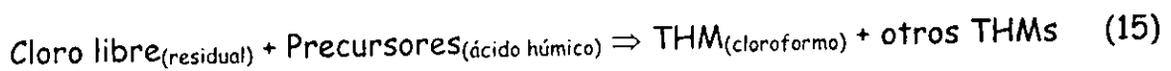
De los THMs formados, el de más ocurrencia y por ende más estudiado es el cloroformo, y cuando se hace referencia a los THMs totales, ello se refiere a la suma aritmética de estos cuatro compuestos, (Cáceres, 1990).

Se ha demostrado que el cloroformo, es rápidamente absorbido por la mucosa intestinal al ingerirse agua que lo contenga. Se distribuye a través de los tejidos, y se acumula en los tejidos adiposos con una larga vida media de residencia. Su metabolismo se produce principalmente en el hígado y en menor proporción en los riñones y otros tejidos, concluyendo que la presencia de THMs, representa un riesgo para la salud, ya que pueden estar incrementando la mortalidad por cáncer.

### *Formación de trihalometanos*

Los trihalometanos (THMs) se forman en el agua principalmente como productos resultantes de la reacción de las sustancias químicas utilizadas en el tratamiento del agua, y los compuestos orgánicos presentes naturalmente en el agua.

La formación de los THMs, durante la desinfección de agua residual con cloro, obedece a un complicado mecanismo, por el cual las especies químicas de halógenos que se encuentran en el agua, reaccionan con los derivados del humus, (ácidos húmicos), que son habitualmente encontrados en este medio, reacción 13, (Cáceres, 1990).



Los derivados húmicos, pueden ser ácidos húmicos, flúvicos e himatomelánicos, a los que se les llama también precursores de los THMs o simplemente precursores. Los precursores aparecen en el agua cruda, por la descomposición de los vegetales que crecen en las orillas de los ríos o lagos, siendo por lo tanto más abundantes en las cuencas que poseen mayor cantidad de vegetación en sus márgenes (Hespanhol, 1980).

Cáceres, en 1990, propone cuatro aspectos que controlan la formación de THMs:

- Temperatura: diversos experimentos realizados manteniendo el mismo pH y la misma dosis de cloro, demostraron que al variar la temperatura entre 3°C a 40°C, la concentración de cloroformo oscila entre 30 y 200 µg/L. Es decir, cuanto más

caliente el agua, mayores son las posibilidades de la formación de cloroformo.

- Efecto del pH: la formación de THM es mayor, conforme aumenta el pH del agua, por su acción catalítica sobre el haloformo. Así la concentración de cloroformo, es mucho mayor en pH de 11.5 que en pH de 6.5.
- Cloro residual: la concentración de cloroformo aumenta en razón directa con el cloro residual; cuando existe una gran demanda de cloro o el sistema de distribución es operado con elevados residuales, se puede sospechar de la presencia de cloroformo y otros THMs.
- Tipo de desinfectante: Conformer a su tipo, el desinfectante ejerce una influencia decisiva en la formación de los THMs,

En el estudio de los THMs es importante tener en cuenta tres etapas en la formación de estos:

*Concentración instantánea de trihalometanos.* Determinada en el momento de muestreo. Puede expresarse como THM totales o en valores individuales.

*Concentración de trihalometanos.* Determinada al final de un periodo de muestreo. Parámetro importante para la evaluación de los riesgos a la salud.

*Potencial de formación de trihalometanos.* Aumento de la concentración de THM's que ocurre durante el tiempo de almacenamiento de una muestra y es igual a la diferencia entre la concentración final y la instantánea.

Además es importante el hecho de que trabajos experimentales, han demostrado que la concentración de sólidos suspendidos tiene un efecto directo en la producción de cloroformo, encontrándose que la remoción de partículas reduce la velocidad de producción, así como también la cantidad total de cloroformo formado (Cáceres, 1990).

Debido a la formación de THMs, actualmente se está favoreciendo la desinfección de agua potable con cloroaminas, las cuales no producen THMs, (Zierler *et al*, 1987).

Finalmente, conviene señalar que los THMs no se forman exclusivamente durante la fase del tratamiento de agua; por ser dependiente de la concentración de los precursores y de la dosis de cloro residual, la reacción que da origen a estos puede continuar desarrollándose aún después de la cloración; la EPA, ha restringido la concentración de THMs a 100µg/L, (Cáceres, 1990).

Actualmente no existen experiencias de la cloración en continuo para el efluente filtrado de un TPA, en la Tabla 8 se muestran las dosis de cloro comúnmente utilizadas en la desinfección de agua residual para efluentes tratados.

Tabla 8. Dosis típicas de cloro para efluentes tratados

APLICACIÓN	"WASTEWATER ENGINEERING"*	"HANDBOOK OF CHLORINATION"*	ESTÁNDARES EN DIEZ ESTADOS DE E.U.A
Precloración de aguas residuales	6 a 25 mg/L	15 a 40 mg/L	20 mg/L
Desinfección de efluentes primarios	5 a 20 mg/L <sup>a</sup>	18 a 24 mg/L <sup>b</sup>	--
Desinfección de efluentes en lodos activados	2 a 8 mg/L <sup>a</sup>	6 a 9 mg/L <sup>b</sup>	8 mg/L <sup>a</sup>
Desinfección de efluentes filtrados	1 a 5 mg/L <sup>a</sup>	4 a 6 mg/L <sup>b</sup>	6 mg/L <sup>a</sup>

Adaptado de Water Environment Federation and American Society of Civil Engineers, 1992

<sup>a</sup> Para valores de coliformes que son especificados en la referencia

<sup>b</sup> Para 200 coliformes fecales NMP/ 100 ml o 1000 coliformes totales NMP/100ml

\*Referencias originales

### 3.2 Ventajas y desventajas de la desinfección con cloro

En la Tabla 9 podemos observar las ventajas y desventajas que presenta la cloración de agua residual.

Tabla 9. Ventajas y desventajas de la desinfección con cloro.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Tecnología bien establecida	En ocasiones, es necesario utilizar una decloración para reducir la toxicidad residual
Eficiencia desinfectiva	Formación de trihalometanos y otros hidrocarburos clorados
Capacidad de mantener efectos residuales	Incremento de las medidas de seguridad
La reacción con amoníaco, genera un efecto desinfectante adicional	Las dosis utilizadas para la aniquilación de coliformes, no actúan en algunos virus, esporas, y quistes
El efecto germicida puede ser mantenido durante largo tiempo	Generación de ácido, el pH del agua residual puede ser reducido si la alcalinidad es insuficiente
Relativamente económico	Pone en libertad compuestos orgánicos volátiles en el reactor
De uso tradicional	Elevado costo de automatización

### 3.3 Teoría en el diseño de tanques cloradores

Durante la práctica de la desinfección con cloro es necesario tomar en cuenta tres aspectos de suma importancia:

#### 1) *Eficacia germicida de los diversos compuestos del cloro*

Dada la incontrolable calidad del agua residual, es difícil poder controlar la persistencia de ácido hipocloroso (HOCl), pero la generación de cloroaminas otorga un efecto germicida de tiempo prolongado, y si el tiempo de contacto es el adecuado, la monocloroamina puede ser tan efectiva como el cloro (Metcalf, 1996).

#### 2) *Mezcla inicial*

La importancia de la mezcla inicial como parte del proceso de cloración es muy grande y como tal, debe ser tomada en cuenta. Se ha podido comprobar que la aplicación de cloro en un régimen turbulento  $Re = 10\ 000$ , conduce a índices de mortalidad de dos órdenes de magnitud mayores a los conseguidos con la adición de cloro directamente a un reactor de mezcla completa en condiciones de operación similares. A pesar de que la importancia de la mezcla inicial está fehacientemente comprobada, no se conoce la turbulencia "óptima", aunque se consideran recomendables tiempos de mezcla del orden de un segundo (Metcalf, 1996).

La rápida mezcla del cloro con el agua residual tiene diversos beneficios, el primero, aunque ocurre momentáneamente, es que con un buen mezclado existe una mejor distribución de HOCl, el cual entra en contacto con los microorganismos ejerciendo su efecto biocida. Del rápido mezclado se logra que las cloroaminas ya formadas tengan una interacción más eficiente y con mayor alcance de su poder desinfectante.

Comúnmente el difusor se encuentra dentro de la tubería de alimentación de agua filtrada, al llegar se encuentra con un obstáculo, (tapón perforado) que genera un flujo turbulento dentro del mezclador, Figura 7. Por su parte el cloro es liberado por el cuerpo poroso, y gracias a la turbulencia generada en el

interior se logra una eficiente mezcla, al salir del mezclador el flujo cambia hasta lograr una aproximación de flujo tipo pistón (US. EPA, 1986).

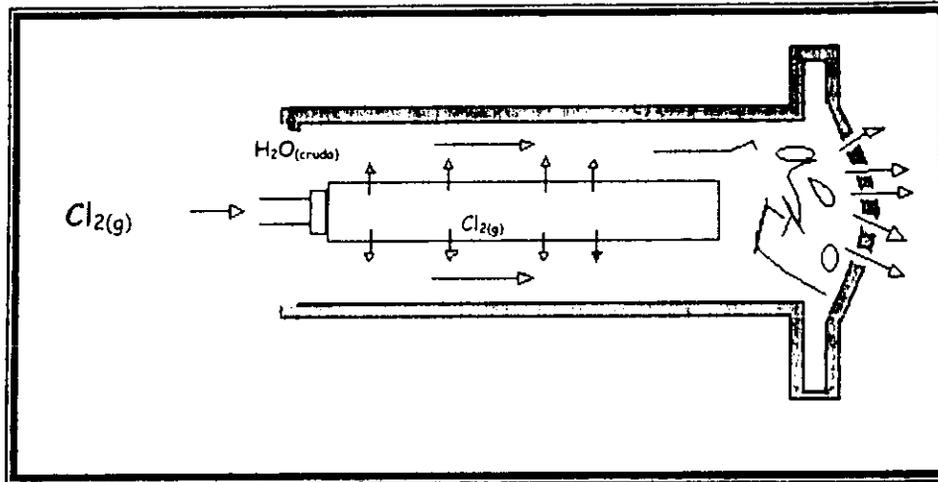


Figura 7. Sistema de mezclado cloro gas - agua

### 3) Características del agua residual

La experiencia ha demostrado que la efectividad de los procesos de cloración puede variar notablemente entre diferentes plantas a pesar de tener diseños muy parecidos y que las características de sus efluentes, expresados en DBO, DQO y contenido de nitrógeno, sean muy parecidas. Sung en 1974 estudió las características de los compuestos presentes tanto en agua residual tratada como no tratada, concluyendo con las siguientes observaciones:

- En presencia de compuestos orgánicos que presenten interferencias en el proceso, el cloro residual no se puede emplear como medida fiable para la evaluación de la efectividad bactericida del cloro.
- El grado de interferencia de los compuestos estudiados depende de sus grupos funcionales y de su estructura química.
- Los compuestos saturados y carbohidratos ejercen una pequeña o nula demanda de cloro y no parecen interferir en el proceso de cloración.

- d) Los compuestos orgánicos con enlaces no saturados pueden ejercer una demanda inmediata de cloro, dependiendo de sus grupos funcionales. En algunos casos, los compuestos resultantes pueden aparecer en el análisis como cloro residual y, sin embargo, poseer poco o nulo potencial de desinfección.
- e) Los compuestos con anillos policíclicos que contienen grupos hidroxilo y los compuestos que contienen grupos de azufre reaccionan fácilmente con el cloro para formar compuestos con escaso o nulo potencial bactericida, pero que aparecen como cloro residual en los resultados de los análisis.
- f) Para lograr elevadas reducciones del contenido bacteriano en presencia de compuestos orgánicos que interfieren en el proceso, serán necesarias dosis adicionales de cloro y mayores tiempos de contacto (Metcalf, 1996).

Es evidente que los responsables de los valores observados no son la DBO ni la DQO, sino la naturaleza de los compuestos, por lo tanto, el tipo de proceso de tratamiento empleado en cada una de las plantas también es un factor de influencia en el proceso de cloración.

### *3.4 Diseño de tanques cloradores*

Otro factor que también debe tenerse en cuenta es el *equipo de contacto*.

Este equipo puede considerarse como un proceso de mezclado. Como ya se ha mencionado, la idealidad en la eficiencia de contacto lo brinda un flujo de tipo pistón. Los diseños ponderan la posibilidad de lograr este régimen de flujo.

El objetivo es mantener en íntimo contacto a los microorganismos con los compuestos clorados. La condición es mantener la dosis de cloro al mínimo, en tiempos de retención razonables (Wastewater disinfection, 1994).

Típicamente son tanques acanalados en forma de serpentín, estos han demostrado la eficacia de mantener un flujo de tipo pistón. Heurísticamente se recomienda una relación entre el ancho del canal con respecto a la longitud del

tanque de 50:1 como mínimo y de 2:1 entre la altura de la sección húmeda y el ancho del canal, Figura 8, (Withe, 1976).

Es importante evitar zonas de flujo muerto, por lo que se recomienda poner bordes en las esquinas y vertederos (Withe, 1976).

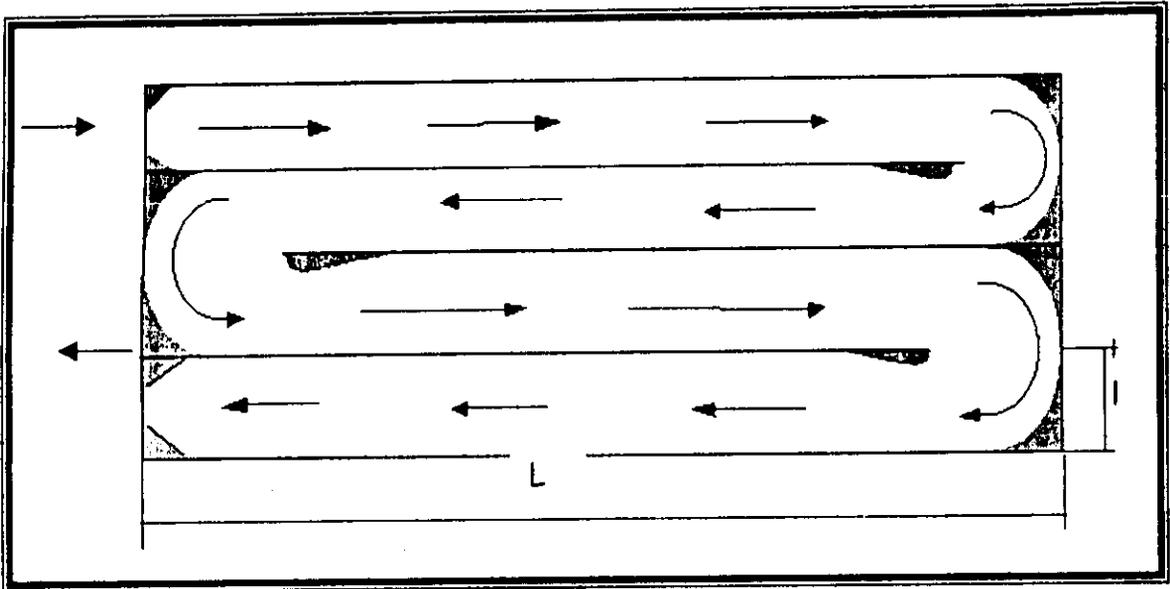


Figura 8. Diseño recomendado de cloradores. La relación recomendada es de  $L/l = 18/1$ ,

### *3.5 Evaluación económica del proceso de desinfección con cloro*

El propósito de este capítulo es señalar el catálogo de conceptos que se debe contemplar para la construcción de un sistema de cloración, en él se incluye el equipamiento, obra civil, y puesta en marcha.

*Bases de estimación de costos:*

#### **OBRA CIVIL**

Caseta de almacenamiento de cloro

Cuarto de control, (opcional)

Cimentación

Armado de la estructura metálica de soporte

- ◆ Varilla
- ◆ Alambión
- ◆ Mano de obra

Cimbrado

Colado

Material

- ◆ Concreto armado
- ◆ Vibrador
- ◆ Carretilla
- ◆ Pala de hoja ancha
- ◆ Revolvedora
- ◆ Bomba
- ◆ Escavadora

#### **INGENIERIA**

Diseño de clorador

- ◆ DFP
- ◆ DTI
- ◆ PLOT-PLANT

### Equipo

- ♦ Clorador
- ♦ Dosificador
- ♦ Cilindros de gas cloro
- ♦ Medidor de flujo
- ♦ Sistema de seguridad, detector de gas con alarma auditiva y visual
- ♦ Sistema automático de dosificación
- ♦ Analizador en línea
- ♦ Difusor
- ♦ Tubería de PVC hidráulico Cd. 40, con uniones soldables

El costo de un tanque de cloración es proporcional al flujo a manejar y al tiempo de contacto requerido por el sistema.



## CAPÍTULO 4. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

#### 4. METODOLOGIA EXPERIMENTAL

El estudio se llevó a cabo en una de las salidas del drenaje profundo, (Emisor Central), localizada en El Salto, Tepejí del Río, Hgo.; lugar donde se tiene proyectado instalar una planta que trate 15 m<sup>3</sup>/s de agua residual, y donde actualmente, el agua es utilizada sin tratamiento para riego agrícola en el distrito de riego 03.

La metodología empleada en el cumplimiento del objetivo planteado, se llevó a cabo en tres etapas. En la primera se simuló el Tratamiento Primario Avanzado, (prueba de jarras), la filtración y la cloración (en prueba de jarras), con diversas dosis de cloro y diferentes tiempos de contacto.

En la segunda etapa se trabajó con cinco plantas piloto que utilizaban un TPA, de las cuales sólo tres contaban con un sistema de filtración; del efluente filtrado se tomaban muestras a las que se les sometía a una desinfección en prueba de jarras.

Finalmente en la tercera etapa la desinfección se realizó en forma continua por medio de un tanque clorador, estudiando la dosis y tiempo necesario en cada uno de los efluentes.

Como complemento del estudio de la cloración de agua tratada fisicoquímicamente, se estudió el recrecimiento bacteriano después del proceso de la cloración. Exposiciones a tiempos largos de contacto (24, 48, horas) en recipientes abiertos fueron sometidos a análisis microbiológicos.

Para determinar la técnica de cuantificación de coliformes fecales, se tomó en cuenta el estudio realizado por el Instituto de Ingeniería en el que se comparó la técnica de filtro de membrana para la determinación de coliformes fecales, con la técnica que dicta la NOM001-ECOL96, tubos múltiples, encontrando una homologación en los resultados, por lo que se utilizó la técnica de filtro de membrana para este estudio.

En la Figura 9 se presenta de forma esquematiza el procedimiento utilizado en el estudio.

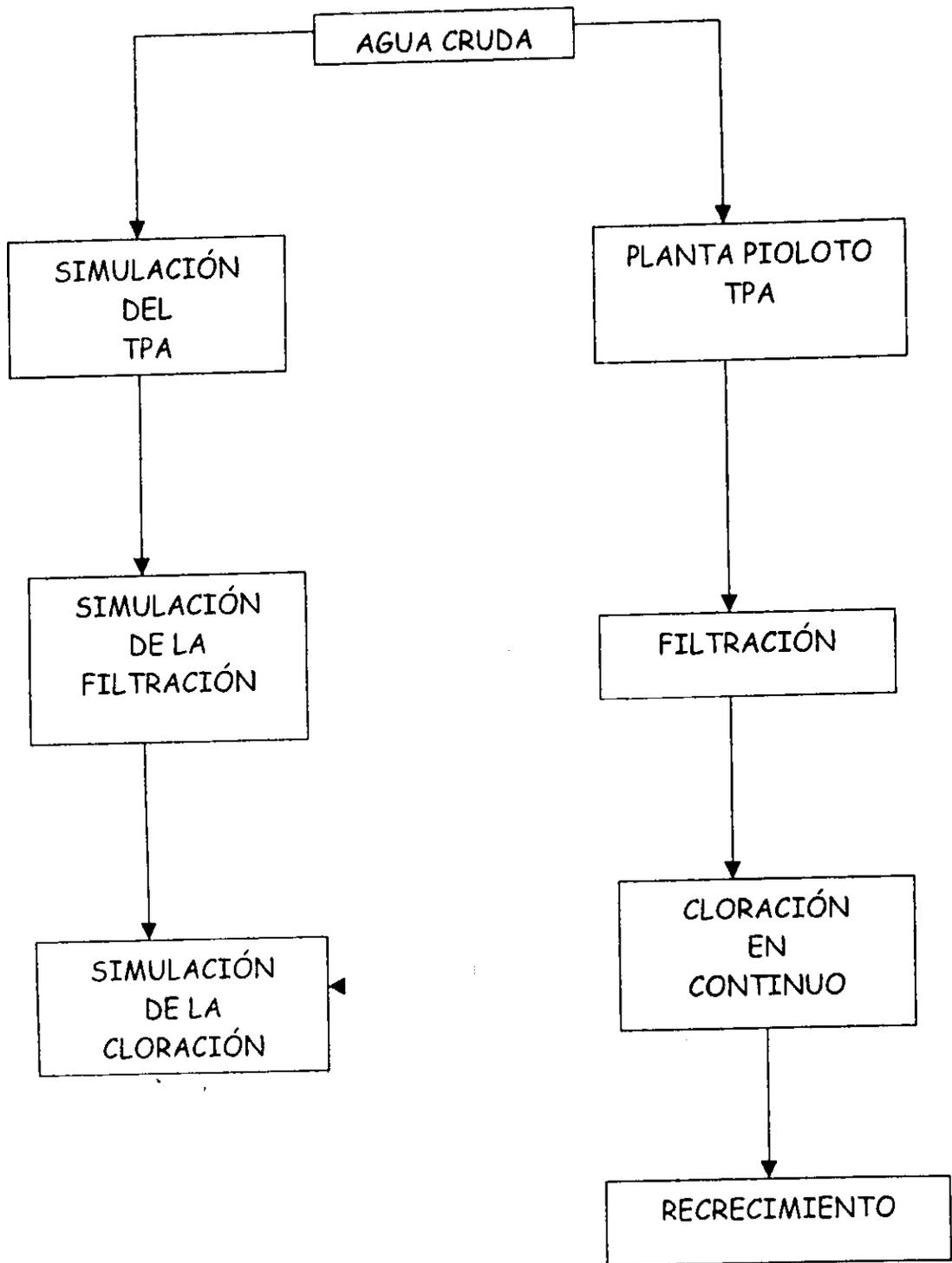


Figura 9. Diagrama de bloques de la metodología

#### 4.1 Pruebas de tratamiento, filtración y desinfección en lotes

En la Figura 10 se observa el procedimiento empleado para la etapa de simulación del TPA, filtración y desinfección en lotes. De la salida del Emisor Central se tomó una muestra de agua residual cruda y se sometió al tren de tratamiento esquematizado en la Figura 10. En (A) se tomó la muestra por medio de una polea y una cubeta de 20 litros, posteriormente, el agua fue transportada al laboratorio instalado en las inmediaciones, en él se realizó la simulación del TPA en el equipo de pruebas de jarras (B); el agua tratada fue filtrada en el equipo de filtración (C), y el efluente filtrado, se utilizó para realizar la desinfección (D).

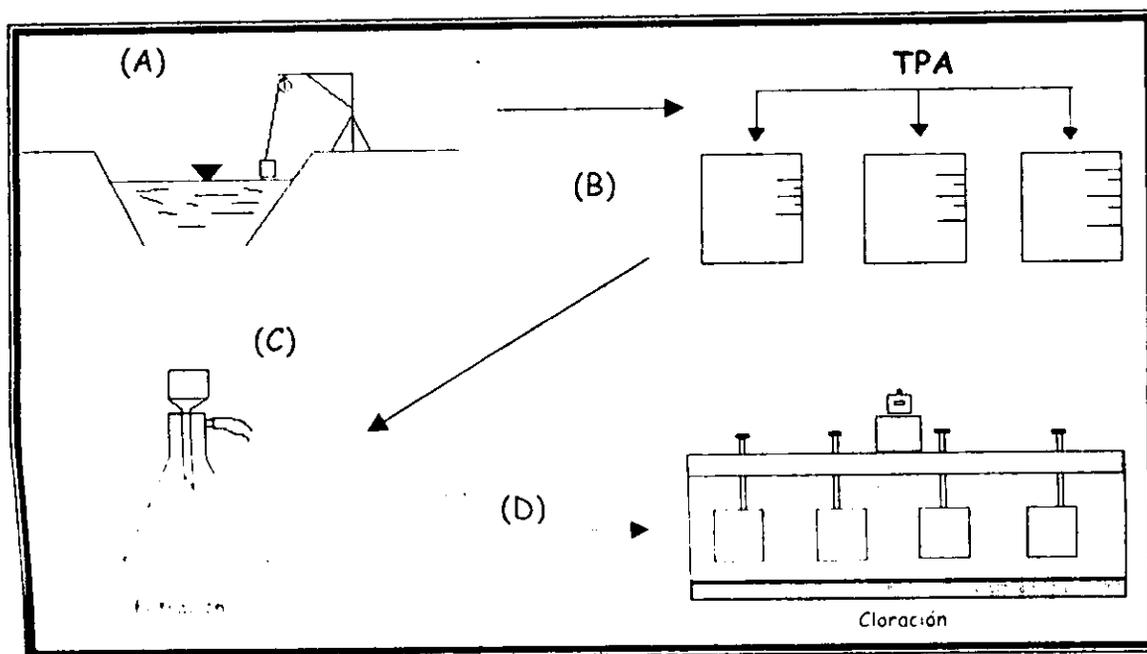


Figura 10 Esquema de muestreo para la desinfección en prueba de jarras

#### 4.1.1 Simulación del proceso del TPA y la filtración

Para la simulación del TPA, se utilizó un equipo de mezclado PHIPPS & BIRD mod. 779-400 con jarras Nalgene®, de 1 litro de capacidad (Figura 11). Durante la etapa de coagulación se aplicó sulfato de aluminio en dosis de 40 mg/L y en la floculación se utilizó el polímero procifloc A-252 en dosis de 0.4 mg/L.

Los criterios de mezclado para la simulación del TPA fueron retomados del estudio hecho para este tipo de agua, y se presentan en la Tabla 10, (Jiménez, 1996).

Tabla 10. Criterios de mezclado. (Fuente: Jiménez *et al*, 1996)

ETAPAS	RPM	TIEMPO (seg)
Mezclado rápido	100	30
Adición del coagulante	60	120
Adición del floculante	100	10
Tiempo de contacto	20	180
Sedimentación	0	300

Para la filtración se empleó un equipo de filtración Nalgene®, utilizando papel filtro Whatman de 40µm. En la Tabla 11 se muestran los parámetros evaluados en esta etapa.

Tabla 11. Parámetros a evaluar en la simulación del TPA y filtración

PARÁMETRO EVALUADO	TÉCNICA EMPLEADA
Coliformes fecales	Filtro de membrana, medio MFC 9222- Métodos Standard, 1989
DQO <sub>r</sub>	Colorimétrico Reactivo Hatch

#### 4.1.2 Simulación de la cloración en pruebas lote

Durante la desinfección se utilizó el sistema de jarras, (Figura 11), dosificando cloro líquido comercial (hipoclorito de sodio), que fue valorado según Métodos Estándar (EPA, 1991). Durante el estudio se probaron dosis de cloro, de 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12 mg Cl<sub>2</sub>/L con tiempos de contacto de 30, 60 y 90 minutos. Las condiciones de operación del equipo fueron, 100 r.p.m durante 20 segundos y la potencia de mezclado fue de 20 r.p.m para el tiempo complementario (Méndez, 1996). Los parámetros evaluados en esta etapa se muestran en la Tabla 12.

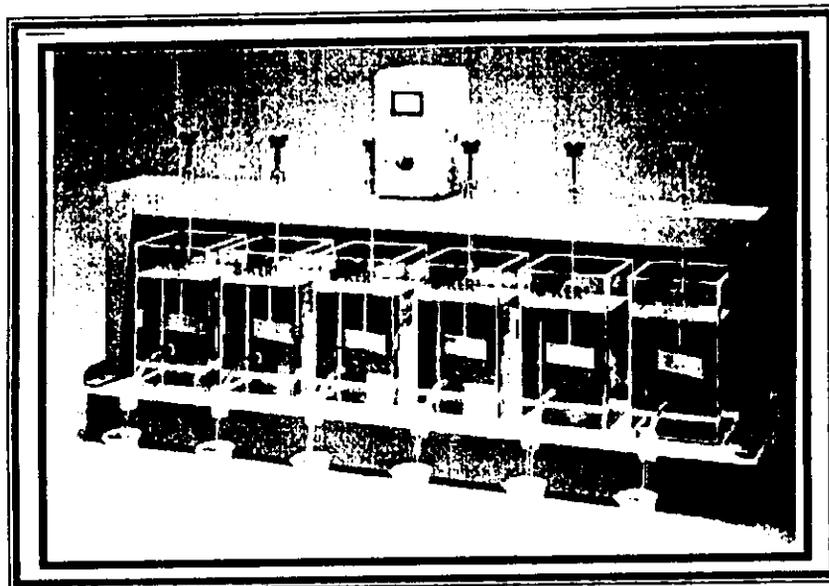


Figura 11. Equipo de mezclado, prueba de jarras

Tabla 12. Parámetros a evaluar en la simulación de la desinfección

PARÁMETRO EVALUADO	TÉCNICA EMPLEADA
Coliformes fecales	Filtro de membrana, medio MFC 9222- Métodos Standard, 1989
DQO <sub>1</sub>	Colorimétrico Reactivo Hatch
Cloro libre y residual	Método Yodimétrico 4500-CIA, Métodos Estándar, 1989

#### *4.2 Pruebas de desinfección en lote*

Como ya se mencionó, durante la etapa de pruebas de desinfección en lotes, se trabajó con cinco plantas piloto, (Figura 12) que consistían en un tratamiento primario avanzado pero con algunas variantes; después de recibir este tratamiento, el agua fue filtrada. Del agua filtrada se tomó una muestra para someterla a la desinfección en lotes, (pruebas de jarras), donde se estudiaron diversas dosis de cloro y tiempos de contacto. Estas condiciones fueron resultado de la primera etapa.

Una vez terminado el proceso de desinfección, se tomó una muestra de agua para la evaluación de Coliformes Fecales en bolsas THIO BAG®, junto con muestras correspondientes al influente, efluente del TPA, y filtrado. Las muestras se pueden mantener como máximo por 12 horas en refrigeración a 4 °C.

##### *4.2.1 Tratamiento Primario Avanzado y filtración en continuo con desinfección en lote*

Los efluentes a desinfectar provienen de cinco tecnologías con TPA, y las características de cada proceso se describen brevemente a continuación.

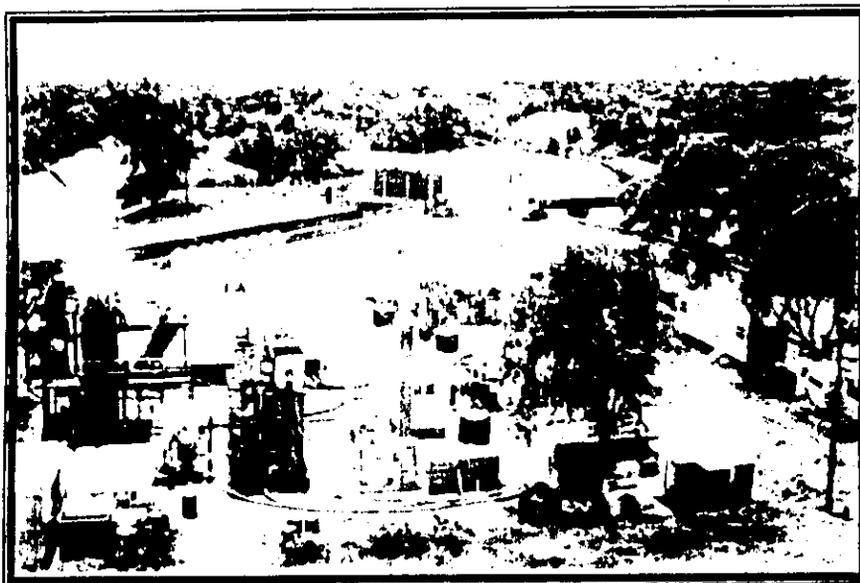


Figura 12. Vista aérea de "El salto", Tepeji del Río, Hgo.

#### ***4.2.1.1 Efluente proveniente de la planta ATLATEC (sistema de sedimentación de alta tasa)***

El proceso de la planta ATLATEC consiste en hacer fluir el agua a un tanque de homogeneización dotado de rejillas para retener sólidos gruesos. Posteriormente, el agua es enviada a la parte superior de la planta, donde se encuentran dos rejillas estáticas que retienen los sólidos menos pesados o finos para ser devueltos al canal (Figuras 13 y 14). Después el agua es enviada a cada una de las etapas referidas en la Tabla 13.

Posteriormente, el agua se alimenta a un tanque de mezcla rápida. En este tanque se mezcla el agua y el sulfato de aluminio; el coagulante es dosificado al tanque de mezclado por medio de una bomba dosificadora calibrada para suministrar la dosis especificada de acuerdo con la cantidad de agua tratada.

Después de haberse puesto en contacto con el coagulante, la mezcla se alimenta en la parte inferior del tanque floculador. Este tanque está separado en tres secciones por medio de deflectores que cuentan con un área de sección transversal variable con una forma de círculo truncado. En el centro de este tanque se encuentra una flecha vertical que se extiende a todo lo largo. Esta flecha está unida a tres juegos de paletas, uno por sección. El objetivo de esta etapa es poner en contacto el agente floculante con el agua, para lograr la aglomeración de flóculos de tal forma que debido al incremento de su peso y tamaño sean más fácilmente sedimentados en la etapa posterior. El motor que acciona el sistema es de velocidad variable.

El agua en tratamiento sale por la parte superior del floculador y entra por la parte superior del tanque sedimentador. En el interior, sobre la zona de acumulación de lodos, se encuentran colocados dos bancos de placas paralelas inclinadas, las cuales tienen como función incrementar el área de sedimentación de tal forma, que en un espacio menor de tanque pueda tratarse una mayor cantidad de agua que en los sistemas de sedimentación convencionales.

Tabla 13. Etapas principales de un TPA convencional con sedimentación de alta tasa

ETAPA	FUNCIONAMIENTO
Tanque de mezcla rápida	En él se llevó a cabo la mezcla vigorosa entre el agua residual y un coagulante. Éste es introducido al tanque por medio de una bomba dosificadora.
Tanque floculador	El agua, en coagulación, se alimenta a este depósito por la parte inferior, donde recibe una dosis de floculante para lograr la aglomeración de los sólidos y darles así mayor peso y tamaño, favoreciendo con esto la sedimentación en la siguiente etapa.
Tanque Sedimentador	En su interior se encuentran instalados dos bancos de placas paralelas inclinadas para incrementar el área de sedimentación de tal forma que, en un espacio menor, pueda tratarse una mayor cantidad de agua que en los sistemas de sedimentación convencionales y acelerar el proceso de sedimentación.

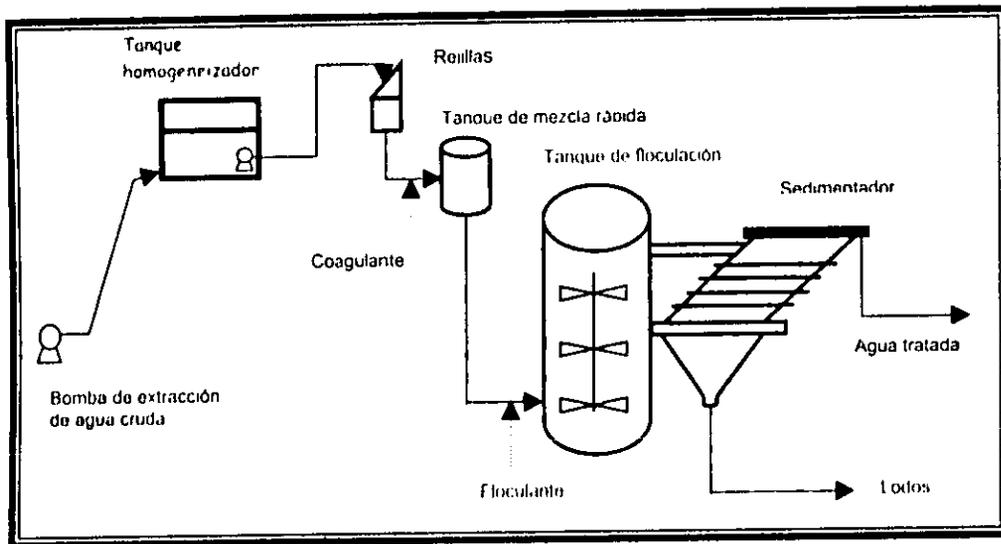


Figura 13. Diagrama de bloques de la planta piloto de Atlatec.

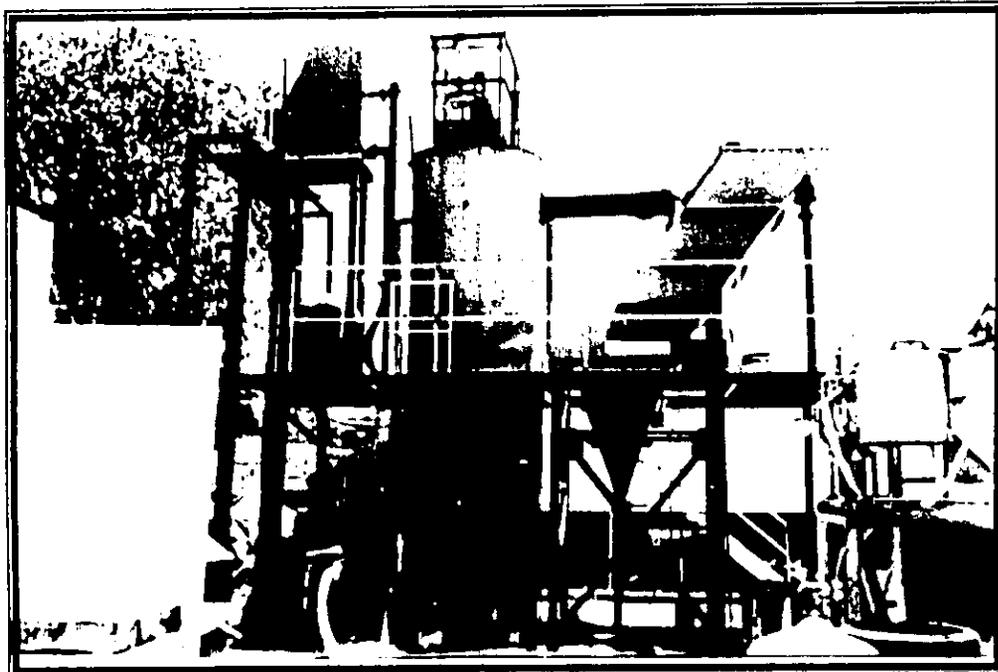


Figura 14. Vista de la planta Atlatec

#### 4.2.1.2 Efluente proveniente de la planta Dégremont (Densadeg®)- filtración

El sistema denominado comercialmente *Densadeg®* (Figuras 15 y 16) es una unidad con recirculación externa de lodos, basada en el principio de la decantación con placas (Tabla 14). Las cargas hidráulicas en el sedimentador de alta tasa trabajaron con valores entre 70 y 150 m/h ( $680 \text{ m}^3/\text{m}^2 \times \text{d}$  y  $3600 \text{ m}^3/\text{m}^2 \times \text{d}$ ) (Jiménez *et al*, 1997).

El sistema consiste en un tamizado fino, (apertura de 2.0 mm) de tambor rotatorio, equipado con un compactador de sólidos, un coagulador o mezclador rápido, y un clari-floculador denominado "DENSEDEG-DEGREMONT". El tratamiento de agua básicamente tiene lugar en tres partes: reactor, predecantador y sedimentador de alto rendimiento, Figura 16.

En el reactor se llevan a cabo tanto la floculación rápida con la ayuda de lodo recirculado, como la floculación lenta, la cual permite la formación de lodo denso y homogéneo.

Posteriormente, es formado un lecho de lodo en el predecantador-espesador, siendo la parte más importante del sistema. La mayoría de los flóculos formados en el reactor son fijados y espesados en esta área. La razón para que parte de la recirculación de lodos sea enviada otra vez hacia el reactor es para mantener una concentración constante de sólidos suspendidos totales en ésta área. Después, el agua es pasada a través de un decantador laminar el cual produce la sedimentación de flóculos residuales y mantiene una calidad constante del efluente.

Tabla 14. Etapas principales de un TPA con manto de lodos y sedimentación de alta tasa

ETAPA	FUNCIONAMIENTO
Reactor	Este dispositivo emplea dos cámaras sucesivas con energía de floculación variable: la zona central de floculación rápida con alta concentración de lodos y en la cual se adiciona el floculante (reactor agitado), seguida de una zona exterior para la floculación lenta que permite la densificación y el crecimiento del flóculo (reactor pistón).
Tanque predecantador y espesamiento	En esta zona, la mayoría de los flóculos se sedimentan y se espesan por medio de una acción continua del sistema de rastras sobre el lodo. Una parte del lodo espesado se recircula hacia el reactor. El exceso de lodo es extraído por la parte inferior del tanque.
Decantador laminar	En esta cámara, equipada con módulos laminares de sección hexagonal se lleva a cabo la decantación de los flóculos residuales.

Como complemento al TPA, la planta cuenta con dos filtros de flujo descendente (Figura 17).

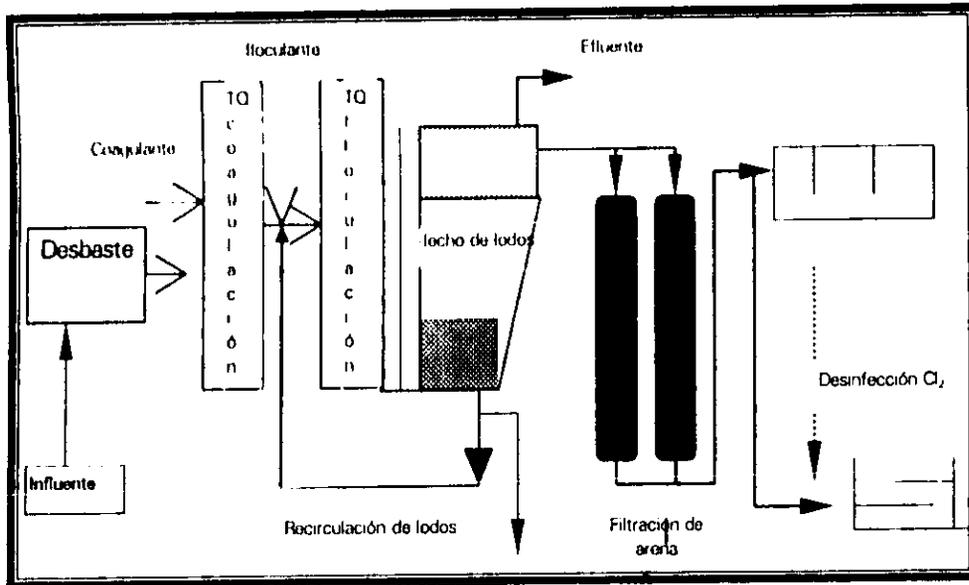


Figura 15. Diagrama de bloques del tratamiento. Degremont.  
(Fuente: Jiménez *et al.*, 1997)

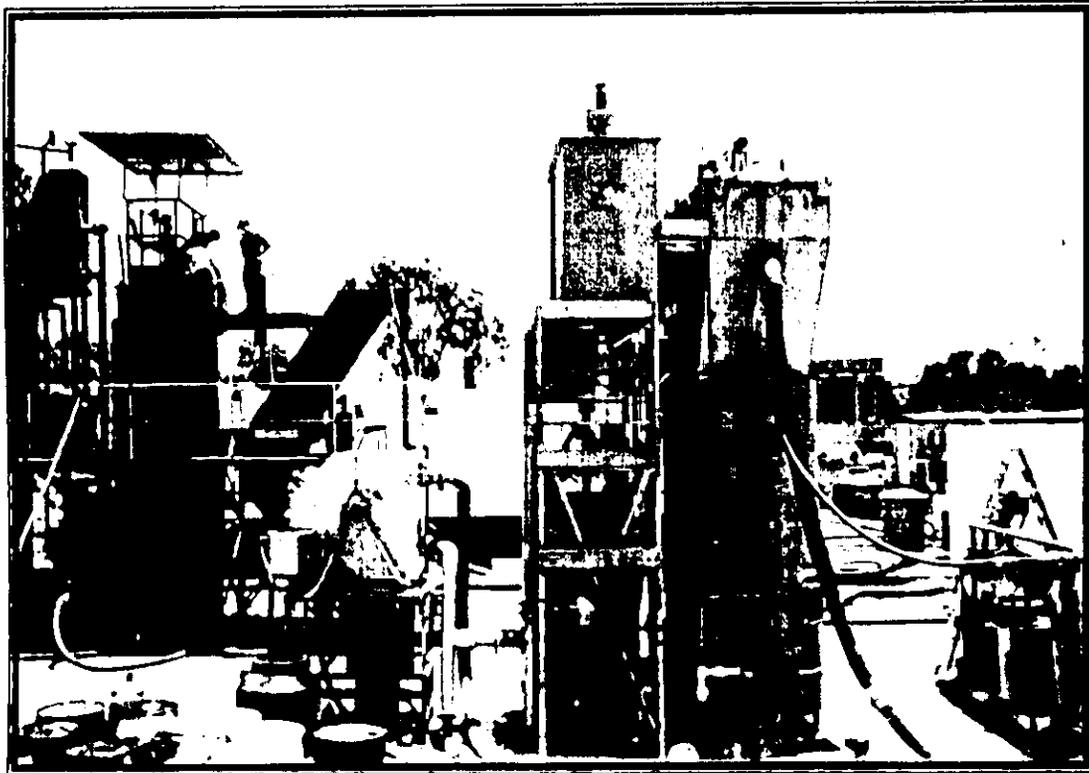


Figura 16. Vista de la planta Degremont

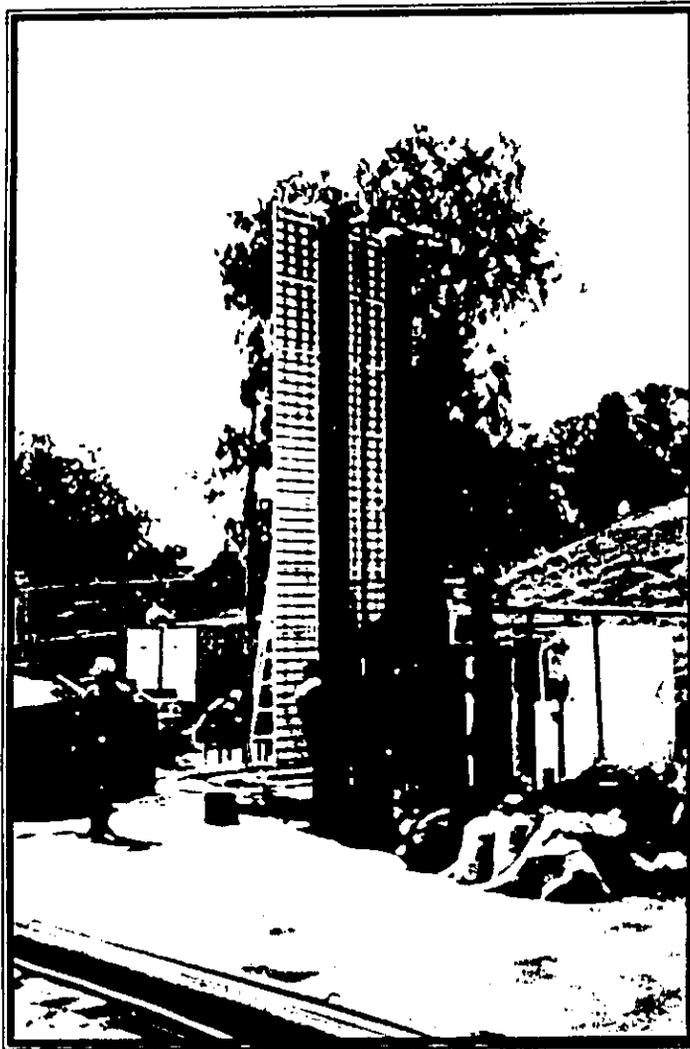


Figura 17. Vista del sistema de filtración. Degremont

#### *4.2.1.3 Efluente proveniente de la planta Microsep (Actiflo®)*

El reactor de coagulación-floculación con lastre de Microsep® es un sistema de clarificación que utiliza una floculación lastrada para incrementar la velocidad de asentamiento de los Sólidos Suspendidos (Figuras 18 y 19). El flujo de agua es pretratado por la adición de un coagulante para desestabilizar el material coloidal. Este pretratamiento es seguido por una etapa de floculación en la cual los sólidos son llevados (atraídos) a la superficie de partículas transportadoras

inertes (PTI), con la ayuda de un polímero, produciendo así flóculos más pesados que precipitan a velocidades mayores. Estos al caer al piso del reactor son recogidos como lodos por un mecanismo espiral de recolección.

El lodo sedimentado es bombeado del fondo del reactor hacia un hidrociclón donde el lodo es separado de la arena por medio de fuerza centrífuga creada por la entrada de la suspensión. Las PTI están formadas por partículas más grandes y densas que las encontradas en el flujo de agua (arena de 75 a 150  $\mu\text{m}$ ). Las PTI son recicladas y regresadas a la etapa de floculación y el lodo separado es expulsado, y evacuado del sistema.

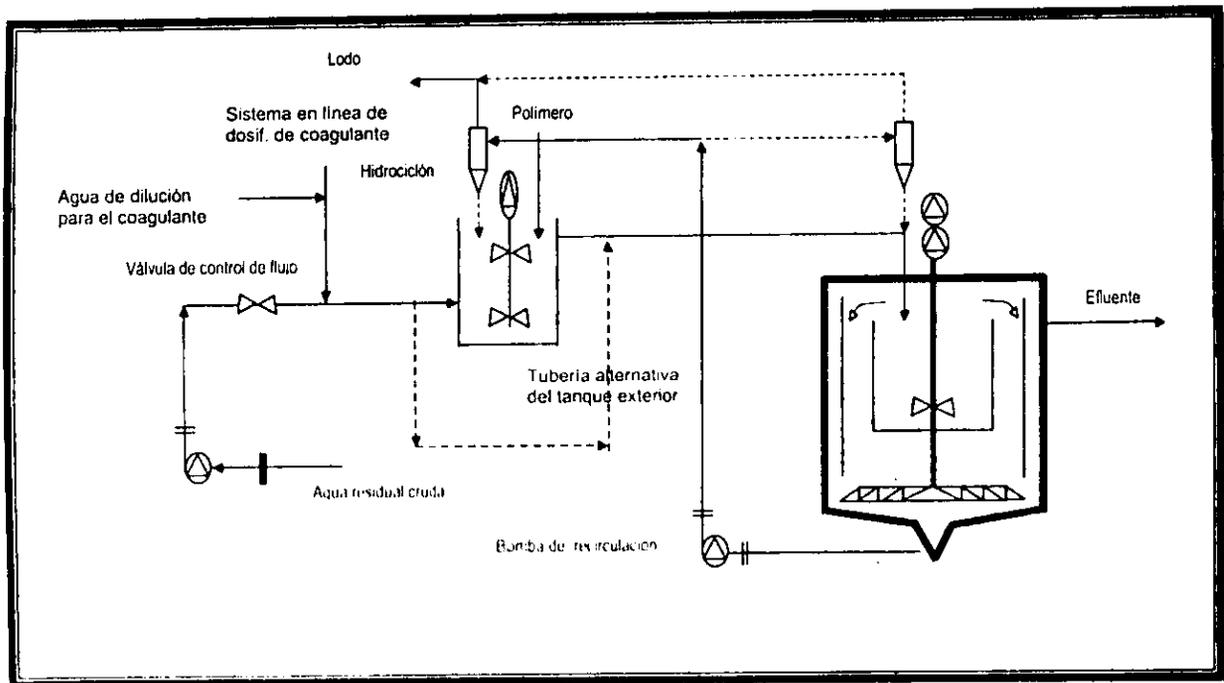
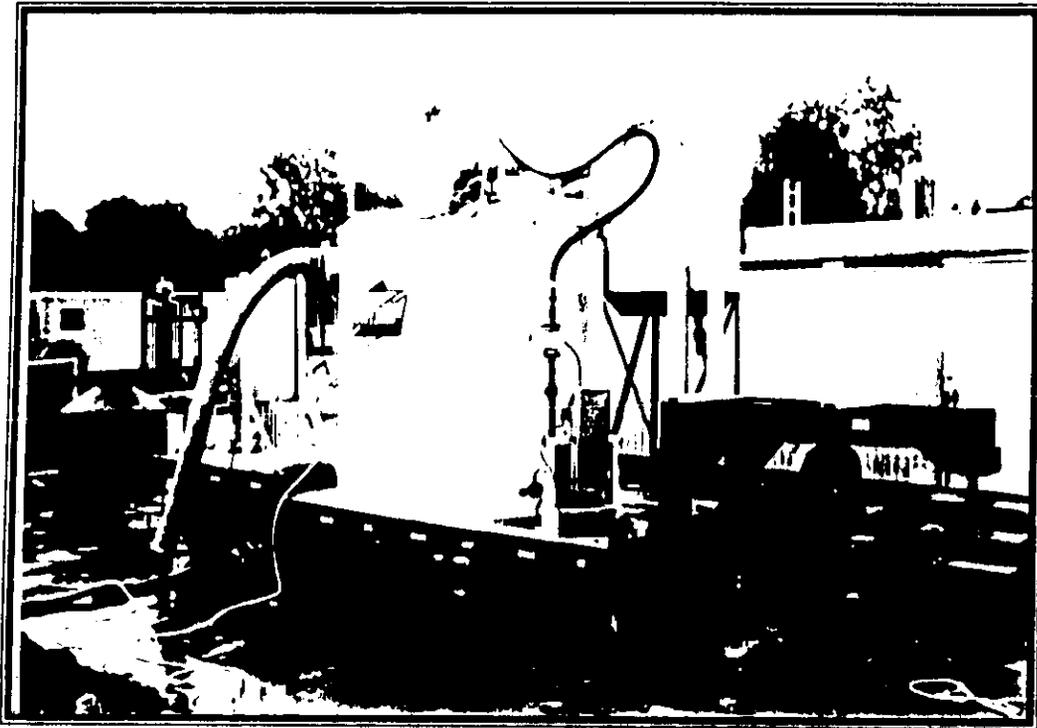


Figura 18. Diagrama de bloques de la planta piloto de Microsep®.  
(fuente: Whitehead, 1997)



#### 4.2.1.4 Efluente proveniente de la planta OTV (Actiflo®)-Filtración

El proceso de tratamiento denominado comercialmente ACTIFLO®, (Figura 20) es un sistema que emplea microarena en la etapa de coagulación como medio de lastre, lo que permite un arranque casi inmediato del sistema y el incremento de la carga admisible en el sedimentador a valores superiores a los señalados en la literatura (hasta 180 m/h) (Jiménez *et al.*, 1998).

El proceso inicia con el desbaste y desarenado, después de este pretratamiento, el agua se canaliza a la primera etapa, etiquetada como etapa de coagulación, en ésta se inyecta el coagulante ( $Al_2(SO_4)_3$ ). El siguiente paso es la etapa de floculación, la cual está constituida por un tanque de inyección y un tanque de maduración. En el tanque de inyección (también llamado tanque de mezcla rápida), las materias en suspensión se ponen en contacto con la microarena mediante un polielectrolito. Gracias a su elevada densidad, la arena sirve de lastre a los flóculos en formación. En el tanque de maduración, el flóculo se espesa y termina su maduración. Estos tanques están equipados con mezcladores dinámicos cuyas características de operación están establecidas en función de los gradientes de velocidad óptimos.

Después de las dos primeras etapas, el agua entra a la etapa de decantación. En ésta, el agua de la etapa de floculación entra en el tanque de decantación laminar a contra corriente, con respecto del lodo. El agua decantada es evacuada en la parte superior mediante un sistema de canaletas.

Los lodos y la micro arena se depositan en el fondo del decantador de donde se recolectan por medio de un sistema de rastras y tolvas, antes de ser enviados hacia un sistema de hidrociclones en los que se efectúa la separación granulométrica de la arena lo que permite recuperar casi la totalidad de la micro arena para su reciclaje, Tabla 15.

El principio de floculación con lastre permite tiempos de retención hidráulicos extremadamente reducidos en el depósito, inferiores a diez minutos. En cuanto a las velocidades, éstas pueden alcanzar valores hasta de 130 m/h.

Como complemento al TPA, el agua tratada fue llevada a un sistema de filtración compuesto de dos filtros de arena, uno de flujo ascendente y otro de flujo descendente, de funcionamiento en paralelo, con diferente tamaño y altura del lecho de arena, Figura 21.

Tabla 15. Etapas principales de un TPA lastrado con microarena y sedimentación de alta tasa, Actiflo®

ETAPA	FUNCIONAMIENTO
Tanque de mezcla rápida	En éste se efectúa la dispersión de la arena y del polielectrolito en el agua bruta
Tanque de floculación	En este depósito se realiza el engrosamiento y la maduración del flóculo anteriormente formado.
Decantador laminar a contracorriente	Aquí se lleva a cabo la separación entre el agua y el flóculo lastrado con microarena. Los lodos extraídos del decantador son bombeados hacia un hidrociclón que separa la arena de los lodos. Estos últimos pueden ser enviados hacia los depósitos de tratamiento específicos mientras que la arena limpia es reciclada al tanque de mezcla rápida.

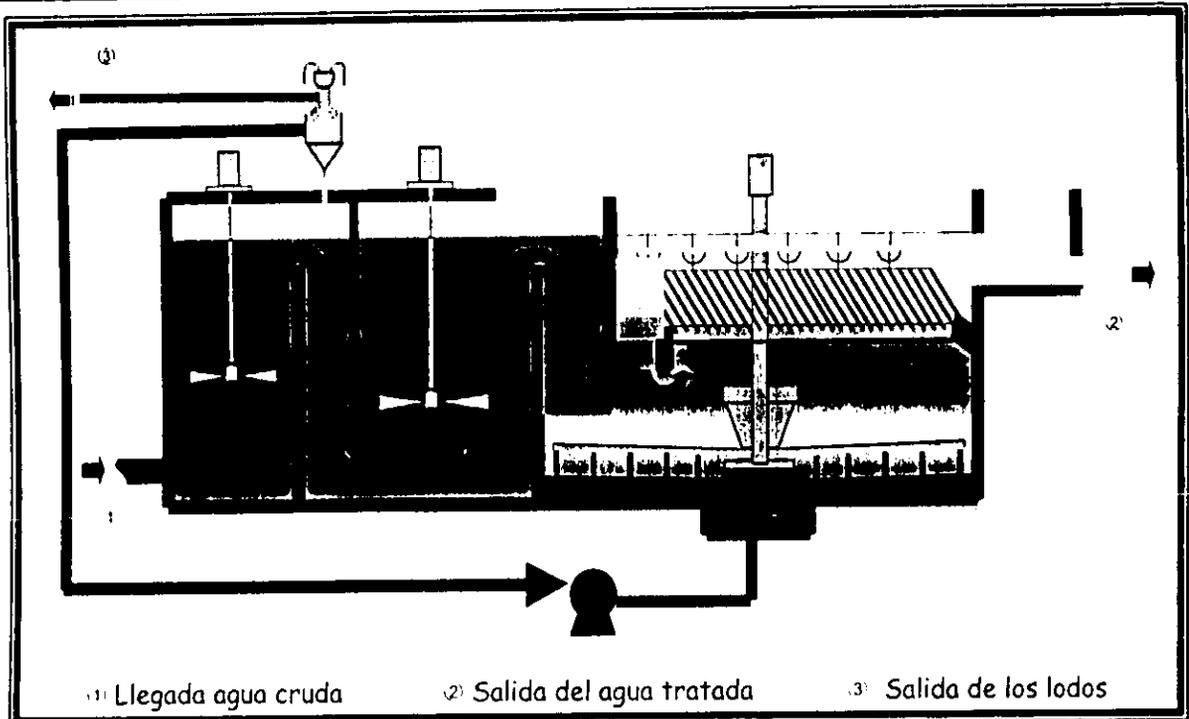


Figura 20. Esquema de funcionamiento de un TPA con floculación lastrada

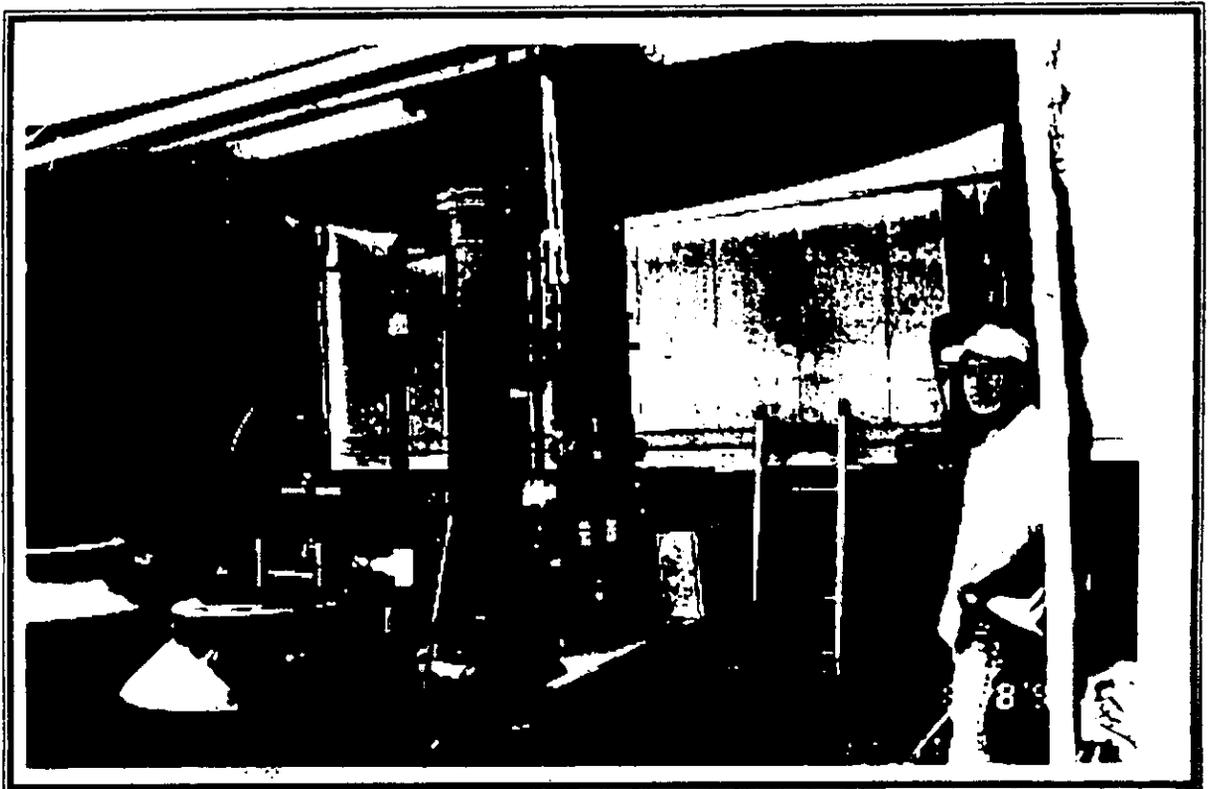


Figura 21. Vista del sistema de filtración de OTV

#### 4.2.1.5 Efluente proveniente de la planta US-FILTER (Clarifloculación®)- Filtración

El proceso comienza por la extracción del agua residual mediante una bomba sumergible cubierta por una jaula de malla ciclónica que sirve de protección de los sólidos gruesos contenidos en el agua y así evitar se atasque la bomba. Esta agua es conducida a través de rejillas de separación, (mallas #100), para eliminar sólidos finos, posteriormente pasa a través de la tubería de alimentación en la que es inyectado el coagulante por la acción de una bomba dosificadora. La mezcla de coagulante con agua residual es conducida a través de unos pequeños deflectores para homogenizarla. Antes de ser alimentada al tanque floculador es inyectado el polímero floculante.

El tanque de floculación cuenta con un área de  $1.3 \text{ m}^2$  y una altura de  $1.45 \text{ m}$ , además de dos agitadores tipo paleta controlados por motores de velocidad variable, Figura 24, en esta etapa la agitación es lenta para evitar el rompimiento de los flóculos formados.

Después de ésta etapa el agua pasa al tanque clarificador. El clarificador está diseñado para realizar la separación por flotación con inyección de aire y eliminarlos mediante unas rastras mecánicas movidas por cadenas. El Tanque clarificador tiene un área de  $1.76 \text{ m}^2$ , una altura de  $1.46 \text{ m}$  y un volumen útil de  $4.19 \text{ m}^3$ , donde el agua es sedimentada, generando el efluente. En la parte inferior del tanque se encuentra la zona de acumulación de lodos, la cual cuenta con un tornillo sin fin para conducir los lodos de manera eficiente, que posteriormente son bombeados a un tanque de recolección y evacuación, Figuras 22 y 23.

La planta maneja caudales de  $3.41$ ,  $4.55$ ,  $5.68$ ,  $6.82$  y  $10.23 \text{ m}^3/\text{hora}$ , con tasas de  $1.97$ ,  $2.63$ ,  $3.28$  y  $3.94 \text{ m/h}$ , respectivamente.

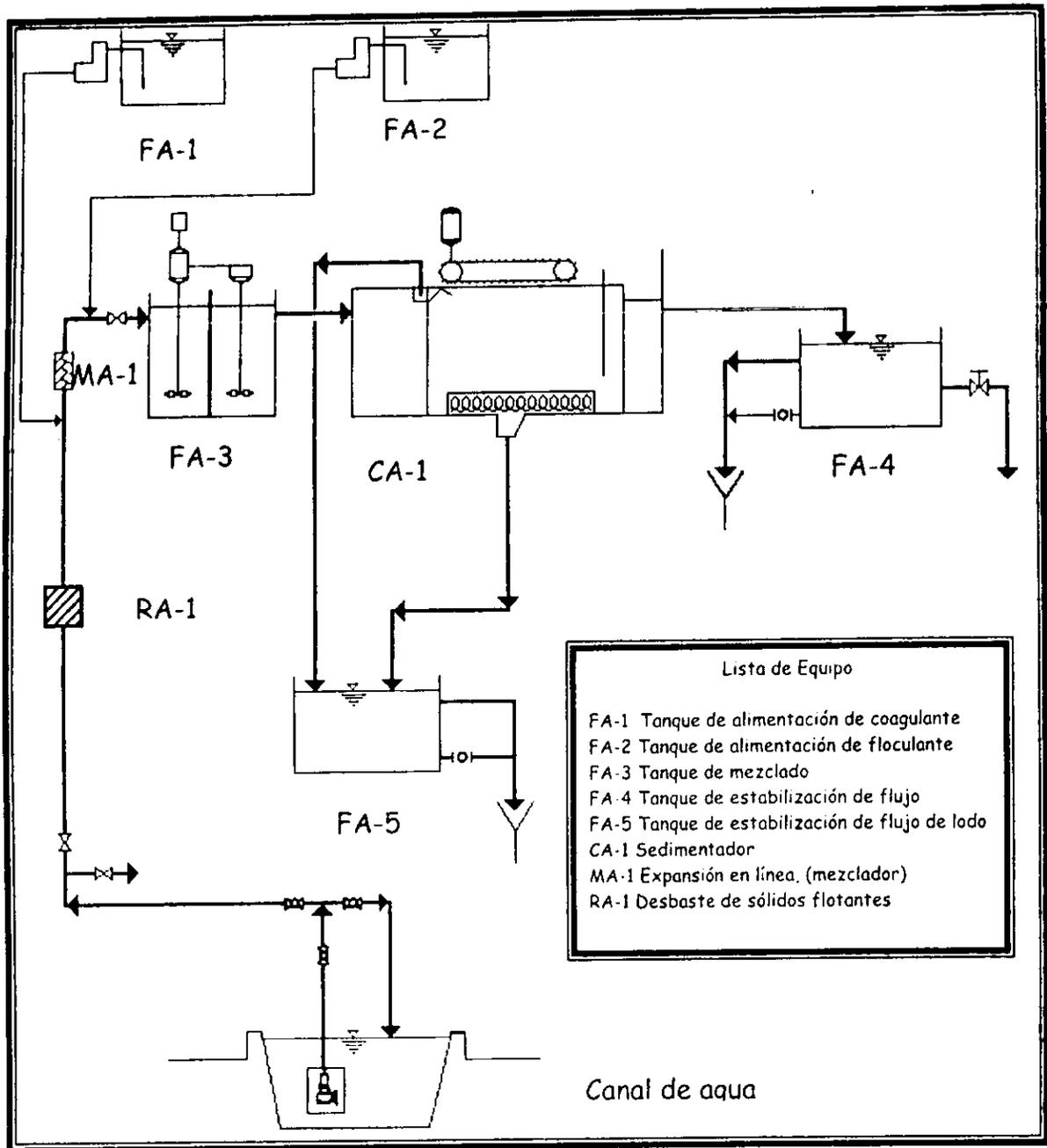


Figura 22. Diagrama de bloques US-FILTER



Figura 23. Vista de la planta US FILTER

En el sistema de filtración, se utilizaron dos medios de filtración uno de ellos utilizaba cascara de nuez como medio filtrante y trabajaba a presión. El filtro que alimentó al clorador era un sistema de filtración por gravedad de flujo descendente. En la Figura 23 puede apreciarse la planta con sus dos filtros. La Figura 24 ofrece una panorámica del tanque de sedimentación.

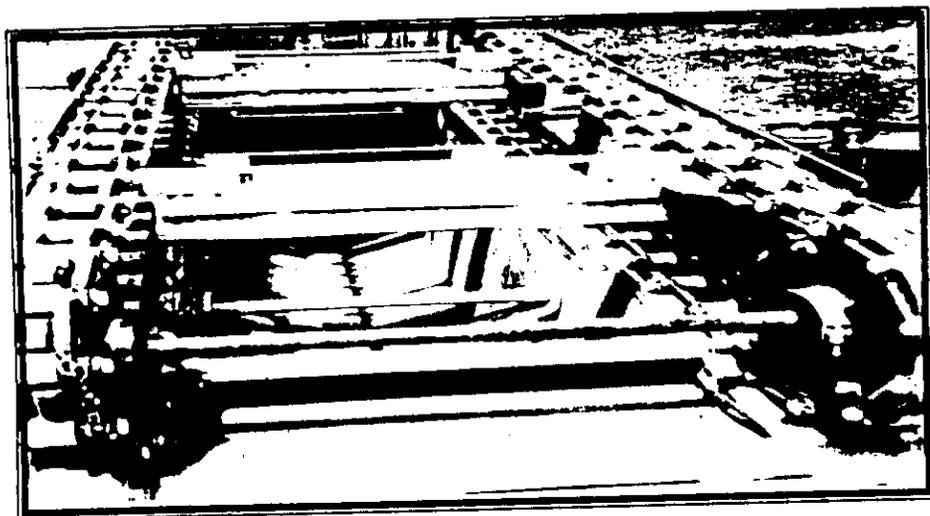


Figura 24. Vista del tanque sedimentador. US FILTER

### 4.3 Evaluación de la cloración en continuo para el filtrado de un TPA

Una vez obtenida el agua tratada por cada uno de los sistemas, (TPA y filtración), se captó parte del efluente de los filtros y se canalizó al tanque clorador según el procedimiento que se esquematiza en la Figura 25.

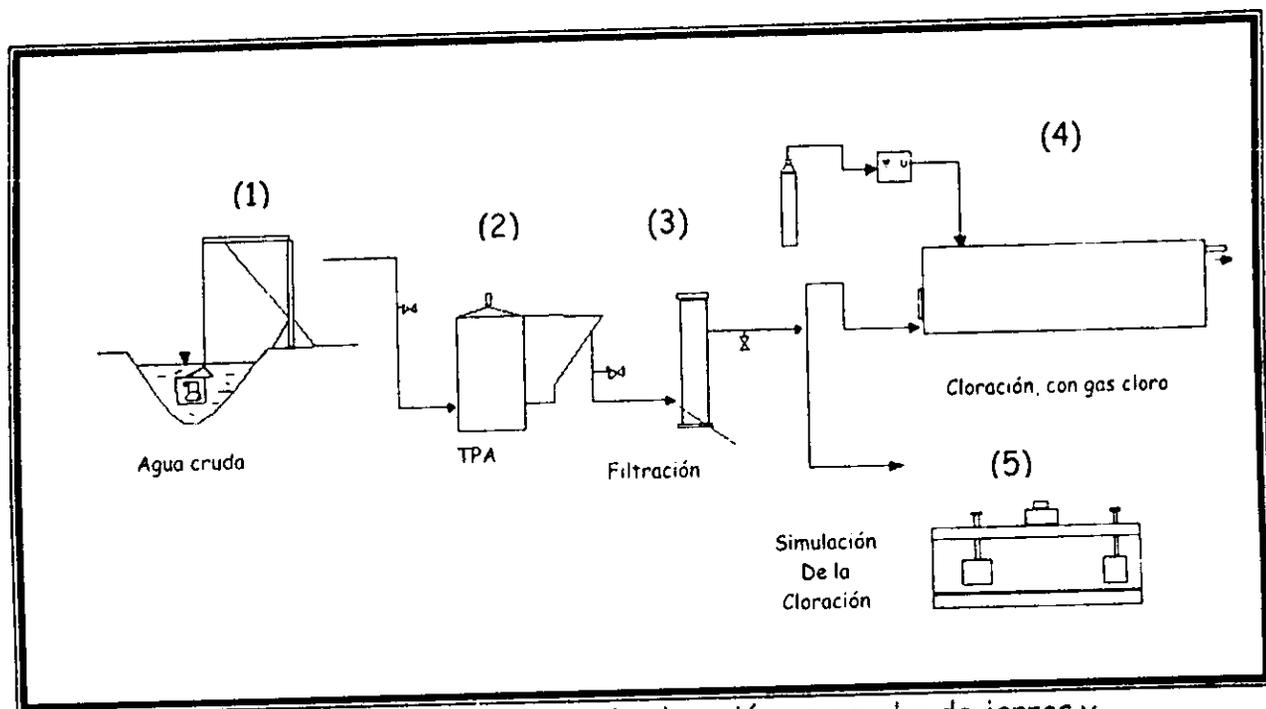


Figura 25. Esquema del muestreo para la cloración en prueba de jarras y continuo

En la Figura 26, muestra el equipo de contacto utilizado durante la cloración, y en las Tablas 16 y 17 se presentan las especificaciones del sistema de cloración. El criterio de diseño empleado en la construcción del clorador, fue el tiempo de contacto, tomando tres horas de tiempo de contacto, y tres baffles, para poder analizar cada hora, (1 hora por baffle)

El sistema de mezclado consistió de tubería de PVC de 1" y un difusor de cuerpo poroso porcelanizado, Figura 7, Capítulo 3.

La conexión con los filtros fue hecha con manguera plástica, (1<sup>1/2</sup>" ), para dar mayor movilidad al sistema de bombeo.

La bomba GA-1 tiene una potencia  $\frac{1}{4}$  de caballo, y esta montada en un soporte móvil para facilitar el transporte en la planta. El sistema de tuberías fue de PVC de 1" provista de 4 válvulas de globo de 1".

El cloro fue dosificado por una medidor de flujo controlado por una válvula selenoide. (RA-2, en la Figura 26). El sistema de tubería fue de plástico de  $\frac{1}{2}$ " y articulada para poder dar mantenimiento al difusor.

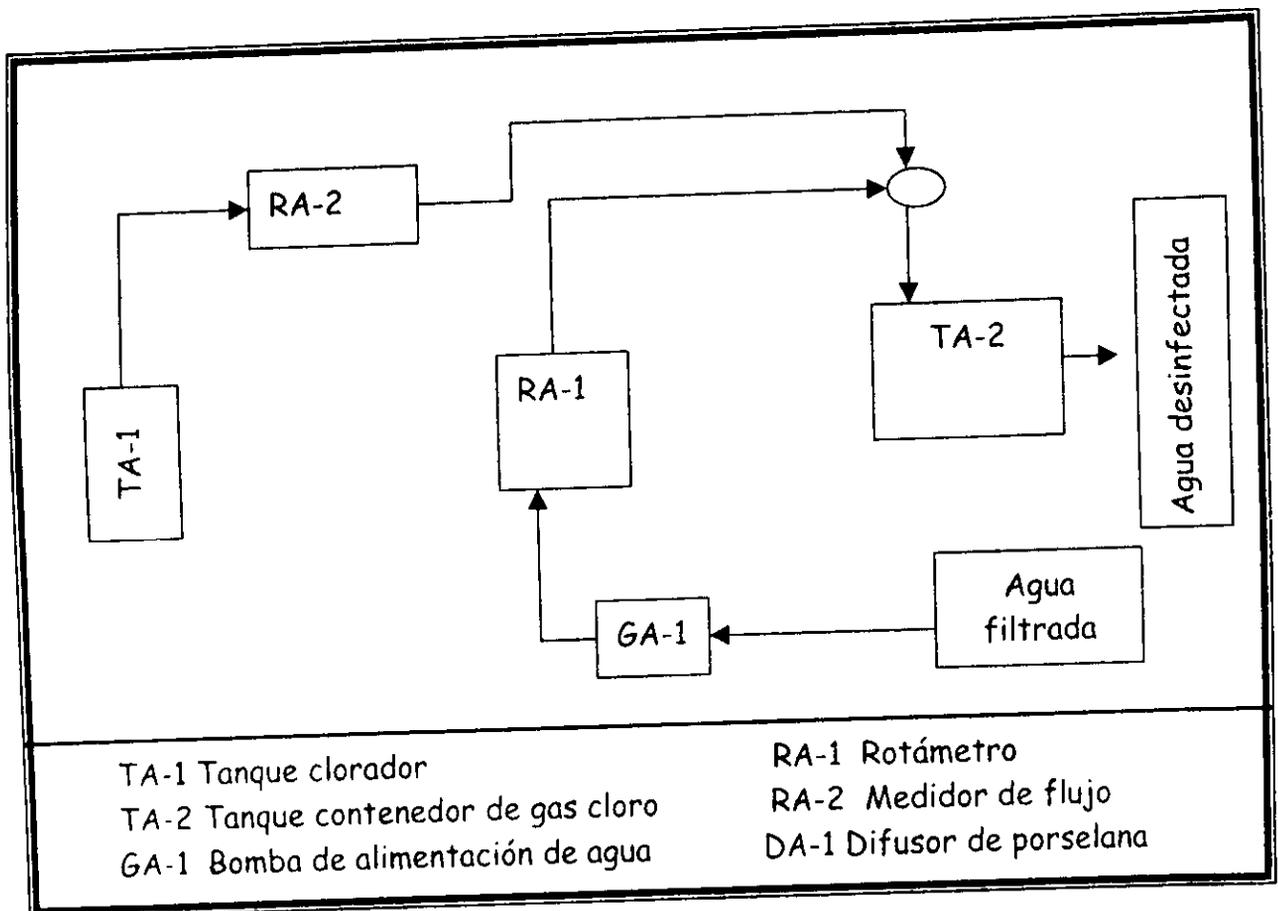


Figura 26. Sistema de bombeo para clorador, Tepeji del Río, Hgo.

Tabla 16. Especificaciones técnicas del tanque clorador

TANQUE CLORADOR							
Material de fabricación	Altura cm	Altura húmeda cm	Ancho cm	Ancho de canal cm	Longitud cm	TRH horas	Capacidad de Flujo L/min
Ladrillo cocido revestimiento de concreto e impermeabilizado	100	60	195	45x3	225	3	15

Tabla 17. Especificaciones técnicas del clorador

CLORADOR DIRECTO M. 20.057				
Precisión	Capacidad máxima	Mínima presión de operación	Máxima contra presión	Límites de temperatura ambiente
4% escala total	1 a 50 Kg/cm <sup>2</sup>	25 psi	10 psi	60 a 120 °F

El seguimiento de la cloración se hizo en la entrada al clorador, después de 30 minutos, (muestreo sumergido), 60, 120, 180 minutos; los puertos de muestreo se observan en la Figura 27.

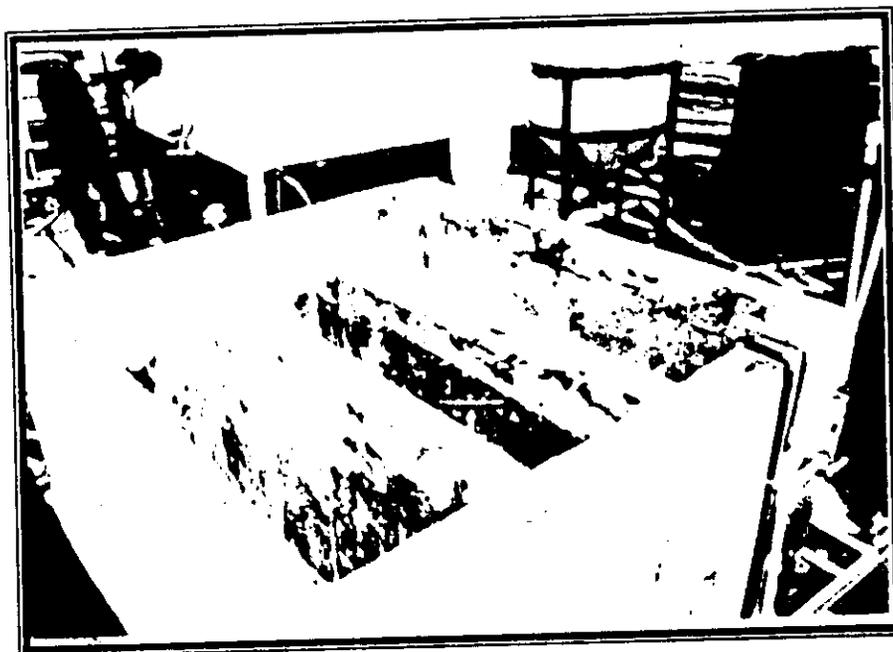


Figura 27. Equipo de contacto, Tepeji del Río, Hgo.

De la salida del filtro se conectó una manguera plástica de 1<sup>1/2</sup> ", esta, conectada a una bomba de 1/4 HP, el exceso de flujo era liberado con un By-pass en la carcasa de la bomba, el flujo era conducido por tubería (manguera de 1<sup>1/2</sup>" ) hasta la entrada del clorador, previo a ello el flujo era controlado por una válvula de tipo globo, el flujo se ajusto a 15 L/ min. El sistema de bombeo se adaptaba según las necesidades. Es decir en Degremont® el flujo era alimentado por gravedad, para US FILTER® se bombeo con recirculación, para no vaciar el tanque receptor, al igual que Degermont®, ATLATEC, alimentaba el clorador por gravedad.

Los parámetros considerados en la evaluación se citan en la Tabla 18.

Tabla 18. Parámetros fisicoquímicos y biológicos a evaluar

PARÁMETRO	INFLUENTE	EFLUENTE	FILTRACIÓN	DESINFECCIÓN	MÉTODO	FRECUENCIA
<b>FISICOQUÍMICOS</b>						
Turbiedad			X		Nefelomé-trico	Rutinario
ST	X	X	X	X	Gravimé-trico	Esporádico
PH			X		Potenciomé-trico	Esporádico
Cloro libre				X	DPD	Rutinario
NH <sub>2</sub> Cl				X	DPD	Rutinario
NHCl <sub>2</sub>				X	DPD	Rutinario
Cl <sub>2</sub> combina				X	DPD	Rutinario
N-orgánico	X	X	X	X	Titulomé-trico	Esporádico
N-amoniacal	X	X	X	X	Titulom-étrico	Esporádico
DQO <sub>1</sub>	X	X	X	X	Fotomé-trico	Esporádico
<b>MICROBIOLÓGICOS</b>						
Coliformes Fecales	X	X	X	X	Métodos standard 9222D F. membrana	Rutinario
Salmonella	X	X	X	X	Métodos Standard 9260D T. Múltiples	Esporádico
Protozoarios	X	X	X	X		Esporádico

#### *4.4 Evaluación del recrecimiento bacteriano durante la desinfección*

Para medir el efecto de recrecimiento, se procedió a almacenar 10 litros de muestra clorada en recipientes plásticos.

En intervalos de tiempo de 1, 2, 3, 6, 24 y 48 horas, se realizó un muestreo en el que se determinó el contenido de Coliformes Fecales, Salmonella y Protozoarios de acuerdo con las técnicas establecidas.

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA



5. RESULTADOS  
Y  
DISCUSIÓN

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la mayoría de los ensayos químicos la distribución de resultados analíticos siguen una distribución normal, (distribución de Gauss). La distribución en los datos de crecimiento microbiológico, no son, necesariamente, simétricas, este tipo de datos presenta una asimetría positiva. La aplicación de técnicas estadísticas rigurosas exige trabajar con distribuciones simétricas. La mejor medida de tendencia central que se ajusta al comportamiento microbiano, es la media geométrica y no la aritmética, por tanto, todas las mediciones de conteo de organismos son expresadas de esta forma.

Como se menciona en el capítulo anterior, los análisis para el estudio de cloración en lotes y continuo, estuvieron sujetos a la disponibilidad de cada planta. De las cinco plantas podemos citar que Atlatec tuvo múltiples problemas técnicos y de operación, con lo que el proceso pocas veces logró estabilizarse, además de que la operación de un filtro de puente viajero, les fue técnicamente difícil de manejar. Los datos de prueba de jarras para Atlatec, no fueron filtrados.

Microsep, tuvo que retirar sus instalaciones debido a problemas internos antes de obtener datos de la cloración en continuo de su efluente, por lo que fue descartado en la metodología de cloración de forma continua. De este sistema podemos mencionar que carecía de filtro, por lo que las pruebas de jarras se realizaron después del TPA.

Quizá de las plantas más eficientes, OTV trabajó en continuo sin problemas de relevancia.

De análoga eficiencia, Degremont trabajó desde antes de empezar los análisis de cloración por lo que aun no se establecían las filosofías de análisis del trabajo en conjunto con las cinco plantas.

Finalmente US-FILTER, que trabajo eficientemente durante todo el periodo de estudio; no presento problemas de operación.

## 5.1 Pruebas en lote

### 5.1.1 Simulación del TPA, filtración y cloración.

En la Tabla 19 se muestran los resultados obtenidos para las diversas dosis de cloro a los diferentes tiempos de contacto cuando en el TPA se aplicaron 40 mg/L de sulfato de aluminio,  $(Al_2(SO_4)_3)$ , como coagulante.

Al observar el comportamiento de los coliformes fecales, se aprecia que para los tres tiempos de contacto analizados, las dosis a la que se alcanza a reducir la concentración de coliformes fecales por debajo de la NOM/001, son: para 30 minutos 7 mgCl<sub>2</sub>/L, para 60 minutos de tiempo de contacto 6 mgCl<sub>2</sub>/L, y finalmente para 90 minutos se requirieron 5 mgCl<sub>2</sub>/L. Es evidente que mientras se aumenta el tiempo de contacto disminuye la dosis de cloro necesaria para reducir la concentración de coliformes por debajo de 1000 UFC/100 ml.

Es importante observar como la demanda química de oxígeno disminuye conforme aumenta la dosis de cloro para dosis hasta 9 mgCl<sub>2</sub>/L. En la competencia por oxidar, el cloro reacciona con diversos compuestos disueltos en el agua, lo que reduce los demandantes de oxígeno en el sistema. Si observamos el evento de 60 minutos se aprecia un incremento en la DQO<sub>t</sub>, lo que coincide con concentraciones elevadas de cloro libre, elemento que se convierte en un fuerte demandante de oxígeno.

En la cloración de agua residual tratada se generan compuestos clorados que le otorgan un residual desinfectante que actúa sobre los organismos aun después de haber pasado por el clorador. En la tabla se observa que aparecen tanto la monocloraamina como la dicloroamina. Puede apreciarse que mientras más tiempo de contacto se proporciona al sistema, se requiere menos cloro para alcanzar a cumplir con la NOM/001.

Tabla 19. Simulación de la cloración con 40 mg/L de  $Al_2(SO_4)_3$

Dosis de cloro mg/l	C. Fecal UFC/100ml	DQO <sub>1</sub> mg/l	Cl <sub>2</sub> libre mg/l	NH <sub>2</sub> Cl mg/l	NHCl <sub>2</sub> mg/l	Cl <sub>2</sub> combinado mg/l	Cl <sub>2</sub> total mg/l	No. datos
30 minutos								
4	1.85E+04	142.5	0.2	0.20	0.15	0.35	0.55	2
5	1.08E+03	139.5	0.23	0.33	0.20	0.53	0.75	2
6	2.93E+03	139	0.28	0.48	0.30	0.78	1.05	2
7	1.00E+02	137	0.40	0.73	0.43	1.13	1.53	2
8	0.00E+00	136	0.55	0.85	0.5	1.35	1.85	2
9		133	0.65	1.13	0.65	1.78	2.43	2
60 minutos								
4	1.8E+04	235.63	0.21	0.44	0.31	0.74	0.95	8
5	1.08E+04	238.17	0.32	0.63	0.37	1.00	1.32	6
6	0.00E+00	237.25	0.34	0.94	0.57	1.51	1.86	8
7	0.00E+00	231.60	0.38	1.17	0.6	1.77	2.15	5
8	0.00E+00	232.43	0.43	1.5	0.83	2.33	2.77	7
9	0.00E+00	209.75	0.63	1.98	1.09	3.06	3.69	4
10	0.00E+00	235.00	0.48	2.00	1.3	3.30	3.78	2
12	0.00E+00	240.50	0.9	3.75	1.73	5.48	6.38	2
90 minutos								
4	1.82E+03	136.50	.05	0.28	0.3	0.58	0.63	2
5	0.00E+00	136.50	.08	0.65	0.4	1.05	1.13	2
6	0.00E+00	133.00	0.15	1.15	0.48	1.63	1.78	2
7	0.00E+00	129.5	0.30	1.55	0.78	2.33	2.63	2
8	0.00E+00	128.00	0.43	1.8	1.35	3.15	3.58	2
9	0.00E+00	125.5	0.50	2.83	1.3	4.13	4.63	2

Durante el proceso de simulación del TPA y la filtración sólo se removió 1 unidad logarítmica en cuanto a CF. En el influente se detectaron, en promedio,  $7.76 \cdot 10^8$  UFC/100 ml y la DQO<sub>t</sub> presentó un valor promedio de 505 mg/L, para 6 datos analizados, con lo que se observa que el TPA no redujo la concentración de coliformes fecales, más la DQO<sub>t</sub> se redujo en un 56%, (286 mg/l). Siguiendo el tren de tratamiento, la filtración redujo en una unidad exponencial la concentración de coliformes y la DQO<sub>t</sub> presentó una disminución del 10 %, (259 mg/l).

En la Figura 28 se representa el fenómeno observado en la simulación de la desinfección en lotes. Hay que resaltar que mientras el tiempo de contacto sea mayor (se necesitaron 4.5 mg Cl<sub>2</sub>/L y 90 minutos), las dosis de cloro necesarias para reducir la concentración de coliformes fecales, se ve disminuida (se necesitaron 6.7 mg Cl<sub>2</sub>/L y 30 minutos), efecto de la acción de los agentes desinfectantes formados durante el proceso, y aunque la eficiencia de las formaciones de cloroaminas es pequeña las dosis de cloro que permiten cubrir los requerimientos de concentración de coliformes fecales que establece la NOM/001, en ella se muestra la influencia del tiempo de contacto en la desinfección.

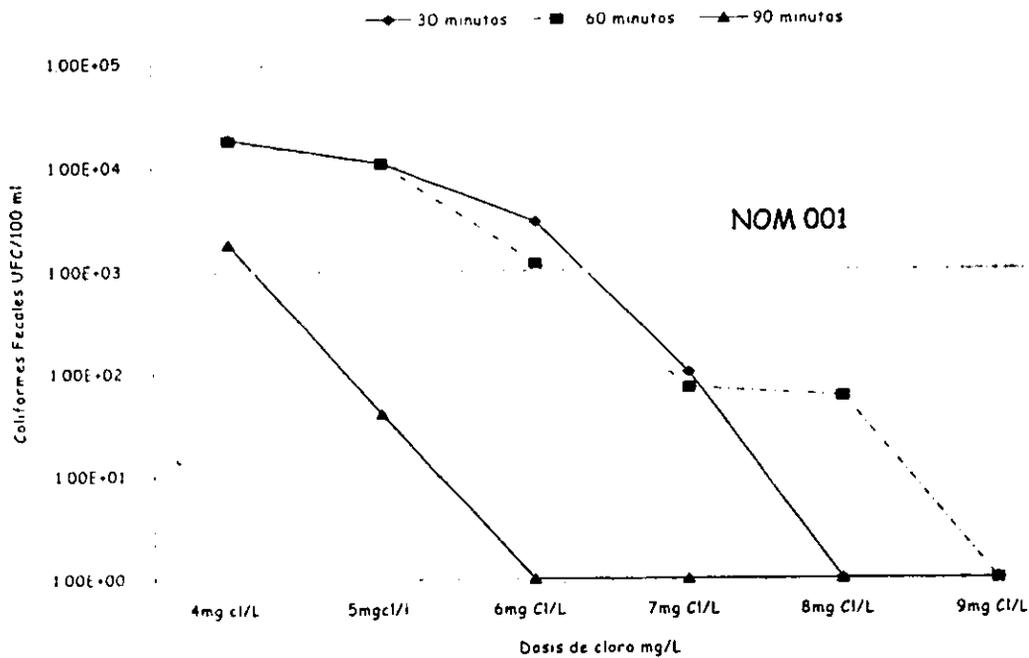


Figura 28. Desinfección en lotes a diversos tiempos de contacto

En la Tabla 20 se presenta el comportamiento de la cloración en las dosis que alcanzan a reducir la concentración de CF conforme la NOM/001, en los tres tiempos de contacto estudiados.

De los demandantes de cloro existentes en el agua observamos que el cloro que reacciona hacia alguna forma desinfectante, ( $\text{HOCl}$ ,  $\text{OCl}^-$ ,  $\text{NH}_2\text{Cl}$ ,  $\text{NHCl}_2$ ), corresponde al 21% del cloro alimentado; De éste, 74% esta en forma combinada y 26% en forma libre, cuando se inyectan 7 mg  $\text{Cl}_2$  y se ha sometido a 30 minutos de tiempo de contacto. Para la dosis de 6 mg/L de cloro, a 60 minutos de tiempo de contacto, 31% se convierte en algún compuesto desinfectante, 81% en forma combinada y 19% en forma libre. Finalmente se detecto 21% del cloro dosificado, del cual 93% se identifico en forma combinada y 7% en forma libre cuando se dosificaron 5 mg/L y 90 minutos de tiempo de contacto.

En la Tabla 20 se puede observar que con tiempo de 60 minutos y 6 mg  $\text{Cl}_2$ /L, existe un punto en cual la eficiencia de la reacción del cloro es máxima, (31%) lo que garantiza una mayor eficiencia, pues existe mayor concentración de cloro total.

La DQO nos describe, cualitativamente, el mecanismo de la cloración. Al disminuir la DQO se están oxidando compuestos disueltos en agua, parte de éstos han sido transformados por el cloro en formas que el método no detecta. La eficiencia de reacción para la formación de cloroaminas nos explica que el principal agente desinfectante es el cloro combinado (mono y dicloroaminas), lo que resulta una ventaja pues si bien es cierto que se reduce la concentraciones de CF, las cloroaminas le confieren un efecto desinfectante residual.

Tabla 20. Comparación del tiempo de contacto en la desinfección en lotes

Tiempo de contacto minutos	dosis de cloro m $\text{Cl}_2$ /L	Cl libre mg/L	Cl comb mg/L	Cl Total	Cl en formas no determinadas	Eficiencia de la reacción %
30	7	0.4	1.13	1.53	5.46	21
60	6	0.34	1.51	1.86	4.14	31
90	5	0.08	1.05	1.13	3.87	23

Es evidente que en la desinfección predomina la acción de las cloroaminas. Para analizar la influencia del tiempo de contacto en la formación de cloroaminas, analizaremos la simulación de la desinfección cuando se dosifica 5mg Cl<sub>2</sub>/L en los tres tiempos de contacto analizados, este fenómeno lo analizamos en la Tabla 21.

Del balance de masa realizado sobre las reacciones de formación de los agentes desinfectantes (ecuaciones 2, 4, 9, 10, 11, cap. 3), y considerando relaciones estequiométricas, observamos que en 30 minutos la eficiencia de la reacción (formación de agentes desinfectantes), es del 15% mientras que para 60 minutos la eficiencia sube hasta 26%, para disminuir a 23% para 90 minutos, lo que evidencia que existe un punto óptimo, en el que la eficiencia de reacción se incrementa, este hecho da argumentos para afirmar que cuando se emplea la simulación del TPA, cuando se utiliza Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>, la filtración y cloración, en condiciones de mezclado ideal, los factores decisivos para incrementar la eficiencia del proceso, son el tiempo de contacto y dosis de cloro, recomendándose una dosis de cloro de 6 mg Cl<sub>2</sub>/L y 60 minutos de tiempo de contacto (Tabla 21).

Tabla 21. Comportamiento de la cloración en dosis eficientes

Tiempo de contacto Minutos	Dosis de cloro mg/l	Cloro combinado mg/l	Cloro libre mg/l	Cloro total mg/l	Déficit en el balance de masa	Eficiencia de la reacción %
30	5	0.53	0.23	0.75	4.25	15
60	5	1.00	0.32	1.32	3.68	26.4
90	5	1.05	0.08	1.13	3.87	22.6

### 5.2 Desinfección en lotes a partir de un efluente del TPA

En la siguiente etapa de la metodología, se analizó la simulación de la cloración del efluente de un TPA, proveniente de una planta piloto. En la Figura 29 se muestran los resultados generales obtenidos para la desinfección en lotes cuando se somete a las condiciones recomendadas en la etapa anterior, 60 minutos de tiempo de contacto y 5 mg Cl<sub>2</sub>/L, además de analizar el comportamiento con 4, 6,7 y 8 mg Cl<sub>2</sub>/L. En ella se puede apreciar que con la dosis recomendada por la simulación del tren de tratamiento no se alcanza a reducir la concentración de coliformes fecales a lo establecido en la NOM 001, aunque el proceso alcanza a remover aproximadamente cuatro unidades logarítmicas, en la dosis más bajas.

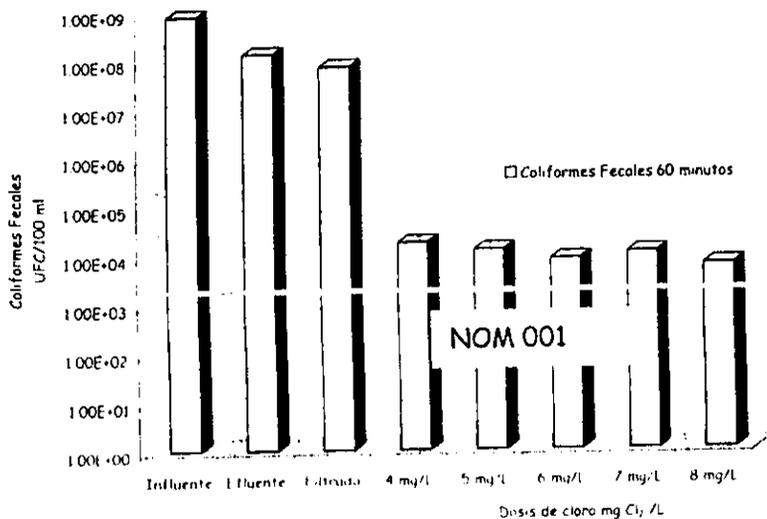


Figura 29. Desinfección en lotes para una hora de Tiempo de Contacto

Este fenómeno era esperado pues para este caso las condiciones ideales del TPA no se cubre con la planta piloto.

Cuando a las mismas dosis de cloro, 4,5,6,7 y 8 mg/L se tiene un tiempo de retención hidráulica de 120 minutos en la simulación de la cloración, se observa una disminución en la concentración de coliformes fecales por debajo de la norma a partir de 8 mg de cloro. Si consideramos que el tren de tratamiento difiere del anterior sistema analizado en el control que se tiene de las condiciones del proceso además de que solo se trata un litro mientras que en la

planta piloto se manejan flujos de hasta 20 L/s y tiempos de retención hidráulica de 20 minutos y del acoplamiento de un filtro; no obstante de que la concentración de coliformes fecales en el agua cruda no varía significativamente, se atribuye esta diferencia a la etapa anterior a la desinfección.

Para el evento en donde se cloro con 120 minutos de tiempo de contacto, la Figura 30 nos muestra su comportamiento.

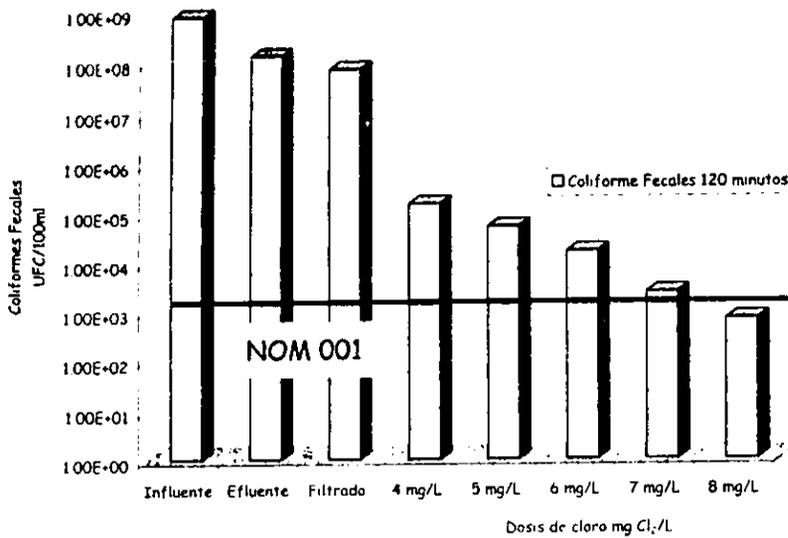


Figura 30. Desinfección en lotes con dos hora de Tiempo de Contacto

Si observamos la Figura 31, en donde varía el tiempo de contacto hasta tres horas, se encuentra que es necesario dosificar 8 mg de cloro para cumplir la NOM/001/ECOL/96.

Aunque no es tan evidente como en la simulación del tren de tratamiento, podemos apreciar la influencia del tiempo de contacto en la disminución de CF. A partir de dos horas no se presenta un cambio considerable en la disminución, con lo que se asumió que la dosis recomendada en la simulación de la desinfección del efluente del TPA de las plantas piloto es de 8 mg Cl<sub>2</sub> /L, recomendando tres horas de tiempo de contacto.

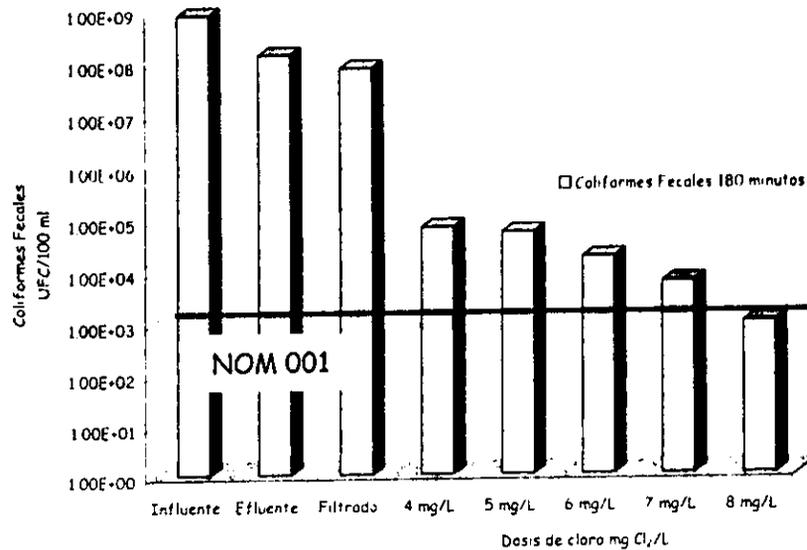


Figura 31. Desinfección en lotes con tres horas de Tiempo de Contacto

Con lo que se concluyo que las condiciones de operación en el sistema de desinfección en lotes para cumplir los requerimientos microbiológicos de la NOM/001/ECOL/96, fueron 8 mg Cl<sub>2</sub>/L y tiempos de retención hidráulica mayores de 1 hora.

### 5.2.1 Desinfección en lotes para la planta Degremont

Los datos analizados y resumidos de la desinfección de esta planta se muestra en la Tabla 22. La base de datos se encuentra en el Anexo.

Esta planta fue la primera en instalar su equipo, técnicamente es muy eficiente, el sistema de control del proceso proporcionó la continuidad del tratamiento con fallos controlados del proceso. El sistema Densadeg® empleó tasas de sedimentación desde 70 y hasta 150 m/h, y los filtros presentaron tiempos de carrera largos (de 12 a 16 horas).

En el estudio de desinfección hecho a esta planta se detecto la reducción de una unidad logarítmica de CF por el TPA, una unidad en el equipo de filtración, suministrando  $10^7$  UFC/100 ml a la etapa de desinfección.

En la Tabla 22 se aprecia que para 60 minutos se requirieron de 8 mg Cl/L para reducir la concentración de coliformes fecales para el cumplimiento de la NOM 001, para un tiempo de contacto de 90 minutos se necesitaron 7 mg Cl/L para el mismo fin, y cuando se analizo el experimento en el que se dejo 120 minutos en contacto con el cloro, se necesitaron 8 mg Cl/L.

En la Tabla 22 se puede apreciar que para un tiempo de contacto de 60 minutos en la dosis que cumple con la concentración de CF requerida para agua de riego, se detectó mayor concentración de cloro libre y combinado en comparación con el evento de 90 minutos y 7 mg Cl<sub>2</sub>/L. Es importante recalcar que cuando se alcanza a cumplir la concentración de coliformes fecales que marca la norma, (CF < 1000NMP/100 ml), la concentración de monoclороaminas representa el mayor porcentaje en las etapas de formación de diclorоaminas y cloro libre a partir del cloro dosificado.

Tabla 22. Datos de la cloración en prueba de lotes. Degremont

DEGREMONT.								
DATOS DE COLIFORMES FECALES EN EL PROCESO PREVIO A LA DESINFECCIÓN, UFC / 100 ml								
CRUDA 7.82E+09			FILTRADA 5.2E+07			EFLUENTE 2.2E+08		
Dosis de cloro	Col. Fecal UFC / 100ml	Cl <sub>2</sub> libre mg OCl / L	NH <sub>2</sub> Cl mg Cl <sub>2</sub> / L	NHCl <sub>2</sub> mg Cl <sub>2</sub> / L	Cloro combinado	Cloro total	NH <sub>2</sub> Cl mg / L	NHCl <sub>2</sub> mg / L
60 minutos								
4 mg / l	4.24E+04	0.13	0.38	0.27	0.65	0.78	0.56	0.32
5 mg / l	2.16E+04	0.18	0.52	0.43	0.95	1.13	0.75	0.52
6 mg / l	1.98E+03	0.28	0.78	0.42	1.20	1.48	1.14	0.50
7 mg / l	1.00E+03	0.35	1.10	0.55	1.65	2.00	1.60	0.67
8 mg / l	5.20E+02	0.40	1.30	0.70	2.00	2.40	1.89	0.85
90 minutos								
4 mg / l	2.82E+04	0.06	0.28	0.16	0.44	0.50	0.41	0.19
5 mg / l	5.98E+03	0.12	0.42	0.27	0.68	0.80	0.60	0.32
6 mg / l	4.85E+03	0.18	0.74	0.32	1.06	1.24	1.07	0.39
7 mg / l	4.40E+02	0.20	1.10	0.70	1.80	2.00	1.60	0.85
8 mg / l	5.29E+01	0.22	1.27	0.42	1.68	1.90	1.84	0.50
120 minutos.								
4 mg / l	7.19E+04	0.03	0.19	0.09	0.28	0.30	0.27	0.11
5 mg / l	5.11E+04	0.08	0.60	0.15	0.75	0.83	0.87	0.18
6 mg / l	7.52E+03	0.11	0.61	0.14	0.75	0.86	0.89	0.17
7 mg / l	1.25E+03	0.10	0.73	0.18	0.90	1.00	1.05	0.21
8 mg / l	3.11E+01	0.19	1.20	0.23	1.43	1.61	1.74	0.27

Al analizar el comportamiento del proceso de desinfección Figura 32, podemos observar que para el efluente filtrado de la planta piloto Degremont®, se necesitaron 8 mg  $Cl_2/L$  para cumplir con la normatividad de Coliformes Fecales,  $CF < 1000$  NMP/100ml.

En el mecanismo de desinfección por la acción del cloro es importante hacer mención que la eficiencia de este proceso radica en la naturaleza del agua, el tiempo de contacto, la dosis de cloro, y la eficiencia de mezclado.

Estos cuatro factores determinan la aplicabilidad de cualquier desinfectante. En el estudio de la desinfección del efluente filtrado de la planta piloto Degremont® se aprecia que se necesitaron 8 mg  $Cl_2/L$  para reducir la concentración de coliformes hasta valores en norma por los tres tiempos de contacto Figura 32, de la misma manera se observa como se incrementa el cloro residual al incrementar la dosis de cloro Figura 32, lo que significa que en el mecanismo de reacción del cloro se esta favoreciendo a la desinfección más que a la formación de compuestos organoclorados, por otro lado la formación de cloroaminas se incrementa sustancialmente, en la Figura 34 se puede apreciar la pendiente de las curvas de formación de cloroaminas, indicio de que los mecanismos de la reacción del cloro no fueron favorables para la formación de organoclorados.

En la Figura 32 se observa que el tiempo de contacto no tiene un efecto significativo sobre le efluente filtrado de la planta piloto, pues las curvas generadas tienen un comportamiento similar y en los tres casos con 8 mg  $Cl_2/L$  se cumple con el objetivo.

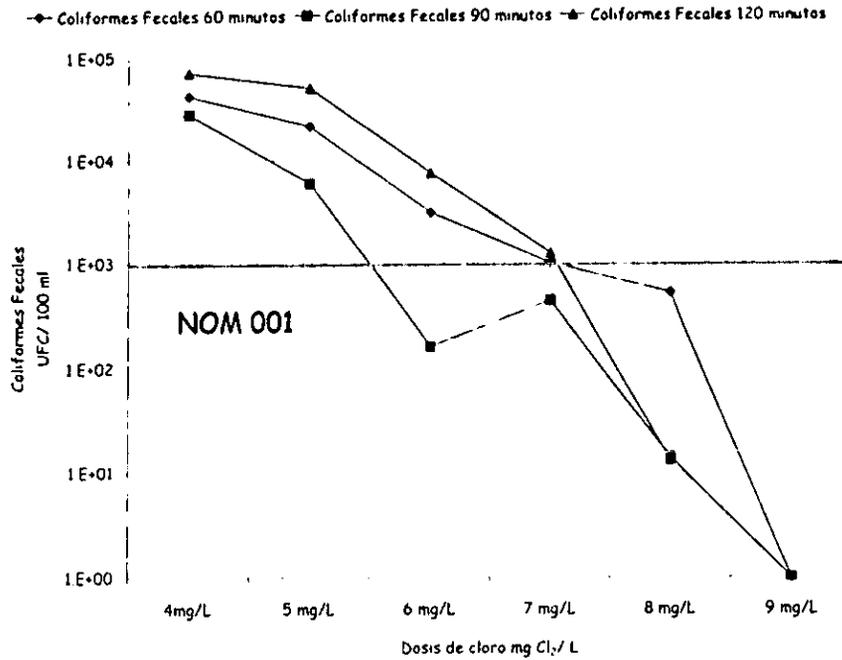


Figura 32. Desinfección para el efluente Degremont

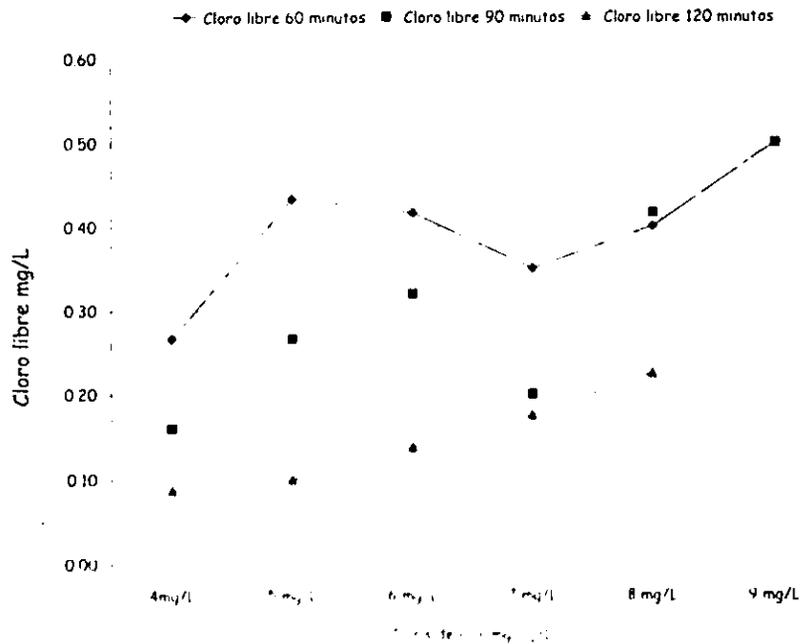


Figura 33. Cloro libre en los TC y dosis de cloro establecidas

A partir de las condiciones en las que el proceso cumplió con la calidad microbiológica deseada, ( $CF < 1000$  NMP/ 100 ml), se construyó la Tabla 23, en la que se analiza el comportamiento de la cloración en condiciones de operación.

Como se verificó en la Figura 32, la dosis de 8 mg  $Cl_2/L$  para los tres tiempos de contacto cumple con la NOM/001; en la Tabla 23 se observa como en estas condiciones la eficiencia de la reacción de formación de las monocloroaminas se fija en 33% para 60 minutos, 28% para 90 minutos y 30% para 120 minutos.

Tabla 23. Comportamiento de la cloración en dosis eficientes

	Tiempo de contacto minutos			Relación estequiométrica	Eficiencia de reacción %		
	60	90	120		60	90	120
$NH_2Cl$	1.89	1.6	1.74	5.8	32.6	27.5	30
$NHCl_2$	0.85	1.85	0.27	9.69	8.72	19.1	2.8

En general existe una tendencia a incrementar la concentración de las cloroaminas (Figura 34), a la vez que el cloro libre disminuye, esto implica que el proceso de desinfección posterior se verifica por las cloroaminas mayor proporción que por el cloro libre.

Comparando el tren de proceso, con Degremont como fuente de materia prima para la desinfección en lote, y la simulación del tren es evidente que existe un diferencia entre ambos procesos. La diferencia, obviamente, es la calidad del efluente producido durante la etapa previa a la desinfección, aunque la diferencia en unidades logarítmicas de CF entre uno y otro, la dosis de materia indeseable es el factor decisivo, además de las características "ideales" de la simulación del proceso.

Aun así la desviación porcentual entre la simulación del proceso y el tren Degremont-cloración en lotes es de 75% para 60 minutos y 63% para 90 minutos (tomados como dosis de cloro que cumplen la NOM/001, considerados como Coliformes Fecales).

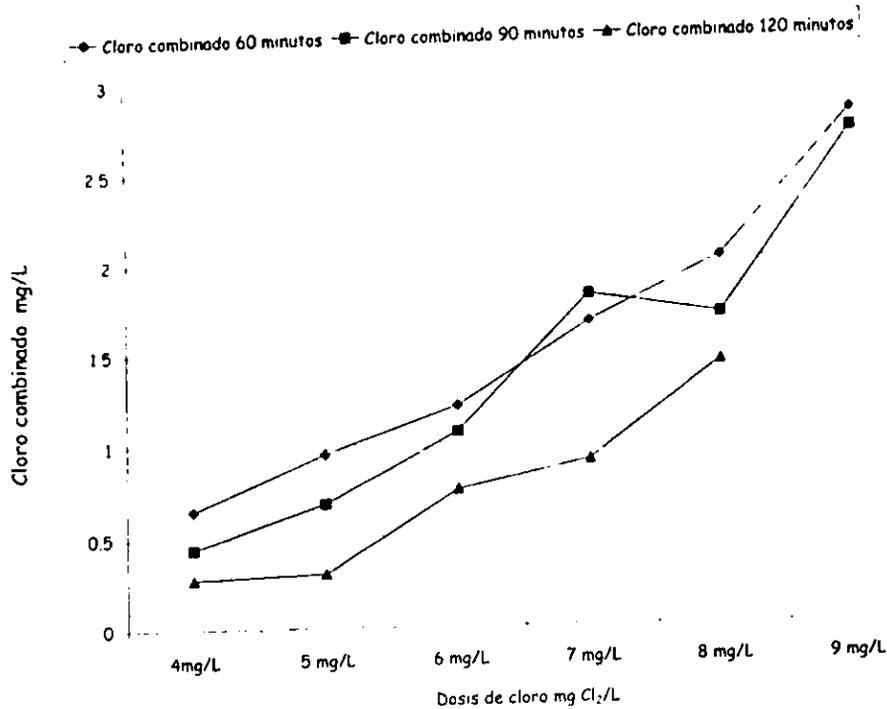


Figura 34. Cloro combinado en los Tiempo de Contacto y dosis de cloro establecidos

### 5.2.2 Desinfección en lotes para la planta OTV

Los datos analizados para la planta OTV se presentan en la Tabla 24. En ella se puede observar que para tiempos de contacto de 60, 90 y 120 minutos, fue necesario dosificar 8mgCl<sub>2</sub>/L para reducir la concentración de Coliformes Fecales a menos de 1000 UFC/100 ml, lo que sugiere que el proceso de desinfección, en los tiempos estudiados, fue independiente de éstos.

Esta planta contó con dos filtros, uno de flujo ascendente y otro de flujo descendente, ambos filtros vertían su efluente en un tanque, del cual se tomó la muestra para la desinfección.

La planta manejó tasas de sedimentación entre 57 y 18 m/h y operó de manera continua.

Con esta planta se manejaron tiempos de contacto de 60, 90, 120 y 180 minutos de tiempo de contacto y se evaluaron las mismas dosis que en el caso Degremont.

Tabla 24. Datos de la cloración en lotes. OTV

DATOS DE LA CLORACIÓN EN LOTES								
OTV								
Dosis de cloro	Col. Fecal UFC/100ml	Cl <sub>2</sub> libre OC/mg/L	NH <sub>2</sub> Cl mg Cl <sub>2</sub> /L	NHCl <sub>2</sub> mg Cl <sub>2</sub> /L	Cl <sub>2</sub> comb. mg/L	Cloro total mg/L	NH <sub>2</sub> Cl mg /L	NHCl <sub>2</sub> mg /L
60 minutos								
4 mg / l	2.30E+04	0.10	0.30	0.15	0.45	0.55	0.44	0.18
5 mg / l	2.80E+04	0.05	0.25	0.15	0.40	0.45	0.36	0.18
6 mg / l	8.30E+03	0.15	0.35	0.20	0.55	0.70	0.51	0.24
7 mg / l	9.30E+02	0.20	0.45	0.25	0.70	0.90	0.66	0.30
8 mg / l	3.00E+02	0.25	0.62	0.32	0.93	1.25	0.89	0.38
90 minutos								
4 mg / l	1.14E+05	0.10	0.25	0.15	0.30	0.40	0.37	0.18
5 mg / l	7.96E+03	0.07	0.27	0.17	0.43	0.50	0.39	0.20
6 mg / l	1.39E+03	0.11	0.40	0.26	0.66	0.78	0.58	0.32
7 mg / l	1.20E+03	0.13	0.70	0.32	1.02	1.15	1.02	0.38
8 mg / l	1.20E+02	0.18	0.73	0.27	1.00	0.96	1.06	0.32
120 minutos								
4 mg / l	1.58E+05	0.00	0.09	0.06	0.15	0.15	0.13	0.08
5 mg / l	5.50E+04	0.03	0.23	0.13	0.35	0.38	0.33	0.15
6 mg / l	1.87E+04	0.06	0.33	0.09	0.41	0.48	0.47	0.11
7 mg / l	3.74E+03	0.08	0.38	0.13	0.50	0.58	0.55	0.15
8 mg / l	6.19E+01	0.05	0.28	0.10	0.37	0.42	0.41	0.11
180 minutos								
4 mg / l	1.30E+05	0.00	0.15	0.15	0.10	0.05	0.15	0.06
5 mg / l	5.30E+04	0.05	0.45	0.50	0.35	0.10	0.51	0.12
6 mg / l	1.90E+04	0.10	0.75	0.85	0.50	0.25	0.73	0.30
7 mg / l	2.30E+03	0.15	1.15	1.30	0.85	0.30	1.23	0.36
8 mg / l	8.00E+02	0.20	1.60	1.80	1.20	0.40	1.74	0.48

En la Figura 35 se aprecia el comportamiento de la desinfección en lotes del efluente de los filtros de la planta OTV, este proceso removió una unidad logarítmica de unidades formadoras de coliformes en el TPA, ( $1.15 \times 10^9$  en el agua cruda,  $1.42 \times 10^8$  en al agua tratada, y  $3.07 \times 10^7$  UFC/100ml, en la filtración), una más en la filtración.

Como se observa en la Figura 35, para 60 y 90 minutos fueron necesarias dosis de 7 y 6 mg de cloro para cumplir con la NOM/001, sin embargo cuando analizamos el comportamiento de las curvas 120 y 180 minutos, se evidencia que la dosis de cloro para alcanzar la NOM/001 aumenta, ubicándose en 8 mg de cloro por litro.

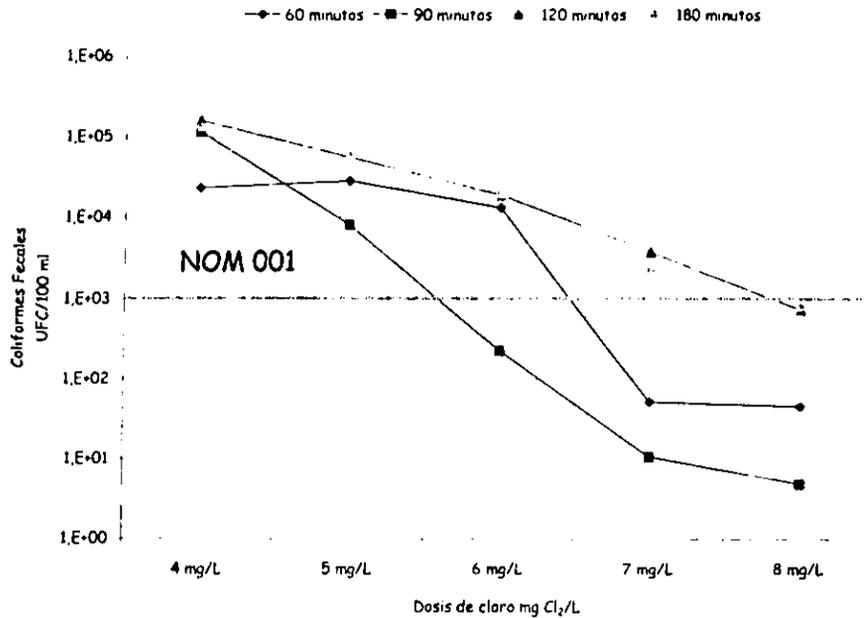


Figura 35. Desinfección para el efluente OTV

En la Tabla 25 se muestran los compuestos desinfectantes evaluados y su comportamiento, tomando la dosis que cumple con la NOM/001, y considerando que las reacciones se llevan al 100%.

Tabla 25. Comportamiento de la desinfección OTV

Especie mg/L	Tiempo de contacto minutos				R. Esteq mg/L	Eficiencia de Reacción %			
	60	90	120	180		60	90	120	180
NH <sub>2</sub> Cl	0.89	1.06	0.41	1.74	5.8	15.4	18.3	7.1	30
NHCl <sub>2</sub>	0.38	0.32	0.11	0.48	9.69	3.9	5.5	1.2	5
HOCl	0.25	0.18	0.05	0.20	9.92	2.5	1.8	0.5	2

Como se muestra en la Tabla 25, el mayor porcentaje de eficiencia de reacción de formación de cloroaminas se da en 180 minutos de tiempo de contacto, lo que sugiere un efecto desinfectante residual, además de que aun después de

tres horas se detecta cloro libre residual, lo cual es un indicador de un buen desempeño del proceso de desinfección.

En la Figura 36, se observa la presencia de cloro libre desde 5 mg/L de cloro dosificado y que la tendencia de las curvas es monótona creciente, lo que sugiere un influente con concentración de materia orgánica baja y estable, pues no se observa alteraciones significativas que pudiesen evidenciar reacciones simultáneas con compuestos orgánicos.

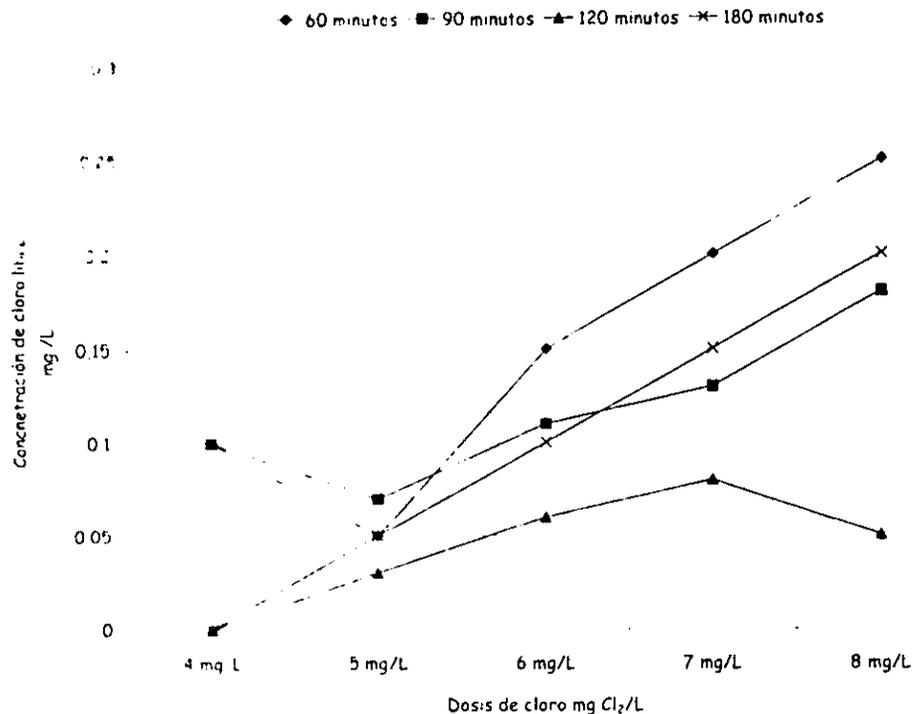


Figura 36. Cloro libre en Tiempo de Contacto y dosis establecidas

Al revisar la Figura 37 se observa como la generación de cloroaminas tiene un comportamiento creciente en función del tiempo de contacto y a 180 minutos se alcanza la mayor concentración de cloro combinado, lo que demuestra la actividad del cloro libre para transformarse en cloroaminas.

Para esta planta resulto que para una dosis de 8 mg de cloro y tiempos de contacto mayores de una hora, la concentración de Coliformes Fecales se disminuye por debajo de los limites establecidos en la NOM/001/ECOL/96.

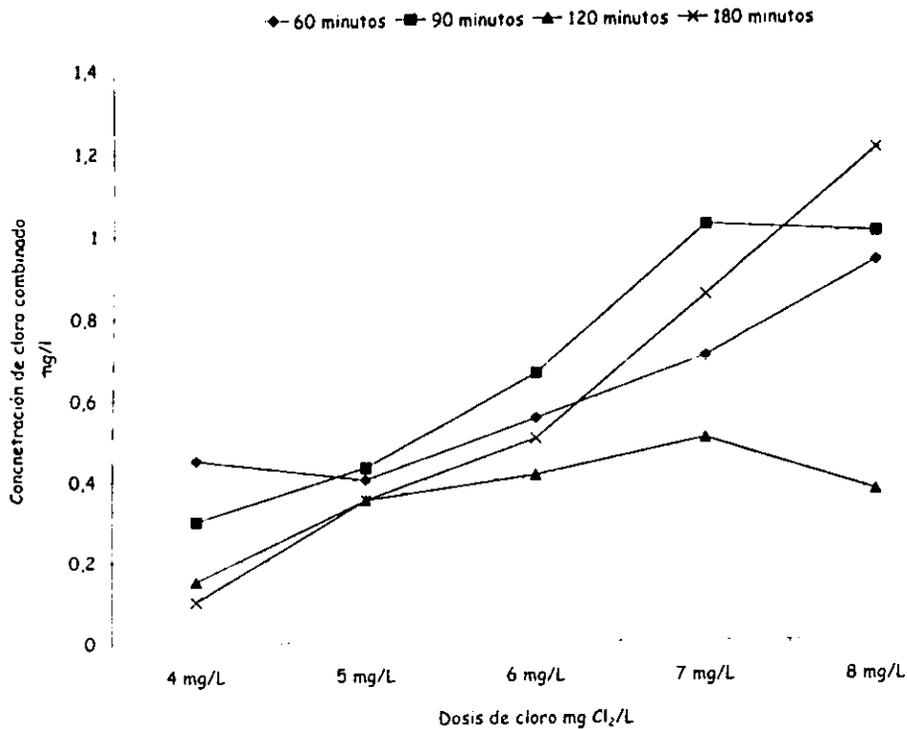


Figura 37. Cloro combinado en Tiempo de Contacto y dosis establecidas

### 5.2.3 Desinfección en lotes para la planta US-Filter

Esta planta utilizó tasas de sedimentación entre 2 y 6 m/h, dosis de 215 a 61 mg/l de sulfato de aluminio, y de 0.3 a 0.35 mg/l de polímero AS-45.

En la Tabla 26 se muestran los datos analizados para la práctica de la desinfección en lotes para la planta US-Filter.

En esta planta, el TPA no removió unidades formadoras, (influyente:  $6.45 \times 10^{08}$ , efluente:  $2.28 \times 10^{08}$ , filtro:  $2.57 \times 10^{07}$ ), mientras que en la operación de filtración sólo se remueve una unidad logarítmica. En la Tabla 26 se observa que son necesarios 8 mg/L de cloro para disminuir la concentración de coliformes Fecales por de bajo de la NOM/001.

Tabla 26. Datos de la cloración en prueba de lotes. US-FILTER

DATOS DE LA CLORACIÓN EN LOTES PARA								
US-FILTER								
Dosis de cloro	Col. Fecal UFC/100ml	Cl <sub>2</sub> libre mg/L	NH <sub>2</sub> Cl mg Cl <sub>2</sub> /L	NHCl <sub>2</sub> mg Cl <sub>2</sub> /L	Cl <sub>2</sub> comb. mg/L	Cloro total mg/L	NH <sub>2</sub> Cl mg /L	NHCl <sub>2</sub> mg /L
180 minutos								
4 mg / l	9.18E+04	0.02	0.18	0.08	0.27	0.28	0.36	0.10
5 mg / l	4.99E+04	0.02	0.28	0.11	0.40	0.42	0.41	0.14
6 mg / l	1.66E+04	0.07	0.43	0.19	0.62	0.68	0.62	0.23
7 mg / l	3.07E+03	0.15	0.67	0.29	0.96	1.11	0.97	0.35
8 mg / l	1.27E+02	0.24	0.99	0.43	1.46	1.70	1.44	0.52
120 minutos								
4 mg / l	1.15E+05	0.00	0.05	0.05	0.10	0.10	0.07	0.06
5 mg / l	4.74E+04	0.00	0.06	0.05	0.11	0.11	0.09	0.06
6 mg / l	1.18E+04	0.03	0.20	0.08	0.25	0.28	0.25	0.10
7 mg / l	1.62E+03	0.04	0.34	0.14	0.45	0.49	0.47	0.15
8 mg / l	2.62E+02	0.06	0.65	0.23	0.84	0.91	0.91	0.25

El comportamiento de la desinfección se representa en la Figura 38; en ella se observa que es necesario dosificar 8 mg de cloro durante tres horas, con ello se alcanzó a cubrir la NOM/001.

Los resultados de la cloración para las condiciones de operación más favorables (8mg y 3 horas), se resumen en la Tabla 27, en ella se remarca que para dos horas la eficiencia en la reacción generadora de monocloraaminas es predominante, y lógicamente, el cloro libre disminuye su eficiencia, este comportamiento es normal pues existen diversos compuestos que compiten por el cloro. Además que al ser hidrolizado, este agente oxidante (HOCl), tiene la capacidad de combinarse rápidamente.

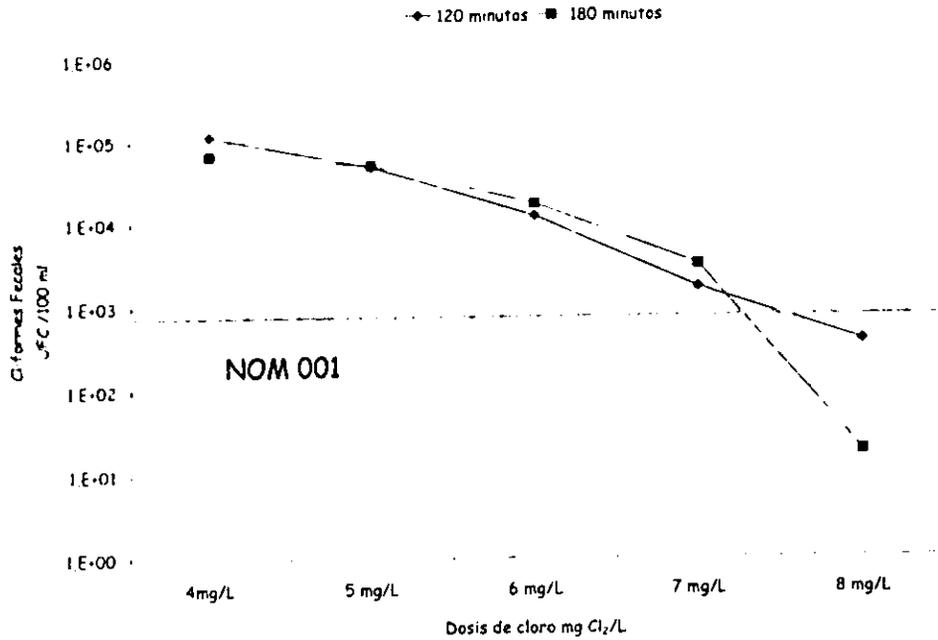


Figura 38. Desinfección para el efluente US-Filter

Tabla 27. Comportamiento de la desinfección US-Filter

Especie mg /L	Tiempo de contacto minutos		R. Esteq. mg/L	Eficiencia %	
	120	180		120	180
NH <sub>2</sub> Cl	1.44	0.91	5.8	24.8	15.7
NHCl <sub>2</sub>	0.52	0.25	9.69	5.4	2.3
HOCl	0.24	0.06	9.92	2.4	0.6

Teóricamente en el agua residual, al ser clorada, persiste la formación de monocloroamina, con porcentajes de eficiencia bajos (2.4 para 120 minutos, y 0.6 para 180 minutos).

El cloro residual durante la cloración se aprecia en la Figura 39, de ella es importante destacar que la pendiente para la curva de 180 minutos es más pronunciada, es decir la producción de cloro residual es sensiblemente mayor que para 120 minutos, lo que demuestra la actividad de cloro para combinarse.

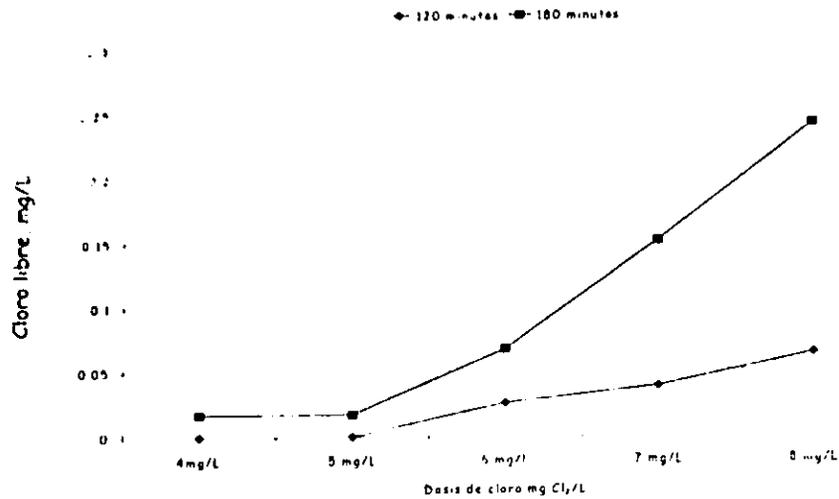


Figura 39. Cloro libre en Tiempo de Contacto y dosis establecidos

La formación de cloro combinado presentada en la Figura 40, concuerda con el comportamiento del cloro residual de la Figura 39.

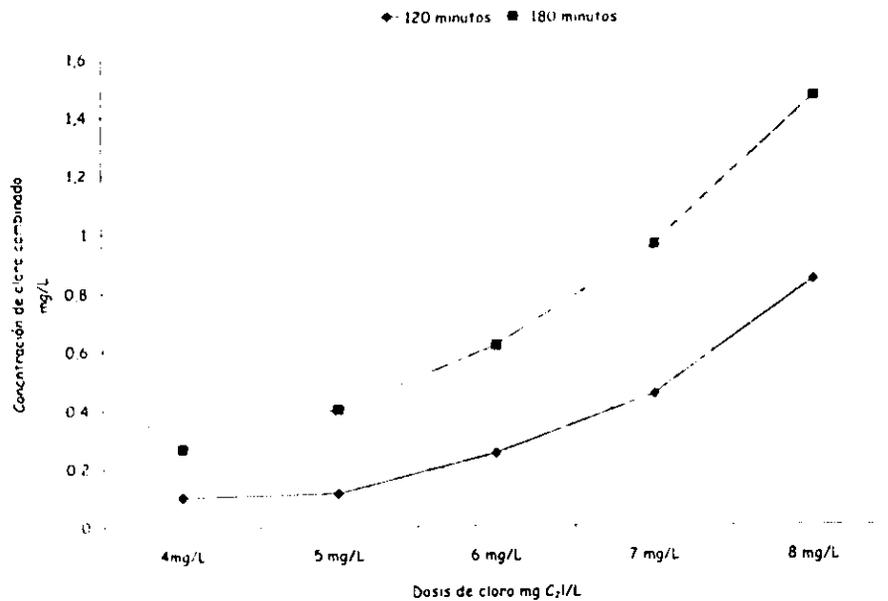


Figura 40. Cloro combinado para 120 y 180 minutos.

Es decir, dada la formación de cloro residual existe una tendencia en el sistema que favorece la formación de cloroaminas, como se vio en la Tabla 27.

### 5.2.4 Desinfección en lotes para la planta Microsep

Con los datos analizados de la cloración del efluente de la planta Microsep se construyó la Tabla 28. A esta planta, entro, en promedio, una concentración de coliformes, (medida como UFC/100ml), de  $6.51 \times 10^{08}$ , después del TPA se alcanzó a contabilizar  $1.44 \times 10^{08}$ . Como se puede apreciar se necesito dosificar 8 mg de cloro por litro para alcanzar a reducir la concentración de Coliformes Fecales a valores por de bajo de la NOM/001.

Tabla 28. Datos de la cloración en prueba de lotes Microsep

Datos para la cloración en lotes								
Microsep								
Dosis de cloro	Col. Fecal UFC/100ml	Cl <sub>2</sub> libre OClmg/L	NH <sub>2</sub> Cl mg Cl <sub>2</sub> /L	NHCl <sub>2</sub> mg Cl <sub>2</sub> /L	Cl <sub>2</sub> comb. mg/L	Cloro total mg/L	NH <sub>2</sub> Cl mg /L	NHCl <sub>2</sub> mg /L
120 min								
4 mg / L	1.76E+05	0.00	0.09	0.05	0.14	0.14	0.13	0.06
5 mg / L	5.34E+04	0.00	0.16	0.09	0.25	0.25	0.24	0.11
6 mg / L	1.87E+04	0.04	0.31	0.15	0.46	0.50	0.45	0.18
7 mg / L	2.62E+03	0.05	0.50	0.16	0.66	0.71	0.73	0.20
8 mg / L	1.83E+02	0.09	0.81	0.23	1.04	1.13	1.18	0.27
180 min								
4 mg / L	6.51E+04	0.08	0.30	0.20	0.50	0.58	0.44	0.25
5 mg / L	2.55E+04	0.13	0.55	0.25	0.80	0.93	0.80	0.32
6 mg / L	3.67E+03	0.15	0.90	0.38	1.28	1.43	1.31	0.47
7 mg / L	1.40E+03	0.17	0.91	0.38	1.29	1.43	1.32	0.48
8 mg / L	1.35E+03	0.25	1.40	0.60	2.00	2.25	2.03	0.75

La desinfección, a pesar de no contar con una filtración, presentó un comportamiento normal, Figura 41, es decir, se necesito la misma concentración de cloro para disminuir la concentración de coliformes a menos de 100 UFC/100 ml (8mg), además de haberlo hecho en el mismo tiempo de contacto, (tres horas).

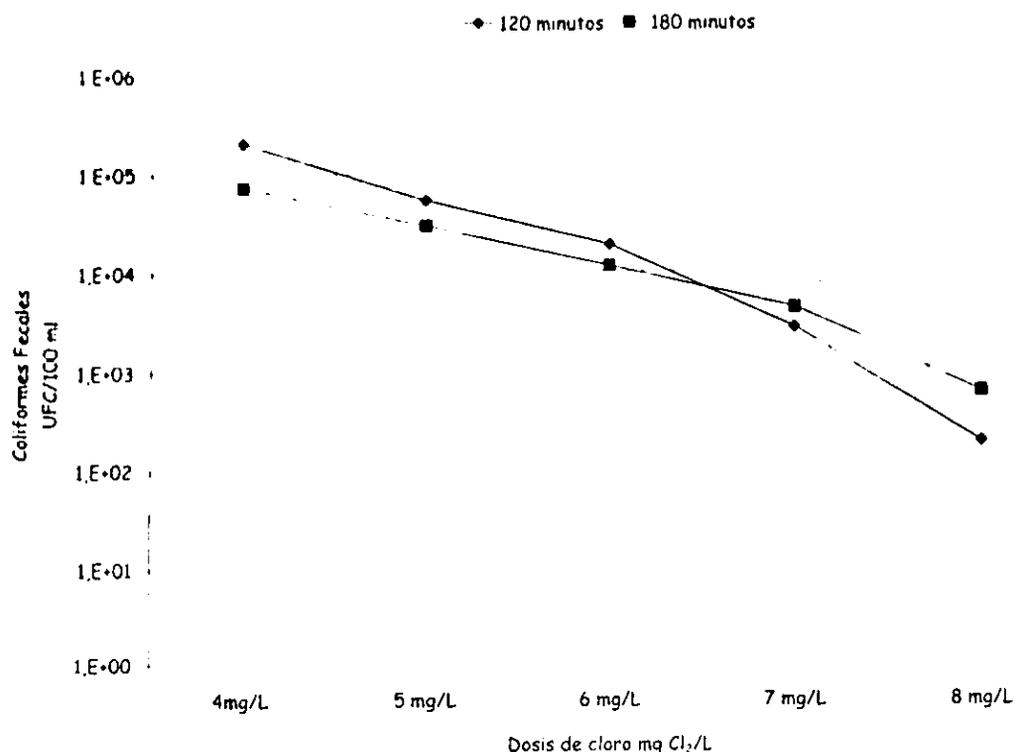


Figura 41. Desinfección para el efluente de Microsep

Para el efluente de Microsep, se observó que para tres horas existe la mayor eficiencia en la generación de monocloraaminas, en estas condiciones alcanza un 35%, (Tabla 29), es decir que para la dosis analizada, 8mg/L, en la reacción de formación de cloroamina, es la más favorable-, y en contraste la formación de cloro residual, es mayor para tres horas de tiempo de contacto. Este fenómeno se puede explicar, posiblemente, por la materia orgánica y de otras sustancias demandantes de cloro.

Tabla 29. Comportamiento de la desinfección Microsep

Especie mg /L	Tiempo de contacto minutos		R. Esteq. mg/L	Eficiencia %	
	120	180		120	180
NH <sub>2</sub> Cl	1.18	2.03	5.8	20.4	35.
NHCl <sub>2</sub>	0.27	0.75	9.69	2.78	7.7
H <sub>2</sub> OCl	0.09	0.25	9.92	0.91	2.5

Como ya se dijo, esta planta no contó con un sistema de filtración, y es interesante observar como este hecho se refleja en el comportamiento de la cloración. En la Figura 42 podemos observar cómo la concentración de cloro combinado aumenta en comparación con otras plantas, es evidente que en el filtro existe una retención de materia orgánica, y al existir mayor cantidad en el influente en la cloración, la generación de cloro aminas se ve favorecida.

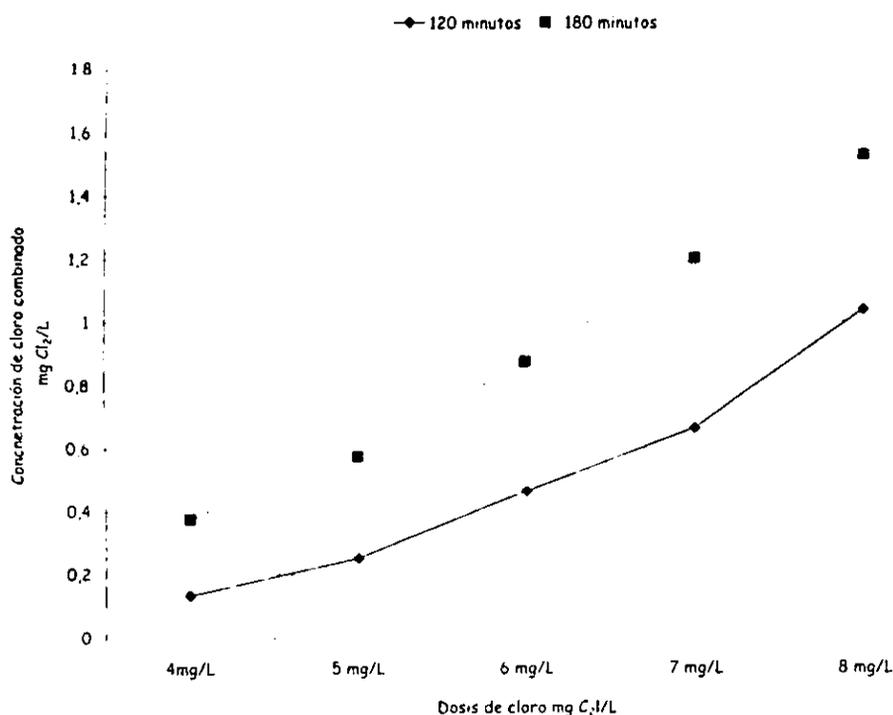


Figura 42. Cloro combinado en Tiempo de Contacto y dosis establecidos

Es notorio como el tiempo de contacto influye en la generación de cloroaminas, en la Figura 43 se observa como a tres horas, la concentración de cloro libre esta, marcadamente, por debajo de la concentración de éste a dos horas; es importante recordar que la existencia de cloro libre es evidencia de la posible formación de cloroaminas, además de agregar poder desinfectante, pues aún a tres horas existe evidencia de encontrar cloro libre en el agua desinfectada.

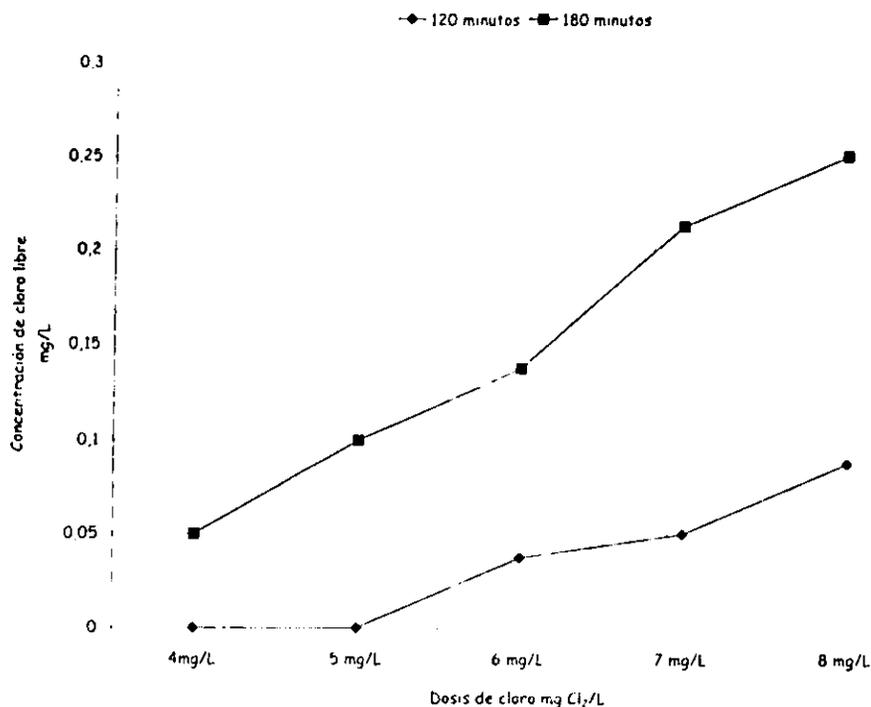


Figura 43. Cloro libre en Tiempo de Contacto y dosis establecidos

### 5.2.5 Desinfección en lotes para la planta Atlatec

Como ya se menciona, a esta planta se le presentaron diferentes problemas por lo que no tuvo un desempeño que pudiese ser evaluado continuamente. No obstante en la Tabla 30 se presentan los datos analizados de la cloración que se pudieron obtener. De aquí se puede observar que para tres horas no fue suficiente 7mgCl<sub>2</sub>/L para reducir la concentración de Coliformes Fecales a menos de 1000 UFC/100ml, a demás se encontraron bajas concentraciones de cloro libre y combinado, lo que puede suponer un consumo de cloro por materia orgánica u otros compuestos demandantes.

Tabla 30. Datos de la cloración en pruebas de lotes ATLATEC

180 MINUTOS								
Dosis de cloro	Col. Fecal UFC / 100ML	Cl <sub>2</sub> libre mg OCI/L	Cl combinado mg / L	Cloro total mg / L	NH <sub>2</sub> Cl Mg Cl <sub>2</sub> /L	NHCl <sub>2</sub> mg Cl <sub>2</sub> /L	NH <sub>2</sub> Cl mg /L	NHCl <sub>2</sub> mg /L
4 mg / L	8.20 E+04	0.0	0.13	0.13	0.08	0.05	0.11	0.06
5 mg / L	3.98 E+04	0.0	0.33	0.33	0.2	0.13	0.29	0.15
7 mg / L	4.81E+03	0.15	1.03	1.18	0.6	0.43	0.87	0.52

Por lo que se puede decir que es necesario dosificar 8 mg Cl<sub>2</sub>/L, por tres horas, (Figura 44). El TPA, sólo removio una unidad logarítmica de unidades formadoras, de  $1.05 \times 10^{09}$ , a  $1.51 \times 10^{08}$  UFC/100ml.

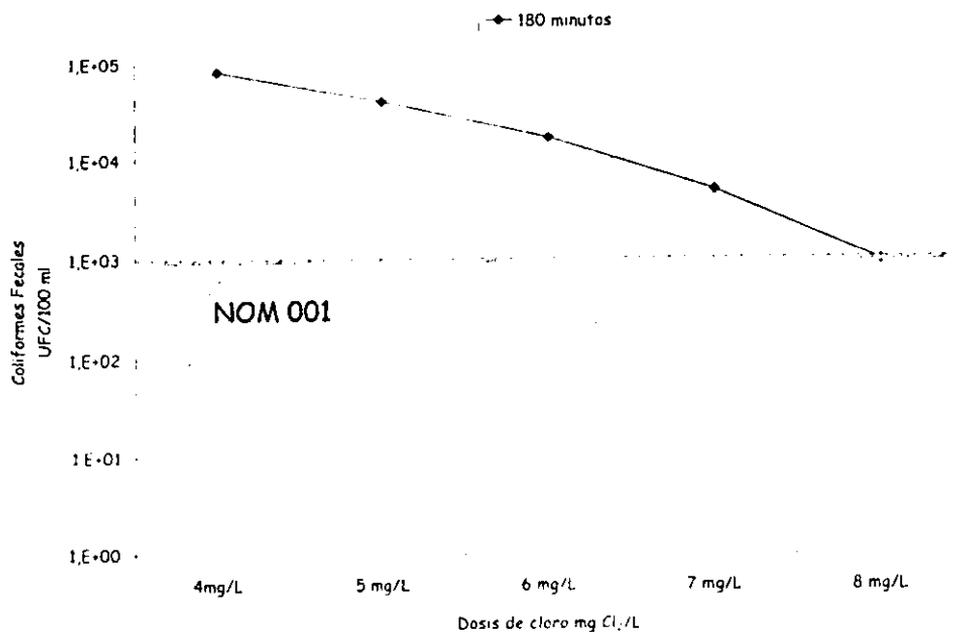


Figura 44. Desinfección para el efluente Atlatec

Contrariamente a lo que se podría esperar en la cloración, la demanda de cloro por otros compuestos es mayor que la demanda para la formación de cloroaminas, sin tomar en cuenta la deficiencia de operación, se puede suponer que el proceso no remueve suficiente materia demandante de cloro.

Tabla 31. Comportamiento de la desinfección Atlatec

Especie mg/L	Tiempo de Contacto Minutos	R. Esteq mg/L	Eficiencia de rección %
	180		180
NH <sub>2</sub> Cl	0.87	5.8	15.0
NHCl <sub>2</sub>	0.52	9.69	5.4
HOCl	0.15	9.92	1.5

### 5.3 Desinfección en continuo

#### 5.3.1 Cloración en continuo de la planta piloto Degrémont

La planta opero con un gasto de 25 L/s en forma continua durante 5 meses, de los cuales se trabajaron 9 fechas, ver Anexo 1, en las que se dosificaron 42 mg/L de  $Al_2(SO_4)_3$ , en promedio, y 1.00 mg/L de polímero AS-45, y se cuantifico, en promedio una tasa de sedimentación de 85 m/h.

En el proceso de desinfección se dosificaron 8, 9 y 10 mg $Cl_2$ /L.

La Tabla 32 resume la cuantificación de colonias formadoras de coliformes fecales con respecto al tiempo de contacto estudiado, así como su porcentaje de remoción, para cada uno de los tratamientos (dosis de cloro).

Como se observa en la Tabla 32 y en la Figura 45, dosificar 8 mg de  $Cl_2$ /L y con tres horas de tiempo de contacto no fue suficiente par abatir la concentración de coliformes fecales. Se necesitaron dosificar 9 mg $Cl_2$ /L durante dos horas para poder reducir la concentración de coliformes fecales por debajo de los niveles que marca la NOM/001/ECOL/96.

Tabla 32. Remoción promedio de colonias de coliformes fecales con respecto a dosis de cloro y tiempo de contacto

DOSIS DE CLORO mg/L	COLIFORMES FECALES UFC /100ML		% DE REMOCIÓN	T. DE CONTACTO
	FILTRO	EFLUENTE CLORADO		
8mg/L	5.32E+07	6.60E+04	42.86	3 horas
9mg/L	5.32E+07	3.29E+03	57.14	1 hora
	5.32E+07	6.93E+02	71.43	2 horas
	5.32E+07	4.85E+02	71.43	3 horas
10 mg/L	5.32E+07	4.47E+03	57.14	1 hora
	5.32E+07	2.03E+03	57.14	2 horas
	5.32E+07	4.51E+02	71.43	3 horas
Promedio	5.32E+07	2.26E+03	61.22	

En las Figuras 45 y 46 se observa la diferencia entre la dosis recomendada en el estudio de la simulación del tratamiento y cuando el influente de la cloración

era de la planta piloto, aquí se observa que se necesitaron dosificar 10 mgCl<sub>2</sub>/L para alcanzar a reducir la concentración de Coliformes a menos de 1000 UFC/100ml.

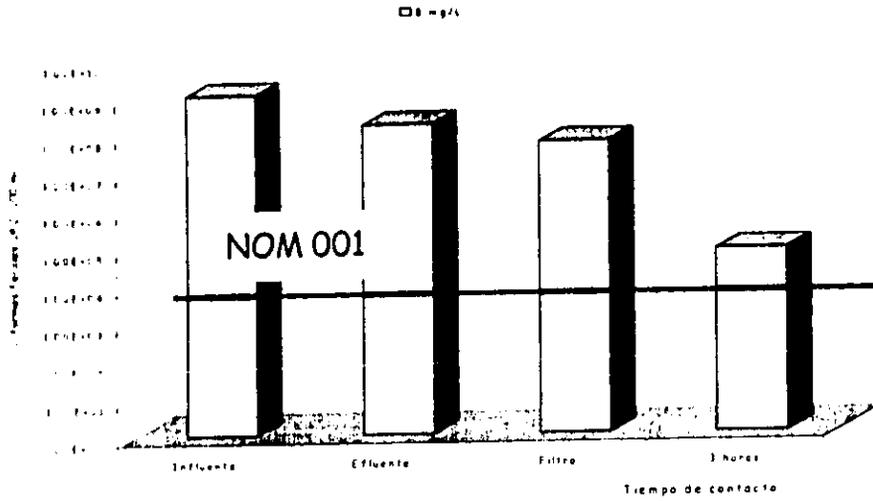


Figura 45. Desinfección en continuo para Degrémont, 8 mgCl/L

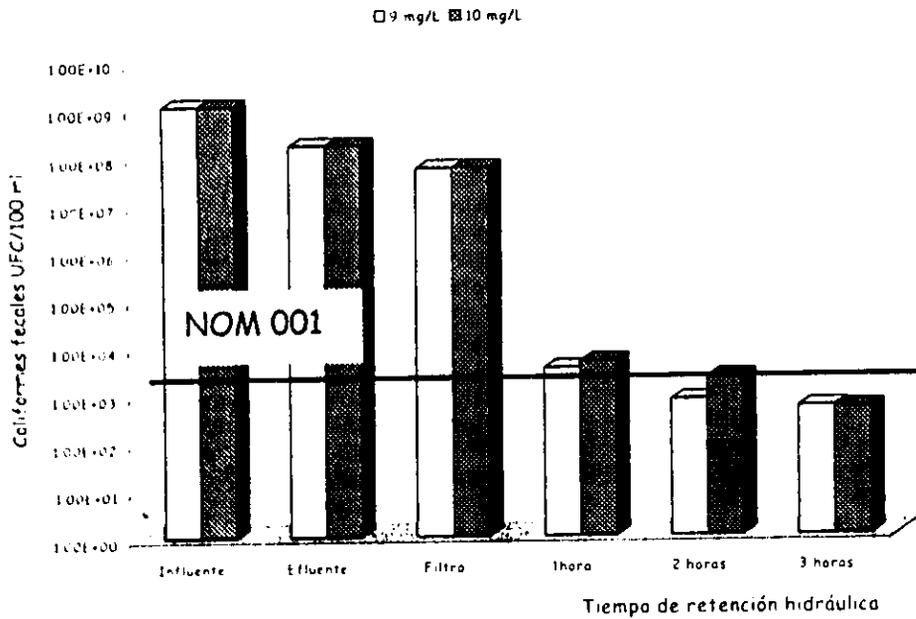


Figura 46. Desinfección en continuo, Degrémont, 9 y 10 mgCl/L.

Un análisis de la cloración con gas cloro en la que se dosificó 10 mg Cl<sub>2</sub> /L, durante tres horas, (condiciones en las que se alcanzó la concentración de CF requerida), podemos apreciar, Tabla 33, que durante el transcurso de la reacción del cloro al contacto del agua y después de tres horas se detectó 0.45 mg/L de cloro libre, es decir, si se considera relaciones estequiométricas y una reacción al 100%, la eficiencia de la reacción es del 6%, mientras que la formación de mono cloroamina, 4.34 mg/L, lo que representa un 60% de eficiencia, siendo este el que más aporta a la desinfección.

Tabla 33. Comportamiento de la cloración con gas para el efluente Degremont

Especie mg/L	Tiempo de ocntacto 3 horas	R. Estequiométrica mg/L	Eficiencia de reacción %
HOCl	0.45	7.39	6
NH <sub>2</sub> Cl	4.34	7.25	60
NHCl <sub>2</sub>	1.74	6.04	29

Los mecanismos que siguen las reacciones del cloro en agua residual, hacen suponer que parte del cloro reacciona para convertirse en diferentes compuestos demandantes de cloro.

En la Figura 47 se muestra cómo se mantiene constante la concentración de cloro combinado durante las tres horas de tiempo de contacto, dejando ver el dominio de las cloroaminas en el proceso de desinfección.

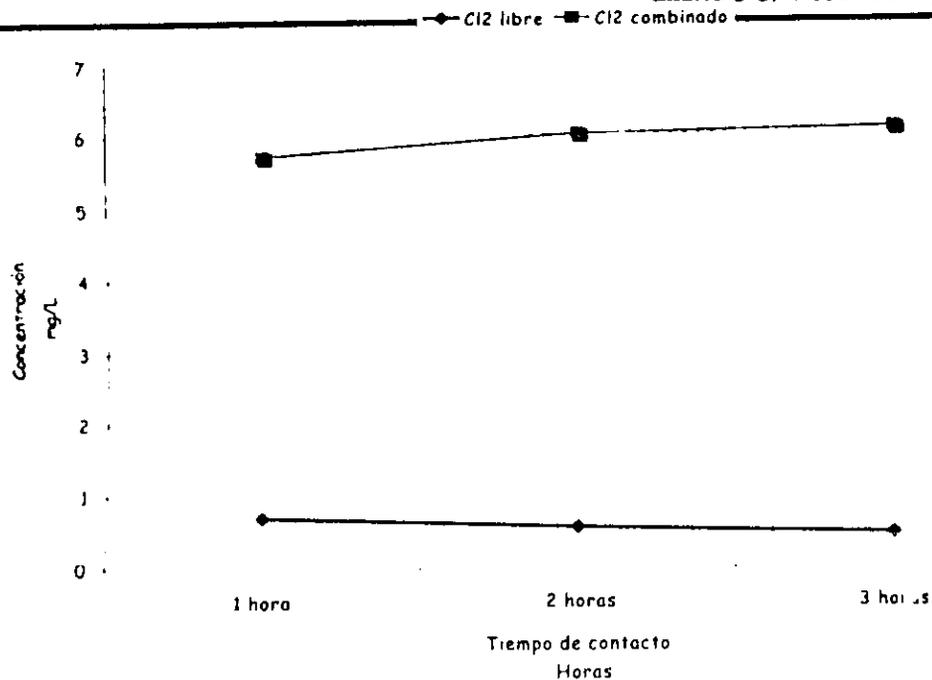


Figura 47. Comportamiento del cloro libre y combinado durante la desinfección en continuo para Degremont, 10 mg/Cl y 3 horas de TC.

Para la planta Degremont resulta evidente que fue necesario dosificar 10 mg de cloro gas por litro de agua tratada y tres horas de tiempo de contacto.

### 5.3.2 Desinfección en continuo para la planta OTV

En esta planta se dosificaron 60 mg/L de  $Al_2(SO_4)_3$  y 0.84 mg/L de polímero AS-45, trabajando con una tasa de sedimentación promedio de 122 m/h. La base de datos completa se encuentra en el Anexo 2.

El estudio de desinfección de este efluente (OTV) se llevo a cabo con dosis de cloro dosis de 10, 11 y 12 mgCl/L.

En la Tabla 34 se presentan los valores promedios de Coliformes Fecales detectados en tres tiempos de contacto y con las dosis evaluadas, en ella se observa que cuando se aplicó 10 mg/L de cloro se necesitó de tres horas para reducir la concentración de Coliformes Fecales por debajo de lo establecido en la NOM/001, mientras que en los eventos en los que se dosificaron 11 y 12 mg/L de cloro, bastaron 11 y 12 mg/L de cloro para el mismo fin.

Tabla 34. Remoción de Coliformes Fecales, desinfección con cloro gas. OTV

DOSIS DE CLORO mg/L	FILTRO. 6.74E+07			EFEICIENCIA DE REMOCIÓN %
	1 HORA	2 HORAS	3HORAS	3HORAS
10 mg / L	4.99E+03	2.41E+03	3.44E+02	71%
11 mg / L	4.16E+03	2.39E+02	0.00E+00	100%
12 mg/ L	9.15E+03	1.28E+02	0.00E+00	100%

En la Figura 48 se compara la desinfección en las tres dosis y a los tres tiempos de contacto, en ella se aprecia la relación existente entre dosis de cloro y tiempo de contacto, es decir a mayores dosis menos tiempo de contacto.

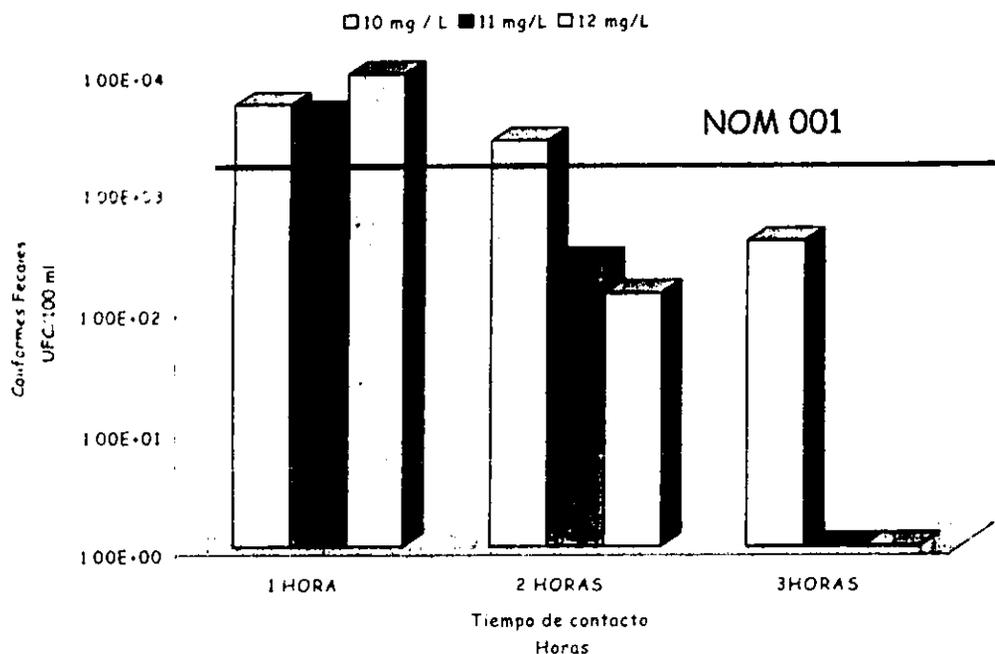


Figura 48. Desinfección en continuo con 10,11 y 12 mgCl/L. OTV

En la Tabla 35 se muestra el promedio de los resultados obtenidos del análisis del cloro residual y combinado en el experimento con el efluente de la planta OTV, las eficiencias de reacción hacen suponer que cuando transcurren tres horas de tiempo de contacto, sólo el 9% del cloro alimentado al clorador, se convierte en ácido hipocloroso, el cual es precursor de las cloroaminas, esto indica que el 91% del cloro fue transformado, en cualquier otro tipo de compuesto clorado, o liberado a la atmósfera por su separación de la fase líquida.

En éste experimento resultó conveniente la dosis de 10 mg Cl<sub>2</sub>/L y tres horas de tiempo de contacto, es importante remarcar que la eficiencia de reacción de las cloroaminas esta en función de la producción de HOCl, lo que resulta en un déficit de 4 mgCl /L del que no se sabe, a ciencia cierta, si reaccionó o se liberó a la atmósfera.

Tabla 35. Comportamiento de la cloración con gas para el efluente OTV

Especie mg/L	Tiempo de contacto 3 horas	R. Estequiométrica mg/L	Eficiencia de reacción %
10 mg/L			
HOCl	0.67	7.39	9
NH <sub>2</sub> Cl	3.77	7.25	52
NHCl <sub>2</sub>	1.12	6.04	18
11 mg/L			
HOCl	0.73	7.39	10
NH <sub>2</sub> Cl	5.02	7.25	69
NHCl <sub>2</sub>	1.78	6.04	29
12/ mg/L			
HOCl	0.65	7.39	9
NH <sub>2</sub> Cl	5.27	7.25	73
NHCl <sub>2</sub>	1.28	6.04	21

### 5.3.3 Desinfección en continuo para la planta US-FILTER

La planta operó de manera continua durante cinco meses, tiempo en el que se pudo analizar la cloración en continuo con dosis de 10 y 12 mg Cl<sub>2</sub>/L.

En la Tabla 36 se muestran las eficiencias de remoción de Coliformes Fecales, en ella se observa que dosificar 10 mg Cl<sub>2</sub>/L, no fue suficiente para alcanzar a cumplir los límites establecidos por la NOM/001/ECOL/96, con relación a los requerimientos de Coliformes Fecales.

Para que el el agua desinfectada del efluente de la planta de US-FILTER cumpliera con los requerimientos microbiológicos que marca la NOM/001/ECOL/96, se necesito dosificar 12 mg/L de cloro y más de 1 hora de tiempo de contacto.

Tabla 36. Eficiencia de desinfección en continuo, US-FILTER

DOSIS DE CLORO mg/L	TIEMPO DE CONTACTO			EFICIENCIA DE REMOCIÓN %
	1 HORA	2 HORAS	3 HORAS	
10 mg/L	3.46E+04	1.56E+04	5.88E+03	57
12 mg/L	2.41E+03	2.29E+02	3.50E+02	71

En la Figura 49 es evidente la necesidad de aplicar dosis más elevadas de cloro, aun cuando se alcanzó a reducir la concentración de coliformes en dos horas, lo que sugiere que se puede bajar la dosis a 11 mg/L de cloro.

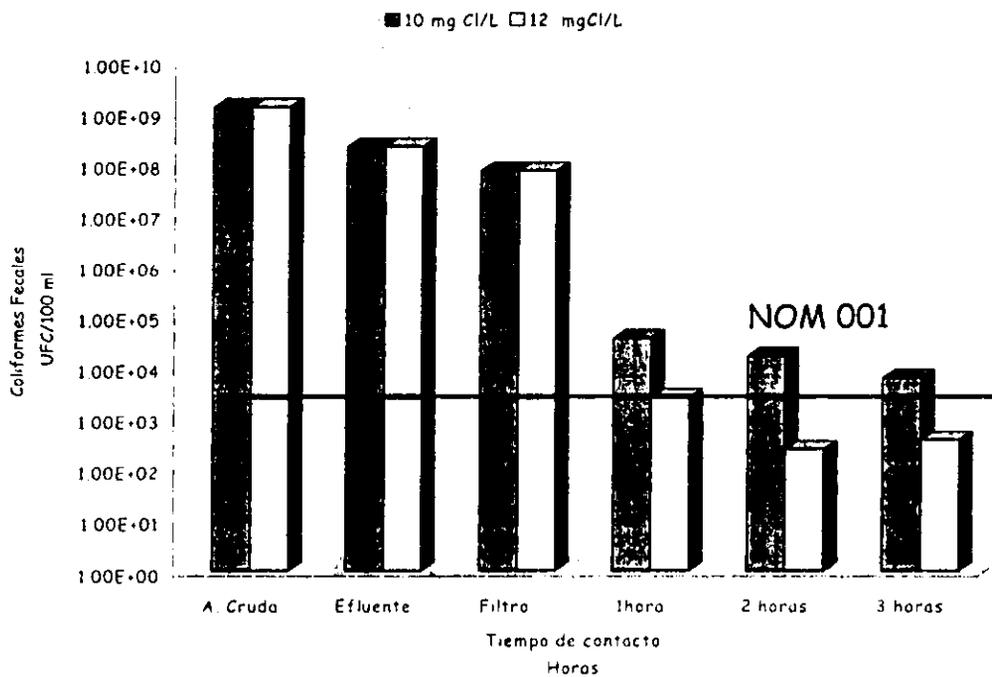


Figura 49. Comportamiento de la cloración en continuo, US-FILTER

#### 5.4 Comparación de la desinfección de los efluentes filtrados de las diferentes tecnologías del TPA

Las tres plantas piloto que fueron objeto del análisis de la cloración en continuo, emplean la tecnología del tratamiento primario avanzado con modificaciones propias que le confieren características muy particulares a cada planta.

En general las tres plantas tuvieron un desempeño continuo, más la calidad del efluente generado tiene variantes que se ven reflejados en la cloración. Para analizar el comportamiento, partiremos del estudio cuando se dosifican 10 mgCl/L en tres horas de tiempo de contacto.

Como ya se menciona en el capítulo 3, la eficiencia en la desinfección con cloro esta en función de diferentes factores.

La eficiencia de la sedimentación lastrada empleada en OTV resulta en una más eficiente remoción de partículas coloidales, lo que reduce los demandantes de cloro durante la cloración. Por otro lado la automatización y control de los sistemas de dosificación de coagulante y floculante, reduce el consumo de ambos productos. Otro factor de importancia es el especial cuidado que tuvo el operador por determinar la potencia requerida por los mezcladores, aunque no se tuvo acceso a estos datos, se presencio el análisis de la eficiencia de mezclado lo que determinó la optimización la cantidad de químicos dosificados.

De gran importancia fue la habilitación de los filtros de arena lo que redujo, aún más, la concentración de sólidos que entraron en el clorador. Hay que recalcar que éste proceso requiere de muy poco espacio, pudiendo ser una planta "móvil".

El problema más notorio, fue la ineficiencia del hidrocilón por recuperar la microarena del lodo. Aunque no se pudo cuantificar la cantidad perdida, se observaba un acumulamiento de microarena en el cárcamo de bombeo.

El proceso Densadeg®, es un excelente sistema, al utilizar una recirculación de lodo para acelerar el crecimiento y velocidad de sedimentación de los flocs, favoreció en gran medida para un mejor desempeño de la desinfección, sin

dejar a un lado la importancia del filtro de arena de flujo descendente que esta planta utilizó. Aunque el tiempo de retención hidráulico en esta planta es ligeramente mayor que la planta OTV, (10 minutos para OTV, y 18 minutos para Degremont), este tiempo bien puede ser compensado por la reducción en los costos de operación.

Al igual que OTV, Degremont contó con personal altamente calificado en la operación de ésta planta, lo que garantizó la optimización en la eficiencia de mezclado y velocidad de flujo, al mismo tiempo que la automatización y control de la planta hacen más fácil y eficiente la operación del proceso.

US-FILTER, trabajo sin contratiempos, más el proceso, en sí, fue menos eficiente, pues al no contar con un sedimentador de alta tasa prolongó el tiempo de retención, (hasta 45 minutos), por otro lado el bajo peso de los flocs formados no permitió una buena remoción de materia coloidal, lo que se vió reflejado en carreras cortas en el filtro de arena (8-10 horas para US-FILTER, 18-29 horas para Degremont, 18-24 horas para OTV).

En cuanto a la eficiencia en la remoción, podemos observar en la Figura 50, la estrecha diferencia entre los procesos de OTV y Degremont y la gran diferencia, de ambos, con respecto a US-FILTER.

El fenómeno provocado por la eficiencia de conglomeración o y separación de partículas coloidales se ve reflejado en la turbiedad, en la Figura 51, podemos apreciar la marcada diferencia entre los procesos lastrados y el TPA convencional.

Al respecto de los sistemas lastrados, es evidente que el sistema de recirculación de lodos sea más eficiente, en la remoción de turbiedad pues las características de cohesión del lodo floculado le confieren mayor eficiencia de conglomeración que a la microarena, siendo ésta solo un lastre y no un conglomerador.

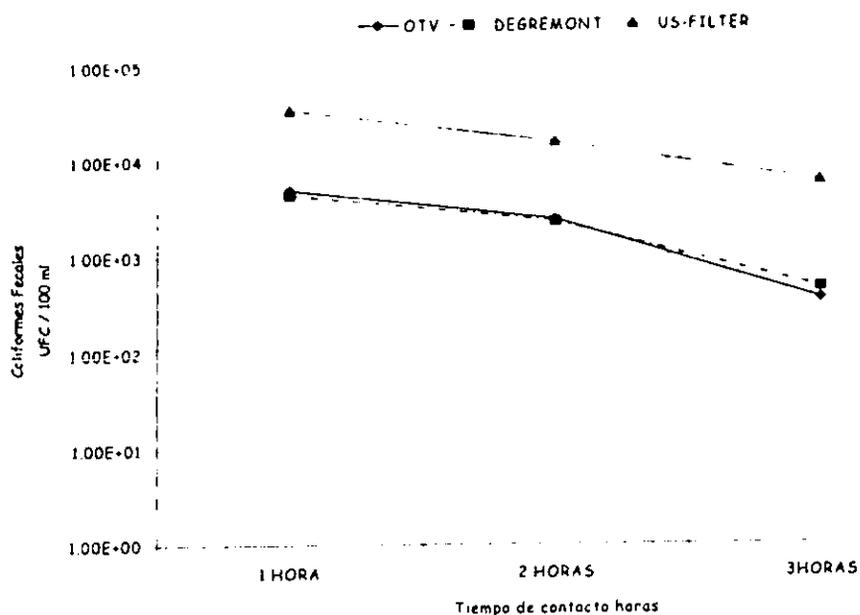


Figura 50. Comparación de la remoción de Coliformes Fecales de los tres procesos

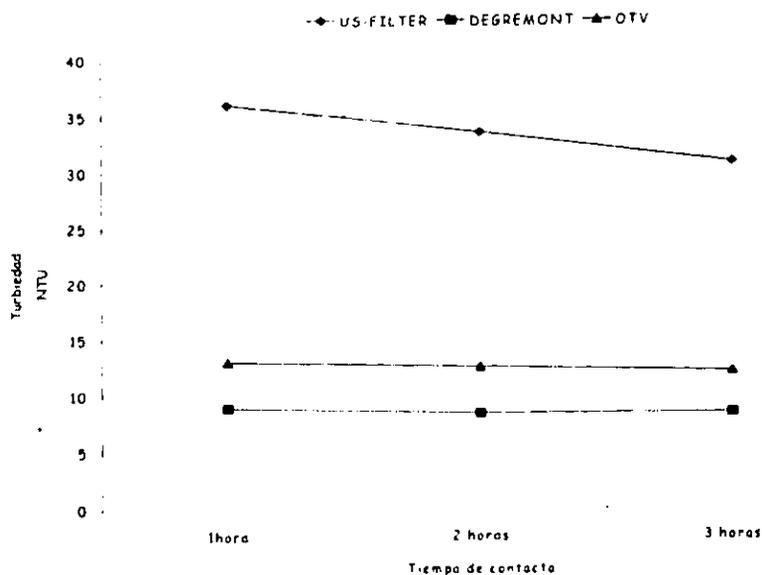


Figura 51. Comparación de la turbiedad de los tres procesos

En la Tabla 37 se comparan los resultados obtenidos durante la desinfección de los efluentes provenientes de las tres plantas con respecto a los diversos parámetros requeridos por la NOM/001/ECOL/96, y que deberán cumplirse para poder disponer el agua en riego no restringido.

El estudio comparativo se realizó con 10mg /L de cloro y tres horas de tiempo de contacto. Es evidente cómo el sistema de US-FILTER, no alcanza a cumplir con la concentración de Coliformes Fecales, pero al variar las condiciones de operación, como se vio en el apartado anterior, US-FITER cumple con la NOM 001.

Tabla 37. Comparación de la calidad de agua desinfectada y proveniente de diversos sistemas de TPA

	TPA CONVENCIONAL	TPA LASTRADO	TPA RECIRCULACIÓN DE LODOS	NOM/001/ ECOL/96
	US FILTER	OTV	Degremont	
Col.Fecales UFC/100 ml	5875.3	344.4	450.9	>1000
PH	6.9975	6.9	7.1	5-10
SST mg/L	24.4	10.4375	5.5	40
DQOt mg/L	203.5	103.7	176.125	N.A
CONDUCT. $\mu$ s	1399.8	1288.9	-----	N.A
TURB. NTU	30.8	12.0	8.329	N.A
N -NH mg/L	15.3	11.62	-----	N.A
N tot mg/L	16.5	12.544	-----	15
P t mg/L	2.2925	1.938	-----	5

**5.5 Evaluación del recrecimiento bacteriano durante la desinfección en continuo**

Para evaluar la calidad microbiológica en cuanto a su contenido de CF después de efectuarse la cloración y durante un periodo determinado, en la Figura 52 se muestra el recrecimiento bacteriano para distintas dosis de cloro y tiempos de postcloración de 0.5 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 24 y 48 h. Para 10 mg/L después de 0.5 h hasta 5 h de contacto la concentración de CF permaneció constante; el contenido de CF varió entre  $3.5$  hasta  $4.5 \times 10^4$  NMP/100mL y no se presenta un efecto entre el tiempo de contacto. Con 12 mg/L se observa una disminución sin embargo se observa el efecto sobre el incremento en dosis y tiempo de contacto, una vez transcurridas 4 horas, los CF se mantienen constantes en un valor muy inferior a 1000 NMP/100 mL hasta las 48 horas; con esta dosis se asegura que el efluente estará libre de estos microorganismos y por tanto no será necesario una postcloración en los distintos canales de riego. Cabe aclarar que el Distrito de Riego donde actualmente se utiliza el agua residual (DR 03) se compone de una red de distribución de 575 km de canales de los cuales sólo el 62% se encuentra revestido. El tiempo que tarda el agua residual en recorrer hasta el último punto de la red es de 24 h, en esto radica la importancia de conocer el contenido de CF en este intervalo.

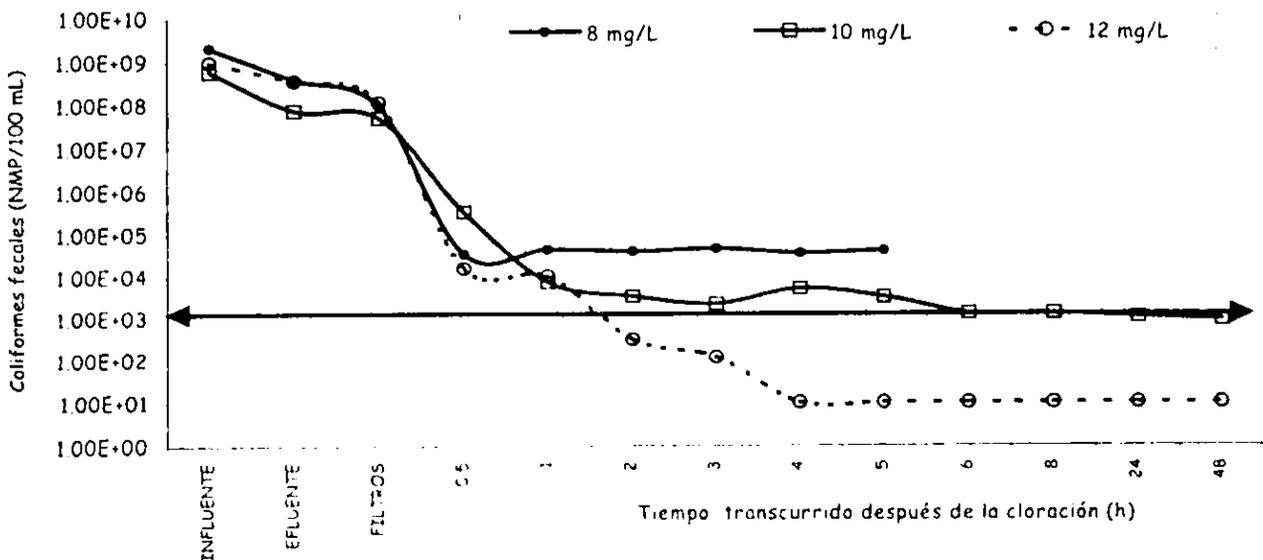


Figura 52. Recrecimiento Bacteriano para 8, 10 y 12 mgCl<sub>2</sub>/L y hasta 48 horas de TC

El agua residual sin tratamiento presentó un alto contenido de otros microorganismos que deben ser considerados de importancia por su posible efecto a la salud. En este caso, la incidencia de *Salmonellas* se encontró en un orden de magnitud de  $10^8$  NMP/100 mL, las *P. Aeruginosas* en concentraciones de  $10^4$  NMP/100 mL hasta  $10^6$  NMP/100 mL y los quistes de protozoarios de  $1.2 \times 10^3$  hasta  $1.8 \times 10^3$  Q/L. En el sistema TPA y la filtración es factible remover de 1 a 2 unidades logarítmicas. En la Tabla 38 se muestran los resultados de la disminución de estos microorganismos bajo diversas condiciones de dosis de cloro y tiempos de contacto, a pesar las concentraciones elevadas en el efluente filtrado, dosis de cloro superiores a los 10 mg/L y tiempos de contacto mayores a 0.5 h, se logran remover en forma eficiente dichos microorganismos no observando ningún recrecimiento posterior aún con tiempos de contacto prolongados, para el caso específico de los protozoarios se observó que a un incremento en la dosis no logra eliminarlos en su totalidad sin embargo no existieron pruebas de viabilidad para definir si dicha presencia puede o no puede afectar durante el reúso de agua clorada

Tabla 38. Remoción de otros microorganismos patógenos durante la desinfección con cloro

	Salmonella sp (NMP/100 ml)				<i>P. Aeruginosa</i> (NMP/100 ml)				Quistes de protozoarios (quistes/L)*			
	Dosis de Cloro (mg/L)											
	10	11	12	14	10	11	12	14	10	11	12	14
Influyente	7.5 E+08	5.4 E+08	4.9 E+08	1.1 E+08	1.4 E+06	3.9 E+04	2.0 E+05	7.5 E+05	1222	1397	1052	1814
Efluente	7.5 E+07	5.6 E+07	5.9 E+07	3.1 E+06	5.2 E+04	3.0 E+03	2.3 E+04	2.2 E+04	435	301	313	524
Filtros	2.8 E+07	5.8 E+06	1.5 E+07	4.8 E+07	2.3 E+04	1.5 E+03	3.2 E+04	6.9 E+03	211	79	201	235
0.5 h	28				455	0	160	0	NR	NR	NR	NR
1.0 h	9	NDO	2930	ND	2511	49	0	0	NR	NR	0	130
2.0 h	ND	ND	ND	ND	895	0	0	0	77	34	50	63
3.0 h	ND	ND	ND	ND	38	0	0	0	53	25	31	39
4.0 h	ND	ND	ND	ND	130	0	0	0	37	12	26	NR
5.0 h	ND	ND	ND	ND	0	0	0	0	NR	NR	NR	NR
6.0 h	ND	ND	ND	ND	0	0	0	0	NR	NR	NR	NR
24 h	16750	ND	ND	0	464	0	0	0	NR	NR	29	NR
48 h	34520	ND	ND	0	1680	0	0	0	12	NR	19	21

\* *S. enteritidis*, *S. typhi*, *E. coli*, *C. freundii*, *A. pneumoniae*, *S. typhi*, *E. cloacae*, *Koxtaca*, *E. agglomerans*, *A. hydrophila*  
 ND: No detectado      NR: No realizado

A partir de los resultados obtenidos, se construyó la Figura 53 donde se observa que de acuerdo a su contenido, los CF sigue siendo el parámetro más indicativo de la calidad microbiológica para el agua residual. Con una dosis de 12 mg/L de cloro podemos asegurar que el efluente producido y destinado para reúso agrícola cumpla con la calidad requerida para este fin, durante el proceso

de cloración se logran remover en forma eficiente los *CF*, las *Salmonellas* las *P. aeruginosas* y los quistes de protozoarios.

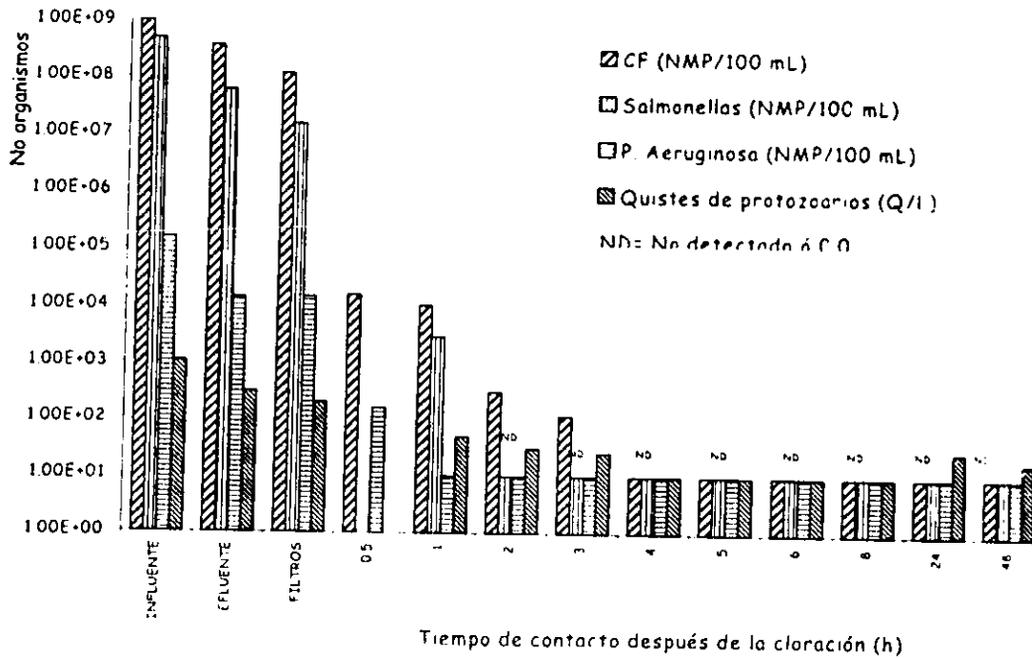


Figura 53. Remoción de microorganismos empleando 12 mg/L y diversos tiempos de contacto



6. CONCLUSIONES  
Y  
RECOMENDACIONES

## 6. Conclusiones y recomendaciones

Las conclusiones que se generaron para este estudio fueron:

- ☞ El análisis de los resultados obtenidos en el estudio de la desinfección con gas cloro del efluente filtrado de un TPA, mostró la eficiencia del proceso, para el acondicionamiento del agua residual para reúso agrícola.
- ☞ Es importante marcar que la eficiencia de la cloración se ve influenciada de manera directa por la calidad del efluente producido en el sistema de TPA y filtración, siendo evidente un mejor desempeño cuando se utiliza un TPA con recirculación de lodos.
- ☞ La versatilidad del TPA ofrece un tratamiento adecuado para generar agua de excelentes características para ser desinfectada con gas cloro previo al uso en riego no restringido.
- ☞ Una práctica de tratamiento de agua residual por medio de un TPA, filtración y cloración, llevada a cabo con base en la sustentabilidad del proceso es una respuesta, eficiente y segura.
- ☞ El tiempo de contacto es un factor de gran importancia, pues el costo de la instalación del tanque de cloración está directamente relacionada con este factor. Por lo que es importante contar con pruebas de desinfección en lotes antes de diseñar un tanque de cloración.
- ☞ Es decisiva la calidad de agua tratada que será desinfectada. En el estudio se observó que a valores bajos de SST y turbiedad, (5 y 10 respectivamente), generaron mejores resultados en la desinfección en continuo con cloro gas.

- ☞ El agua residual sin tratamiento que se utiliza para reuso agrícola presentó gran diversidad y elevados niveles de microorganismos. La concentración de CF fluctuó de  $7.8 \times 10^8$  hasta  $1.2 \times 10^9$  UFC/100 mL, las Salmonellas de  $1.1 \times 10^8$  hasta  $7.5 \times 10^8$  NMP/100 mL, las *P. Aeruginosas* de  $3.9 \times 10^4$  hasta  $1.6 \times 10^6$  NMP/100 mL y los Quistes de protozoarios de  $1.0 \times 10^3$  hasta  $1.8 \times 10^3$  Q/L, niveles que deben ser considerados y removidos en un cualquier tratamiento debido a los efectos a la salud que pueden tener.
  
- ☞ Bajo condiciones de operación empleadas en cada una de las etapas de tratamiento, un sistema de ATP más la filtración logran remover de 1 hasta 2 unidades logarítmicas de los microorganismos presentes en este tipo de agua residual. Si se anexa una etapa (desinfección) es necesario utilizar una dosis de 12 mg/L y un tiempo de contacto de 3 h para removerlos en forma eficiente.
  
- ☞ El contenido de cloro libre (0.65 mg/L, en promedio) garantiza que no existirá un recrecimiento bacteriano aún en periodos prolongados, una vez que la desinfección se ha llevado a cabo (48 h) así mismo la concentración de cloro combinado (4.75 mgCl<sub>2</sub>/L, en promedio) tendrá un efecto residual y servirá como desinfectante aún cuando su velocidad de reacción sea extremadamente lenta.
  
- ☞ El pH del efluente (6.7) y la presencia de nitrógeno amoniacal (15.1 mg/L) permite que durante la desinfección se favorezca la formación de cloro combinado principalmente en forma de monocloramina.

### **Recomendaciones**

Se recomienda un estudio más detallado acerca de organoclorados en el sistema de cloración con gas.

Un estudio de sistemas duales, cloración-UV, puede disminuir las dosis de cloro requerida y generar un efecto desinfectante remanente, además de que la radiación ha demostrado que el efecto en los organismos es más agresivo,

incidiendo directamente en la cadena de ADN, lo que inhibe el recrecimiento de microorganismos.



## BIBLIOGRAFIA

## BIBLIOGRAFIA

Alarcón H. T. (1992). "Desinfección de Agua Residual Municipal por Medio de Radiación Gamma". XVIII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Panamá; 1982. p.p 25-37

APHA, AWWA, WPCF (1995) "Standard Methods for the Examination Water and Wastewater", 19<sup>th</sup> edition, Washintong D.C

Bitton G. (1994) "Wastewater Microbiology ". Wiley-Liss, New York., pp 234-297.

Botero L., M. Montiel, (1994) "Microorganism Removal in Wastewater Stabilisation Ponds in Maracaibo, Venezuela" *Wat.Sci. Tech.* Vol 35, pp 205-209.

Cáceres L. Osacar. (1990) "Desinfección de Agua". Ministerio de salud; Perú 1990, pp 19-340.

Clark, R.M, E.J Read. "Analysis of Inactivation of *Giardia Lamblia* by Chlorine" *Journal Environmental, Engineering Divition, Am. Soc. Civ. Eng.* Vol 115, pp 80-90.

Chang, S.L (1996) "The Safety of Water Desinfecction" *Annu. Rev. Publich Health* Vol 3 pp 393-418.

Droste. (1997) "Tehory and Practice of Water and Wastewater Treatment. Jhon Wiley & Sons, Inc: pp 513-543.

Du Preez M. (1997) "Investigation of Injury of Coliforms after Chlorination" *Wat. Sci. Tech.* Vol 31, pp 115-118.

Evans T.M., and R.J Seider. (1991) "Effect of Turbidity on Chlorination Efficiency and Bacterial Persistence in Drinking Water" *Appl. Environ. Microbiol.* Vol 42, 159-167.

Hibler C.P (1987) "Inactivation of Giardia Cysts With Chlorine to 0.5 - 5°C. Report to the American Waterworks Association Research Fundation.,Vol 12, pp 67-76

Hoff J.C, E.W Akin. (1998) "Microbial Resistance to Desinfectants: Mechanisms and Significance" *Environ Health Perspect.* Vol 69, pp 7-13.

Huebner W.,I (1996) "Desinfección de Aguas de Desecho Humano". Seminario, Agua de México, pp, 29- 35, México

Jiménez; Chávez A. y Hurtado C. (1995) "Tratabilidad del Agua Residual del Valle de México", Instituto de Ingenierí, Informe para la CNA, México, pp 37-59

Landa H, (1996) "Filtración Rápida de un Efluente Primario Avanzado", Tesis profesional (Maestría),División de estudios de posgrado de la facultad de Ingeniería, UNAM, México

Lazarova V.(1998) "Advanced Wastewater Desinfection Technologies: State of the Art and Perspectives" *Advanced Wastewater treatment, Recycling an reuse 2° International conference*, Fiera Milano, septiembre 1998, pp 353-362.

Lippy E.C. (1999) "Clorination to Prevent and Control Waterborn Diseases", *Journal American Water Works Asociation. No. 78, pp 49-52.*

Méndez J. (1997) "Desarrollo de un Proceso de Desinfección con Cloro para un Efluente Primario Avanzado con Filtración: Simulación en Prueba de Jarras". Tesis profesional (Maestría), Universidad Tecnológica de Orizaba, México.

Metcalf & Eddy (1996) "Ingeniería Sanitaria, Tratamiento Evaluación y Reutiliación de Aguas Residuales", Mc Graw-Hill, pp 311-333

Narkis, N, A. Katz. (1995) "Disinfection of Effluents by Combinations of Chlorine Dioxide and Chlorine" *Wat. Sci. Tech.* Vol 31, pp 105-114.

Nebel Carl. (1982) "Tratamiento de Aguas para Bebidas con Ozono". *Revista BEBIDAS*. Julio-agosto. Chile. pp 12-31.

Diario Oficial de la Federación, enero 6, 1997, Norma Oficial Mexicana (NOM-001- ECOL-1996), "Límites Máximos Permisibles de Contaminantes en las Descargas Residuales y Bienes Nacionales", enero 6, 1997, pp 67-81

Romero H, (1993) "El Uso de Aguas Residuales del Area Metropolitana de la Ciudad de México en el Riego Agrícola del Valle del Mezquital", CNA, caso de estudio, Capítulo 1, México.

Rubin A.J., J.P Engel. (1989) "Desinfection of Amebic Cysts in Water with Free Chlorine" *Journal Wat. Poll. Cont. Fed.* Vol 55, pp 1174-1182.

Sobsey, M.D. (1989) "Inactivation of Health- Related Microorganism in Water by Desinfection Process", *Wat Sci Tech*, No. 21; p 179-195.

Storer, E.L (1986) "Design Manual- Municipal Wastewater Desinfection" EPA/65/1-86-021. U.S. Environmental Agency. Ohio, pp. 1-33.

Ward, N.R ., R.L Wolfe. (1984)" Efect to pH Application Technique and Chlorine- to Nitrogen Ratio on Desinfectant Activity of Inorganic Chloramines With Pure Culture Bacteria" *Appl. Environ Microbiology*. Vol 33, pp 860-864.

Water Environment Research Foundation, (1995), "Comparision of UV Irradiation to Chlorination; Guidance for Achieving Optimal UV Performance Desinfeccion. pp 3-1 - 3-33.

Wolfgang G. Wiend, (1990) "Electrochemical Treatment of Industrial Wastewater" Vol 25 N 7, pp 34-37.



ANEXOS

RESULTADOS  
PRUEBAS EN LOTES

Fecha	Hora	Dosis Cl <sub>2</sub> (mg/L)	T.Contacto minutos	Col. Fecal (UFC/100 mL)	Cl libre	Cl comb. mg/L	Cl total mg/L	NH <sub>2</sub> Cl mgCl/L	NHCl <sub>2</sub> mgCl/L
17/06/97	13:00	cruda		1.10E+09					
17/06/97	13:50	efluente		1.50E+08					
18/06/97	13:00	cruda		1.20E+09					
18/06/97	13:50	efluente		1.20E+08					
19/06/97	13:00	cruda		1.50E+09					
19/06/97	13:50	efluente		1.90E+08					
22/07/97	13:00	CRUDA		7.10E+08					
22/07/97	13:30	EFLUENTE		1.10E+08					
22/07/97	13:30	4	180	9.20E+04	0.00	0.15	0.15	0.10	0.05
22/07/97	13:30	5	180	5.10E+04	0.00	0.25	0.25	0.15	0.10
22/07/97	13:30	6	180	2.10E+04	0.05	0.45	0.50	0.25	0.20
22/07/97	13:30	7	180	1.10E+04	0.10	0.65	0.75	0.40	0.25
22/07/97	13:30	8	180	1.20E+03	0.20	1.25	1.45	0.85	0.40
23/07/97	13:00	CRUDA		9.10E+08					
23/07/97	13:30	EFLUENTE		2.10E+08					
23/07/97	13:30	4	180	7.30E+04	0.00	0.10	0.10	0.05	0.05
23/07/97	13:30	5	180	3.10E+04	0.00	0.40	0.40	0.25	0.15
23/07/97	13:30	6	180	1.30E+04	0.10	1.00	1.10	0.50	0.50
23/07/97	13:30	7	180	2.10E+03	0.20	1.40	1.60	0.80	0.60
23/07/97	13:30	8	180	7.10E+02	0.40	1.60	2.00	0.90	0.70

*Desinfección para el efluente*

**ATLATEC**

*Universidad Nacional Autónoma de México*

*Facultad de Estudios Superiores*

*Zaragoza*

*Ingeniería química*

*José Lino Jardines Ortega*

Fecha	Hora	Dosis Cl2 (mg/L)	T Contacto minutos	Col Fecal (UFC/100 mL)	Cl libre	NH2Cl mgCl/L	NHCl2 mgCl/L	Cl comb mgCl/L	Cl total mg/L	DDO1 (mg/L)
03/03/97	15 00	A cruda		5.10E+08						
03/03/97	15 00	TPA		4.30E+08						
03/03/97	15 00	Testigo		4.30E+08						
03/03/97	15 00	1	60	2.30E+05						195
03/03/97	15 00	2	60	1.80E+05						205
03/03/97	15 00	3	60	1.30E+05						221
03/03/97	15 00	4	60	7.50E+04						222
03/03/97	15 00	5	60	4.10E+04						230
03/03/97	15 00	6	60	8.30E+03						239
03/03/97	15 00	7	60	0						249
03/03/97	15 00	8	60	0						257
03/03/97	15 00	9	60	0						267
10/03/97	15 00	A cruda		4.20E+08						
10/03/97	15 00	TPA		2.10E+07						288
10/03/97	15 00	testigo		1.70E+07						278
10/03/97	15 00	1	60	1.50E+07	0.15	0.2	0.15	0.35	0.5	280
10/03/97	15 00	2	60	1.40E+06	0.25	0.3	0.2	0.5	0.75	282
10/03/97	15 00	3	60	1.20E+05	0.35	0.45	0.2	0.65	1	283
10/03/97	15 00	3.5	60	9.50E+04	0.4	0.5	0.25	0.75	1.15	285
10/03/97	15 00	4	60	9.30E+04	0.5	0.75	0.35	1.1	1.6	287
10/03/97	15 00	4.5	60	8.20E+04	0.7	0.85	0.3	1.15	1.85	287
10/03/97	15 00	5	60	4.30E+04	0.75	0.95	0.3	1.25	2	288
10/03/97	15 00	6	60	3.30E+04	0.85	1.2	0.45	1.65	2.5	289
12/03/97	15 00	A. cruda		5.50E+08						718
12/03/97	15 00	TPA		2.40E+07						330
12/03/97	15 00	testigo		2.00E+07						303
12/03/97	15 00	1	60	1.80E+07	0.2	0.15	0.1	0.25	0.45	302
12/03/97	15 00	2	60	1.50E+07	0.25	0.25	0.15	0.4	0.65	303
12/03/97	15 00	3	60	1.40E+06	0.35	0.35	0.2	0.55	0.9	304
12/03/97	15 00	3.5	60	1.20E+05	0.35	0.45	0.2	0.65	1	304
12/03/97	15 00	4	60	9.30E+04	0.45	0.5	0.3	0.8	1.25	310
12/03/97	15 00	4.5	60	8.60E+04	0.45	0.5	0.2	0.7	1.15	316
12/03/97	15 00	5	60	8.30E+04	0.5	0.55	0.25	0.8	1.3	316
12/03/97	15 00	6	60	7.80E+04	0.6	0.6	0.2	0.8	1.4	318
12/03/97	15 00	7	60	7.10E+04	0.7	0.7	0.3	1	1.7	320
12/03/97	15 00	8	60	5.80E+04	0.85	0.85	0.35	1.2	2.05	323
17/03/97	15 00	A. cruda		1.10E+09						474
17/03/97	15 00	TPA		2.30E+08						248
17/03/97	15 00	testigo		6.30E+07						185
17/03/97	15 00	4	60	6.00E+03	0.1	0.25	0.15	0.4	0.5	188
17/03/97	15 00	6	60	3.00E+03	0.15	0.8	0.4	1.2	1.35	189
17/03/97	15 00	8	60	0	0.3	1.55	1.3	2.85	3.15	192
17/03/97	15 00	10	60	0	0.5	2.1	1.5	3.6	4.1	195
17/03/97	15 00	12	60	0	1.2	2.8	1.95	4.75	5.95	201

Desinfección para el efluente  
**DEGREMONT**

Universidad Nacional Autónoma de México  
Facultad de Estudios Superiores  
Zaragoza  
Ingeniería química  
José Lino Jardines Ortega

Fecha	Hora	Dosis Cl2 (mg/L)	T Contacto minutos	Col. Fecal (UFC/100 mL)	Cl libre	NH2Cl mgCl/L	NHCl2 mgCl/L	Cl comb mgCl/L	Cl total mg/L	DOOt (mg/L)
19/03/97	15 00	A cruda		1 80E+09						456
19/03/97	15 00	TPA		5 70E+08						299
19/03/97	15 00	testigo		1 50E+08						270
19/03/97	15 00	4	60	2 70E+03	0 1	0 7	0 7	1 4	1 5	274
19/03/97	15 00	6	60	1 00E+03	0 2	1 1	1 05	2 15	2 35	274
19/03/97	15 00	8	60	0	0 3	1 5	1	2 5	2 8	275
19/03/97	15 00	10	60	0	0 45	1 9	1 1	3	3 45	275
19/03/97	15 00	12	60	0	0 6	4 7	1 5	6 2	6 8	280
24/03/97	15 00	A cruda		9 30E+08						411
24/03/97	15 00	TPA		7 80E+07						344
24/03/97	15 00	5	60	1 30E+04	0 15	0 7	0 45	1 15	1 3	319
24/03/97	15 00	6	60	3 20E+03	0 2	1 1	0 7	1 8	2	317
24/03/97	15 00	7	60	0	0 25	1 5	0 65	2 15	2 4	318
24/03/97	15 00	8	60	0	0 35	1 65	0 9	2 55	2 9	314
24/03/97	15 00	9	60	0	0 4	1 9	0 8	2 7	3 1	310
25/03/97	15 00	A cruda	0							466
25/03/97	15 00	TPA	0							206
25/03/97	15 00	4	30	1 80E+04	0 25	0 15	0 1	0 25	0 5	188
25/03/97	15 00	5	30	9 00E+03	0 25	0 2	0 1	0 3	0 55	184
25/03/97	15 00	6	30	2 00E+03	0 3	0 25	0 15	0 4	0 7	185
25/03/97	15 00	7	30	0	0 4	0 35	0 25	0 6	1	183
25/03/97	15 00	8	30	0	0 55	0 5	0 45	0 95	1 4	180
25/03/97	15 00	9	30	0	0 6	0 75	0 45	1 2	1 8	179
25/03/97	15 00	4	60	5 00E+03	0 1	0 25	0 25	0 5	0 6	188
25/03/97	15 00	5	60	1 00E+03	0 15	0 55	0 55	1 1	1 25	183
25/03/97	15 00	6	60	0	0 2	0 95	0 75	1 7	1 9	182
25/03/97	15 00	7	60	0	0 3	1 45	0 95	2 4	2 7	180
25/03/97	15 00	8	60	0	0 4	2 3	0 8	3 1	3 5	179
25/03/97	15 00	9	60	0	0 7	2 9	1 9	4 8	5 5	177
25/03/97	15 00	4	90	3 00E+03	0	0 3	0 4	0 7	0 7	183
25/03/97	15 00	5	90	0	0 05	0 8	0 4	1 2	1 25	182
25/03/97	15 00	6	90	0	0 1	1 45	0 6	2 05	2 15	177
25/03/97	15 00	7	90	0	0 2	1 95	1 15	3 1	3 3	175
25/03/97	15 00	8	90	0	0 35	2 35	1 95	4 3	4 65	176
25/03/97	15 00	9	90	0	0 4	4	1 7	5 7	6 1	173
31/03/97	15 00	CRUDA	0	4 10E+08						355
31/03/97	15 00	TPA	0	8 20E+07						83
31/03/97	15 00	4	30	1 90E+04	0 15	0 25	0 2	0 45	0 6	97
31/03/97	15 00	5	30	1 30E+04	0 2	0 45	0 3	0 75	0 95	95
31/03/97	15 00	6	30	4 30E+03	0 25	0 7	0 45	1 15	1 4	93
31/03/97	15 00	7	30	1 00E+02	0 4	1 05	0 6	1 65	2 05	91
31/03/97	15 00	8	30	0	0 55	1 2	0 55	1 75	2 3	92
31/03/97	15 00	9	30	0	0 7	1 5	0 85	2 35	3 05	87
31/03/97	15 00	4	60	7 20E+03	0 1	0 3	0 2	0 5	0 6	94
31/03/97	15 00	5	60	8 20E+02	0 15	0 45	0 35	0 8	0 95	93
31/03/97	15 00	6	60	0	0 2	0 85	0 45	1 3	1 5	90
31/03/97	15 00	7	60	0	0 3	1 1	0 5	1 6	1 9	91
31/03/97	15 00	8	60	0	0 4	1 15	0 65	1 8	2 2	87
31/03/97	15 00	9	60	0	0 6	1 5	0 65	2 15	2 75	85
31/03/97	15 00	4	90	1 10E+03	0 1	0 25	0 2	0 45	0 55	90
31/03/97	15 00	5	90	4 00E+01	0 1	0 5	0 4	0 9	1	91
31/03/97	15 00	6	90	0	0 2	0 85	0 35	1 2	1 4	89
31/03/97	15 00	7	90	0	0 4	1 15	0 4	1 55	1 95	84
31/03/97	15 00	8	90	0	0 5	1 25	0 75	2	2 5	80
31/03/97	15 00	9	90	0	0 6	1 65	0 9	2 55	3 15	78

Desinfección para el efluente

DEGREMONT

Universidad Nacional Autónoma de México  
Facultad de Estudios Superiores  
Zaragoza

Ingeniería química  
Jose Lino Jardines Ortega

Fecha	Hora	Dosis Cl <sub>2</sub> (mg/L)	T Contacto minutos	Col Fecal (UFC/100 mL)	Cl libre mg/L	NH <sub>2</sub> Cl mgCl/L	NHCl <sub>2</sub> mgCl/L	Cl comb mgCl/L	Cl total mg/L
21/05/97	15:00	cruda		2.40E+08					
21/05/97	15:19	efluente		3.90E+07					
21/05/97	15:20	filtrado		3.00E+07					
21/05/97	15:20	4	120	1.40E+05	0	0.05	0.05	0.1	0.1
21/05/97	15:20	5	120	4.40E+04	0	0.05	0.05	0.1	0.1
21/05/97	15:20	6	120	1.70E+04	0.05	0.1	0.1	0.2	0.25
21/05/97	15:20	7	120	1.80E+03	0.05	0.1	0.1	0.2	0.25
21/05/97	15:20	8	120	2.30E+01	0.05	0.2	0.15	0.35	0.4
28/05/97	15:00	cruda		9.30E+08					
28/05/97	15:15	efluente		1.40E+08					
28/05/97	15:15	filtrado		4.40E+07					
28/05/97	15:15	4	120	2.70E+05	0	0.1	0.05	0.15	0.15
28/05/97	15:15	5	120	5.50E+04	0	0.15	0.1	0.25	0.25
28/05/97	15:15	6	120	1.50E+04	0.05	0.45	0.15	0.6	0.65
28/05/97	15:15	7	120	8.60E+02	0.05	0.75	0.15	0.9	0.95
28/05/97	15:15	8	120	1.30E+02	0.1	1.2	0.2	1.4	1.5
05/06/97	11:30	cruda		6.00E+08					
05/06/97	11:49	efluente		2.10E+08					
05/06/97	11:50	filtrado		1.10E+08					
05/06/97	11:50	4	120	2.30E+05	0	0.1	0.05	0.15	0.15
05/06/97	11:50	5	120	6.20E+04	0	0.15	0.1	0.25	0.25
05/06/97	11:50	6	120	2.30E+04	0	0.25	0.15	0.4	0.4
05/06/97	11:50	7	120	6.00E+03	0.05	0.55	0.2	0.75	0.8
05/06/97	11:50	8	120	4.10E+02	0.1	0.9	0.25	1.15	1.25
05/06/97	11:50	filtrado		1.30E+08					
05/06/97	11:50	4	120	1.10E+05	0	0.1	0.05	0.15	0.15
05/06/97	11:50	5	120	5.40E+04	0	0.3	0.1	0.4	0.4
05/06/97	11:50	6	120	2.10E+04	0.05	0.45	0.2	0.65	0.7
05/06/97	11:50	7	120	5.10E+03	0.05	0.6	0.2	0.8	0.85
05/06/97	11:50	8	120	9.20E+02	0.1	0.95	0.3	1.25	1.35
16/06/97	13:00	cruda		1.05E+09					
16/06/97	13:08	efluente		1.60E+08					
17/06/97	13:00	cruda		1.10E+09					
17/06/97	13:08	efluente		1.00E+08					
18/06/97	13:00	cruda		1.20E+09					
18/06/97	13:08	efluente		1.60E+08					
19/06/97	13:00	cruda		1.50E+09					
19/06/97	13:08	efluente		2.90E+08					

*Desinfección para el efluente*

**MICROSEP**

*Universidad Nacional Autónoma de México*

*Facultad de Estudios Superiores*

*Zaragoza*

*Ingeniería química*

*José Lino Jardines Ortega*

Fecha	Hora	Dosis Cl <sub>2</sub> (mg/L)	T Contacto minutos	Col. Fecal (UFC/100 mL)	Cl libre mg/L	NH <sub>2</sub> Cl mgCl/L	NHCl <sub>2</sub> mgCl/L	Cl comb mgCl/L	Cl total mg/L
07/07/97	16:00	Influente		1.4 E+09					
07/07/97	16:06	Efluente		2.4 E+08					
07/07/97	16:07	Filtrado		7.4 E+07					
07/07/97		4	180	8.3 E+04	0.1	0.3	0.25	0.55	0.65
07/07/97		5	180	3.1 E+04	0.15	0.6	0.3	0.9	1.05
07/07/97		6	180	1.7 E+04	0.15	1	0.35	1.35	1.5
07/07/97		7	180	7.1 E+04	0.2	1.25	0.45	1.7	1.7
07/07/97		8	180	9.1 E+03	0.25	1.4	0.6	2	2.25
08/07/97	13:00	influyente		9.00E+08					
08/07/97	13:06	efluente		9.30E+07					
08/07/97	13:00	influyente		2.10E+09					
09/07/97	13:06	efluente		1.90E+08					
10/07/97	13:00	Influente		1.2 E+09					
10/07/97	13:06	Efluente		4.3 E+08					
10/07/97	13:07	Filtrado		9.1 E+07					
10/07/97		4	180	5.1 E+04	0.05	0.3	0.15	0.45	0.5
10/07/97		5	180	2.1 E+04	0.1	0.5	0.2	0.7	0.8
10/07/97		6	180	7.1 E+03	0.15	0.8	0.4	1.2	1.35
10/07/97		7	180	1.4 E+03	0.25	1.2	0.5	1.7	1.95
10/07/97		8	180	2.0 E+02	0.3	1.3	0.7	2	2.3
14/07/97	13:00			4.00E+08					
14/07/97	13:06			7.60E+07					
15/07/97	13:00	Influente		1.6 E+08					
15/07/97	13:06	Efluente		9.4 E+07					
15/07/97	13:07	Filtrado		1.0 E+07					
15/07/97		4		8.1 E+04	0.05	0.15	0.1	0.25	0.3
15/07/97		5		3.9 E+04	0.1	0.2	0.15	0.35	0.45
15/07/97		6		1.4 E+04	0.15	0.25	0.2	0.45	0.6
15/07/97		7		3.1 E+03	0.2	0.35	0.25	0.6	0.8
15/07/97		8		5.2 E+02	0.25	0.7	0.3	1	1.25
16/07/97	13:00	Influente		1.18 E+08					
16/07/97	13:06	Efluente		6.8 E+07					
16/07/97	13:07	Filtrado		9.9 E+06					
16/07/97		4		8.4 E+04	0	0.15	0.1	0.25	0.25
16/07/97		5		3.1 E+04	0.05	0.25	0.1	0.35	0.4
16/07/97		6		1.0 E+04	0.1	0.3	0.2	0.5	0.6
16/07/97		7		1.0 E+03	0.2	0.5	0.3	0.8	1
16/07/97		8		1.3 E+02	0.2	0.75	0.35	1.1	1.3

*Desinfección para el efluente*

**MICROSEP**

*Universidad Nacional Autónoma de México  
Facultad de Estudios Superiores  
Zaragoza  
Ingeniería química  
José Lino Jardines Ortega*

Fecha	Hora	Dosis Cl <sub>2</sub> (mg/L)	T.Contacto minutos	Col. Fecal (UFC/100 mL)
15/04/97	11 05	INFL		6 20E+08
15/04/97	11 05	EFL		9 10E+07
15/04/97	11 05	FILT		6 70E+07
15/04/97	11 05	2	60	9 40E+06
15/04/97	11 05	4	60	2 30E+04
15/04/97	11 05	6	60	5 20E+03
15/04/97	11 05	8	60	3 20E+02
15/04/97	11 05	10	60	0 00E+00
15/04/97	11 05	12	60	0
15/04/97	11 05	2	90	2 40E+06
15/04/97	11 05	4	90	1 50E+04
15/04/97	11 05	6	90	2 70E+03
15/04/97	11 05	8	90	0
15/04/97	11 05	10	90	0
		12	90	0
22/04/97	15 25	INFL		4 20E+09
22/04/97	15 25	EFL		1 30E+08
22/04/97		FILT		6 20E+07
22/04/97		5	60	1 10E+04
22/04/97		6.5	60	1 90E+03
22/04/97		7	60	0
22/04/97		7.5	60	0
22/04/97		8	60	0
22/04/97		5	90	3 60E+03
22/04/97		5.5	90	4 50E+02
22/04/97		6	90	0
22/04/97		6.5	90	0
22/04/97		7	90	0
23/04/97	15 20	INFL		7 30E+08
23/04/97	15 20	EFL		2 10E+07
23/04/97	15 20	FILT		3 30E+07
23/04/97	15 20	5	60	2 80E+04
23/04/97	15 20	6	60	1 00E+04
23/04/97	15 20	7	60	2 70E+03
23/04/97	15 20	8	60	3 00E+02
23/04/97	15 20	5	90	1 00E+04
23/04/97	15 20	6	90	8 30E+02
23/04/97	15 20	7	90	0
23/04/97	15 20	8	90	0
06/05/97	15 06	INFL		7 70E+08
06/05/97	15 06	EFL		2 10E+09
06/05/97	15 06	FILT		1 70E+07
06/05/97	15 06	4	90	8 60E+05
06/05/97	15 06	5	90	1 40E+04
06/05/97	15 06	6	90	1 20E+03
06/05/97	15 06	7	90	1 20E+03
06/05/97	15 06	8	90	1 20E+02
06/05/97	15 06	9	90	0

*Desinfección para el efluente*

*OTV*

*Universidad Nacional Autónoma de México*

*Facultad de Estudios Superiores*

*Zaragoza*

*Ingeniería química*

*José Lino Jardines Ortega*

Fecha	Hora	Dosis Cl <sub>2</sub> (mg/L)	T Contacto minutos	Col. Fecal (UFC/100 mL)
14/05/97	15.00	INFL		1.80E+09
14/05/97	15.05	EFL		1.10E+08
14/05/97	15.06	FILT		4.40E+07
14/05/97	15.06	4	120	1.00E+05
14/05/97	15.06	6	120	1.70E+04
14/05/97	15.06	8	120	1.00E+03
14/05/97	15.06	4	240	8.20E+04
14/05/97	15.06	6	240	9.20E+03
14/05/97	15.06	8	240	5.20E+02
14/05/97	15.06	4	360	8.04E+04
14/05/97	15.06	6	360	5.10E+03
14/05/97	15.06	8	360	1.00E+02
14/05/97	15.06	4	480	7.10E+04
14/05/97	15.06	6	480	4.10E+03
14/05/97	15.06	8	480	2.00E+01
15/05/97	15.00	INFL		9.70E+08
15/05/97	15.05	EFL		2.10E+08
15/05/97	15.06	FILT		1.50E+07
15/05/97	15.06	4	120	9.40E+04
15/05/97	15.06	6	120	2.10E+04
15/05/97	15.06	8	120	3.10E+03
15/05/97	15.06	4	240	8.20E+04
15/05/97	15.06	6	240	1.70E+04
15/05/97	15.06	8	240	5.20E+02
15/05/97	15.06	4	360	7.10E+04
15/05/97	15.06	6	360	9.10E+03
15/05/97	15.06	8	360	1.10E+01
15/05/97	15.06	4	480	4.90E+04
15/05/97	15.06	6	480	7.20E+03
15/05/97	15.06	8	480	0
20/05/97	15.00	INFL		1.30E+09
20/05/97	15.04	EFL		1.80E+08
20/05/97	15.06	FILT		8.50E+07
20/05/97	15.06	4	120	1.60E+05
20/05/97	15.06	5	120	4.20E+04
20/05/97	15.06	6	120	1.10E+04
20/05/97	15.06	7	120	2.00E+03
20/05/97	15.06	8	120	7.00E+01
28/05/97	15.00	INFL		9.30E+08
28/05/97	15.05	EFL		7.70E+07
28/05/97	15.06	FILT		1.30E+07
28/05/97	15.06	4	120	4.10E+05
28/05/97	15.06	5	120	7.20E+04
28/05/97	15.06	6	120	3.10E+04
28/05/97	15.06	7	120	7.00E+03
28/05/97	15.06	8	120	1.40E+03

*Desinfección para el efluente*

**OTV**

*Universidad Nacional Autónoma de México*

*Facultad de Estudios Superiores*

*Zaragoza*

*Ingeniería química*

*José Lino Jardines Ortega*

Fecha	Hora	Dosis Cl <sub>2</sub> (mg/L)	T Contacto horas	Col Fecal (UFC/100 mL)	Cl libre mg/L	NH <sub>2</sub> Cl mg/L	NHCl <sub>2</sub> mg/L	Cl comb mg/L	Cl total mg/L
21/05/97	15:00	cruda	0	1.30E+09					
21/05/97	16:00	efluente	0	1.40E+07					
21/05/97	16:01	filtrado	0	5.20E+06					
21/05/97	16:01	4	120	5.40E+04	0	0.05	0.05	0.1	0.1
21/05/97	16:01	5	120	1.90E+04	0	0.1	0.05	0.15	0.15
21/05/97	16:01	6	120	1.70E+03	0	0.2	0.05	0.25	0.25
21/05/97	16:01	7	120	5.00E+01	0.05	0.35	0.15	0.5	0.55
21/05/97	16:01	8	120	0.00E+00	0.1	0.6	0.2	0.8	0.9
27/07/97	15:00	cruda	0	2.50E+09					
27/07/97	16:00	efluente	0	1.00E+08					
27/07/97	16:01	filtrado	0	1.80E+07					
27/07/97	16:01	4	120	2.10E+05	0	0.05	0.05	0.1	0.1
27/07/97	16:01	5	120	9.10E+04	0	0.05	0.05	0.1	0.1
27/07/97	16:01	6	120	2.20E+04	0.05	0.25	0.1	0.35	0.4
27/07/97	16:01	7	120	3.10E+03	0.05	0.4	0.15	0.55	0.6
27/07/97	16:01	8	120	7.50E+01	0.05	0.7	0.25	0.95	1
03/06/97	15:00	cruda	0	1.50E+09					
03/06/97	16:00	efluente	0	1.70E+08					
03/06/97	16:01	filtrado	0	1.10E+07					
03/06/97	16:01	4	120	9.20E+04	0	0.05	0.05	0.1	0.1
03/06/97	16:01	5	120	4.10E+04	0	0.05	0.05	0.1	0.1
03/06/97	16:01	6	120	1.70E+04	0.05	0.15	0.1	0.25	0.3
03/06/97	16:01	7	120	3.20E+03	0.05	0.35	0.1	0.45	0.5
03/06/97	16:01	8	120	2.00E+02	0.1	0.6	0.2	0.8	0.9
05/06/97	13:15	cruda	0	6.80E+08					
05/06/97	14:15	efluente	0	9.50E+07					
05/06/97	14:16	filtrado	0	1.10E+07					
05/06/97	14:16	4	120	1.70E+05	0	0.05	0.05	0.1	0.1
05/06/97	14:16	5	120	7.10E+04	0	0.05	0.05	0.1	0.1
05/06/97	14:16	6	120	3.00E+04	0	0.1	0.05	0.15	0.15
05/06/97	14:16	7	120	1.40E+04	0	0.2	0.1	0.3	0.3
05/06/97	14:16	8	120	1.20E+03	0.05	0.6	0.2	0.8	0.85
02/07/97	13:00	INFLUENTE		8.50E+08					
02/07/97	14:00	EFLUENTE		1.20E+08					
02/07/97	14:06	FILTRO		6.80E+07					
02/07/97		4	180	1.40E+05	0	0.25	0.1	0.35	0.35
02/07/97		5	180	8.40E+04	0	0.5	0.1	0.65	0.65
02/07/97		6	180	1.40E+04	0.05	0.7	0.2	0.9	0.95
02/07/97		7	180	2.00E+04	0.1	0.95	0.2	1.15	1.25
02/07/97		8	180	5.50E+02	0.1	1.3	0.3	1.6	1.7

Desinfección para el efluente  
**US-FILTER**

Universidad Nacional Autónoma de México  
Facultad de Estudios Superiores  
Zaragoza  
Ingeniería química  
José Lino Jardines Ortega

Fecha	Hora	Dosis Cl <sub>2</sub> (mg/l)	T Contacto horas	Col Fecal (UFC/100 mL)	Cl libre mg/L	NH <sub>2</sub> Cl mg/L	NHCl <sub>2</sub> mg/L	Cl comb mg/L	Cl total mg/L
14/07/97	13:00	INFLUENTE	0	4.0 E+08					
14/07/97	13:45	EFLUENTE	0	3.8 E+07					
14/07/97	13:46	FILTRADO	0	1.6 E+07					
14/07/97	13:46		4	120	9.3 E+04	0	0.1	0.1	0.05
14/07/97	13:46		5	120	4.5 E+04	0	0.2	0.2	0.1
14/07/97	13:46		6	120	1.7 E+04	0.05	0.3	0.35	0.2
14/07/97	13:46		7	120	5.1 E+03	0.1	0.45	0.55	0.3
14/07/97	13:46		8	120	1.2 E+02	0.25	1.05	1.3	0.75
15/07/97	13:00	INFLUENTE	0	1.6 E+08					
15/07/97	13:45	EFLUENTE	0	8.2 E+07					
15/07/97	13:46	FILTRADO	0	2.3 E+07					
15/07/97	13:46		4	120	6.3 E+04	0.05	0.2	0.25	0.1
15/07/97	13:46		5	120	4.3 E+04	0.05	0.25	0.3	0.15
15/07/97	13:46		6	120	2.2 E+04	0.1	0.5	0.6	0.3
15/07/97	13:46		7	120	6.3 E+03	0.2	0.95	1.15	0.6
15/07/97	13:46		8	120	1.3 E+02	0.3	1.35	1.65	0.95
16/07/97	13:00	INFLUENTE	0	1.18 E+08					
16/07/97	13:45	EFLUENTE	0	6.8 E+07					
16/07/97	13:46	FILTRADO	0	1.6 E+07					
16/07/97	13:46		4	120	9.7 E+04	0.05	0.3	0.35	0.2
16/07/97	13:46		5	120	3.8 E+04	0.05	0.45	0.5	0.35
16/07/97	13:46		6	120	1.2 E+04	0.1	0.6	0.7	0.45
16/07/97	13:46		7	120	1.2 E+03	0.15	0.7	0.85	0.5
16/07/97	13:46		8	120	0.00E+00	0.2	1	1.2	0.7
21/07/97	13:00	INFLUENTE	0	5.20E+08					
21/07/97	14:00	EFLUENTE	0	7.10E+07					
21/07/97	14:01	FILTRO	0	3.10E+07					
21/07/97	14:01		4	180	1.40E+04	0	0.15	0.15	0.1
21/07/97	14:01		5	180	8.10E+04	0	0.15	0.15	0.1
21/07/97	14:01		6	180	2.40E+04	0.05	0.4	0.45	0.25
21/07/97	14:01		7	180	5.40E+03	0.15	1.05	1.2	0.75
21/07/97	14:01		8	180	3.10E+01	0.3	1.3	1.6	0.85
24/07/97	13:00	INFLUENTE	0	1.00E+09					
24/07/97	13:30	EFLUENTE	0	3.10E+08					
24/07/97	13:31	FILTRO	0	5.30E+07					
24/07/97	13:31		4	180	8.20E+04	0	0.5	0.5	0.4
24/07/97	13:31		5	180	3.10E+04	0	0.7	0.7	0.5
24/07/97	13:31		6	180	1.40E+04	0.05	1	1.05	0.65
24/07/97	13:31		7	180	2.00E+03	0.2	1.45	1.65	0.9
24/07/97	13:31		8	180	0.00E+00	0.35	2.35	2.7	1.35

Desinfección para el efluente

**US-FILTER**

Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Estudios Superiores

Zaragoza

Ingeniería química

José Lino Jardines Ortega



ANEXOS

RESULTADOS  
PRUEBAS EN CONTINUO

FECHA	HORA	MUESTRA	TRM horas	Dosis Cl <sub>2</sub> (mg/L)	Col. Fecales (UFC/100 mL)	Cl <sub>2</sub> libre mg Cl <sub>2</sub> /L	NH <sub>2</sub> Cl mg Cl <sub>2</sub> /L	NHCl <sub>2</sub> mg Cl <sub>2</sub> /L	Cl <sub>2</sub> combinado mg Cl <sub>2</sub> /L	Cl <sub>2</sub> Total mg Cl <sub>2</sub> /L	NH <sub>2</sub> Cl mg /L	NHCl <sub>2</sub> mg /L	pH	TEMP C	SST mg/L	CONDUCT #microhm	SOT mg/L	TUAB NTU	DOOH mg/L	OBSERVACIONES	
23/06/97	10 00	INFLUENTE			5.7 E+04								8.87	20.3		1184	877				
23/06/97	10 15	EFLUENTE			7.20E+04								8.89	21.1		1208	811				
23/06/97	10 15	FILTRO 1			5.50E+07								8.86	20.6		1247	823				
23/06/97	13 15	CLORACION	3	8	2.40E+04	0.40	1.20	2.50	3.7	4.1	3.8	1.3	8.85	19.1		1128	967				
23/06/97	02 00	INFLUENTE			5.30E+04								8.87	19.8		1194	863				
23/06/97	02 15	EFLUENTE			1.40E+04								8.85	20.4		1193	813				
23/06/97	02 45	FILTRO 1			5.80E+07								8.86	20.2		1204	862				
23/06/97	05 45	CLORACION	3	8	4.10E+07	0.45	1.40	2.70	4.1	4.55	3.8	2.03	8.85	17.8		1193	862				
23/06/97	04 00	INFLUENTE			8.90E+04								8.87	18.3		1170	818				
23/06/97	04 15	EFLUENTE			9.80E+07								8.85	18.9		1163	813				
23/06/97	04 15	FILTRO 1			6.70E+07								8.85	20.2		1135	862				
23/06/97	07 15	CLORACION	3	8	2.90E+04	0.30	1.10	3.00	4.1	4.4	4.35	1.37	8.86	17.8		1204	862				
09/07/97		INFLUENTE			2.1 E+09																
09/07/97		EFLUENTE			1.4 E+08																
09/07/97		FILTRO 1																			
09/07/97	17 30	CLORACION	1	8	2.3 E+03																
09/07/97	18 30	CLORACION	2	8	1.2 E+02																
09/07/97	19 30	CLORACION	3	8	9.4 E+01																
09/07/97	20 30	CLORACION	4	8	1.5 E+02																
09/07/97	21 30	CLORACION	5	8	4.9 E+02																
		PROMEDIO TOTAL			6.3 E+02																
10/07/97		INFLUENTE			1.2 E+09																SATISFACTORIO
10/07/97		EFLUENTE			2.4 E+04																
10/07/97		FILTRO 1																			
10/07/97	14 30	CLORACION	1	8	4.7 E+03																
10/07/97	15 30	CLORACION	2	8	4.0 E+03																
10/07/97	16 30	CLORACION	3	8	2.5 E+03																
10/07/97	17 30	CLORACION	4	8	2.0 E+03																
10/07/97	18 30	CLORACION	5	8	1.7 E+03																
10/07/97	19 30	CLORACION	6	8	5.0 E+03																
		PROMEDIO TOTAL			3.1 E+03																
05/08/97	13 00	INFLUENTE			7.25E+04								7.07		154	1358	707	189	445		NO SATISFACTORIO
05/08/97	13 05	EFLUENTE			9.30E+07								7.02		15	1358	880	27	122		
05/08/97	13 06	FILTRO 1			5.20E+07								7.02		9.2	1380	889	15	110		
05/08/97	16 00	CLORACION	3	10	7.10E+03	0.45	1.30	2.85	4.15	4.6	4.13	1.57	7.00		8.3	1410	703	19.2	192		
05/08/97	17 00	INFLUENTE			8.30E+04								7.04		208	1328	862	150	218		
05/08/97	17 05	EFLUENTE			1.00E+04								7.02		24	1355	878	21	200		
05/08/97	17 06	FILTRO 2			4.10E+07								7.01		11.2	1410	702	7.9	192		
05/08/97	17 06	CLORACION	1	10	8.30E+02	0.45	1.35	2.90	4.25	4.7	4.21	1.63	7.00			1425	710				
05/08/97	18 00	CLORACION	2	10	8.80E+02	0.50	1.30	2.95	4.2	4.7	4.28	1.57	7.00			1412	708				
05/08/97	18 06	CLORACION	3	10	5.00E+02	0.45	1.30	2.90	4.2	4.65	4.21	1.57	7.01			1399	896				
05/08/97	20 06	CLORACION	4	10	5.50E+02	0.40	1.25	2.90	4.25	4.65	4.21	1.63	7.00		10.4	1400	899	8.7	180		
05/08/97	21 01	INFLUENTE			9.40E+04								7.04		244	1832	784	234	460		
05/08/97	21 01	EFLUENTE			1.50E+04								7.01		19	1036	820	23	187		
05/08/97	21 06	FILTRO 2			7.20E+07								7.01		9.4	1162	881	10.1	192		
05/08/97	21 06	CLORACION	1	10	3.20E+02	0.50	1.25	2.85	4.2	4.7	4.13	1.51	7.00			1210	808				
05/08/97	22 06	CLORACION	2	10	4.30E+02	0.50	1.20	2.90	4.1	4.6	4.21	1.45	7.00			1340	868				
05/08/97	23 06	CLORACION	3	10	5.10E+02	0.55	1.20	2.95	4.15	4.7	4.28	1.45	7.01			1420	712				
05/08/97	00 06	CLORACION	4	10	6.30E+02	0.50	1.20	3.00	4.2	4.7	4.35	1.45	7.01		8.1	1060	830	8.1	178		

Desinfección para el efluente

DEGREMONT

Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Estudios Superiores

Zaragoza

Ingeniería química

Jose Lino Jardines Ortega

FECHA	HORA	MUESTRA	Tiempo horas	Cloro Cl <sub>2</sub> (mg/L)	Cloro Parado (NFC/100 ml)	Cl <sub>2</sub> libre (mg Cl <sub>2</sub> /L)	NH <sub>4</sub> -N (mg Cl <sub>2</sub> /L)	NO <sub>2</sub> -N (mg Cl <sub>2</sub> /L)	Cl <sub>2</sub> combinado (mg Cl <sub>2</sub> /L)	Cl <sub>2</sub> Total (mg Cl <sub>2</sub> /L)	NH <sub>4</sub> -N (mg/L)	NO <sub>2</sub> -N (mg/L)	pH	TEMP C	BST (mg/L)	CONDUCT (microhm/cm)	SDT (mg/L)	TURB NTU	DOO (mg/L)	OBSERVACIONES	
06/06/97	11:00	INFLUENTE			1.10E+00								7.00								
06/06/97	11:05	EFLUENTE			3.20E+00								7.01								
06/06/97	11:06	FILTRO 2			7.30E+01								7.01								
06/06/97	20:00	CLORACION	3	10	1.20E+02	0.35	1.70	2.40	4.1	4.45	3.48	2.06	7.02								
06/06/97	21:00	INFLUENTE			3.10E+00								7.03								
06/06/97	21:00	FILTRO 2			4.10E+00								7.00								
06/06/97	21:00	CLORACION	1	10	3.30E+02	0.30	1.70	2.35	4.05	4.35	3.41	2.06	7.00								
06/06/97	22:00	CLORACION	2	10	4.10E+02	0.30	1.75	2.50	4.25	4.55	3.52	2.12	7.00								
06/06/97	23:00	CLORACION	3	10	5.40E+02	0.35	1.80	2.45	4.25	4.6	3.55	2.18	7.02								
07/06/97	01:00	INFLUENTE			5.20E+02	0.35	1.85	2.30	3.95	4.3	3.34	2	7.02								
07/06/97	01:05	EFLUENTE			4.40E+00								7.04								
07/06/97	01:05	FILTRO 2			7.40E+07								7.02								
07/06/97	01:05	CLORACION	1	10	8.10E+02	0.35	1.70	2.40	4.1	4.45	3.48	2.08	7.01								
07/06/97	02:00	CLORACION	2	10	9.40E+02	0.40	1.60	2.30	3.9	4.3	3.34	1.84	7.01								
07/06/97	03:00	CLORACION	3	10	9.90E+02	0.35	1.65	2.45	4.1	4.45	3.55	2	7.01								
07/06/97	04:00	CLORACION	4	10	1.30E+03	0.30	1.75	2.55	4.3	4.6	3.69	2.12	7.01								
12/06/97	13:00	INFLUENTE			7.40E+00								7.01								
12/06/97	13:05	EFLUENTE			1.30E+00								7.23								
12/06/97	13:05	FILTRO 2			8.20E+07								7.21								
12/06/97	14:00	CLORACION	1	10	1.70E+04	0.85	1.10	3.00	4.1	4.95	4.35	1.33	7.23								
12/06/97	15:00	CLORACION	2	10	6.30E+03	0.65	1.30	3.35	4.65	5.3	4.88	1.57	7.21								
12/06/97	16:00	CLORACION	3	10	9.30E+02	0.45	1.35	3.40	4.75	5.2	4.93	1.63	7.23								
12/06/97	17:00	INFLUENTE			1.30E+00								7.23								
12/06/97	17:05	EFLUENTE			3.40E+00								7.19								
12/06/97	17:05	FILTRO 2			8.30E+07								7.19								
12/06/97	18:00	CLORACION	1	10	2.10E+04	0.95	1.30	3.15	4.45	5.4	4.57	1.57	7.17								
12/06/97	19:00	CLORACION	2	10	7.20E+03	0.65	1.45	3.30	4.75	5.4	4.79	1.75	7.20								
12/06/97	20:00	CLORACION	3	10	5.10E+02	0.50	1.50	3.45	4.95	5.45	5	1.82	7.20								
13/06/97	12:00	INFLUENTE			1.20E+00								7.20								
13/06/97	12:05	EFLUENTE			3.30E+00								7.25								
13/06/97	12:05	FILTRO 2			7.30E+07								7.10								
13/06/97	14:00	CLORACION	1	10	2.40E+04	0.90	1.20	3.10	4.3	5.2	4.5	1.45	7.15								
13/06/97	15:00	CLORACION	2	10	1.00E+04	0.70	1.35	3.35	4.7	5.4	4.88	1.63	7.21								
13/06/97	16:00	CLORACION	3	10	1.10E+03	0.55	1.40	3.40	4.8	5.35	4.93	1.69	7.20								
13/06/97	17:00	INFLUENTE			1.50E+00								7.10								
13/06/97	17:05	EFLUENTE			3.10E+00								7.10								
13/06/97	17:05	FILTRO 2			6.90E+07								7.08								
13/06/97	18:00	CLORACION	1	10	2.10E+04	0.85	1.15	3.00	4.15	5	4.35	1.39	7.11								
13/06/97	19:00	CLORACION	2	10	9.30E+03	0.60	1.25	3.15	4.4	4.9	4.57	1.51	7.10								
13/06/97	20:00	CLORACION	3	10	8.20E+02	0.45	1.35	3.30	4.65	5.1	4.78	1.63	7.10								
14/06/97	11:00	INFLUENTE			1.30E+00								7.10								
14/06/97	11:05	EFLUENTE			1.10E+00								7.10								
14/06/97	11:05	FILTRO 2			6.40E+07								7.05								
14/06/97	12:00	CLORACION	1	10	1.70E+04	0.80	0.95	2.85	3.9	4.7	4.28	1.15	7.01								
14/06/97	13:00	CLORACION	2	10	2.10E+03	0.55	1.30	3.10	4.4	4.95	4.5	1.57	7.00								
14/06/97	14:00	CLORACION	3	10	1.20E+02	0.40	1.35	3.25	4.6	5	4.71	1.63	7.00								
14/06/97	15:00	INFLUENTE			1.70E+00								7.00								
14/06/97	15:05	EFLUENTE			1.09E+00								7.02								
14/06/97	15:05	FILTRO 2			5.30E+07								7.00								
14/06/97	16:00	CLORACION	1	10	1.30E+04	0.85	1.10	3.00	4.1	5.05	4.35	1.33	7.00								
14/06/97	17:00	CLORACION	2	10	9.30E+02	0.75	1.25	3.05	4.3	5.05	4.42	1.51	7.00								
14/06/97	18:00	CLORACION	3	10	1.00E+01	0.60	1.35	3.15	4.5	5.1	4.57	1.63	7.00								

Desinfección para el efluente

DEGREMONT

Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Estudios Superiores

Zaragoza

Ingeniería química

Jose Lino Jardines Ortega

FECHA	HORA	MUESTRA	T Contacto (h)	Dosis Cl <sub>2</sub> (mg/L)	Col fecales (UFC/100 ml)	Cl <sub>2</sub> libre (mg Cl <sub>2</sub> /L)	Cl <sub>2</sub> comb. (mg Cl <sub>2</sub> /L)	Cl <sub>2</sub> Total (mg Cl <sub>2</sub> /L)	NH <sub>3</sub> Cl (mg Cl <sub>2</sub> /L)	NH <sub>4</sub> Cl (mg Cl <sub>2</sub> /L)	NH <sub>2</sub> Cl (mg/L)	NHCl <sub>2</sub> (mg/L)	TURB	pH	POT.Z	SST	STT	TEMP	CONDUCT	SDT	DOCI	N-total	N-NH <sub>3</sub>	N-Org	P-Total		
28-10-97		INFLUENTE																									
28-10-97		EFLUENTE																									
28-10-97	22 00	CLORACION	1	8	3.40E+04	0.20	1.10	1.30	0.40	0.70	1.02	0.48															
28-10-97	23 00	CLORACION	2	8	3.90E+04	0.25	1.10	1.35	0.35	0.75	1.09	0.42															
28-10-97	00 00	CLORACION	3	8	4.50E+04	0.20	1.15	1.35	0.35	0.80	1.16	0.42															
28-10-97	01 00	CLORACION	4	8	3.50E+04	0.25	1.15	1.40	0.40	0.75	1.09	0.48															
28-10-97	02 00	CLORACION	5	8	4.00E+04	0.30	1.25	1.55	0.45	0.80	1.16	0.54															
30-10-97		INFLUENTE			4.10E+08																						
30-10-97		EFLUENTE			3.60E+07																						
30-10-97	13 00	CLORACION	1	9	1.00E+08	0.25	1.35	1.60	0.55	0.80	1.16	0.67															
30-10-97	15 00	CLORACION	2	9	1.30E+04	0.25	1.40	1.65	0.55	0.85	1.23	0.67															
30-10-97	17 00	CLORACION	4	9	7.00E+03	0.20	1.60	1.60	0.50	0.90	1.31	0.61															
30-10-97	19 00	CLORACION	6	9	1.10E+04	0.25	1.30	1.55	0.45	0.85	1.23	0.54															
30-10-97	21 00	CLORACION	8	9	9.20E+03	0.25	1.45	1.70	0.60	0.85	1.23	0.73															
31-10-97		INFLUENTE			3.90E+08																						
31-10-97		EFLUENTE			3.10E+07																						
31-10-97	13 00	CLORACION	1	9.5	7.40E+03	0.25	1.40	1.65	0.50	0.80	1.31	0.61															
31-10-97	15 00	CLORACION	2	9.5	1.20E+04	0.30	1.45	1.75	0.50	0.95	1.38	0.61															
31-10-97	17 00	CLORACION	4	9.5	1.10E+04	0.25	1.50	1.75	0.50	1.00	1.45	0.61															
31-10-97	19 00	CLORACION	6	9.5	8.00E+03	0.30	1.45	1.75	0.40	1.05	1.32	0.48															
31-10-97	21 00	CLORACION	8	9.5	9.18E+03	0.30	1.55	1.75	0.45	1.10	1.60	0.54															
02-08-97	13 00	INFLUENTE			6.90E+08																						
02-08-97	13 04	EFLUENTE			9.20E+07																						
02-08-97	13 04	FILTROS			6.30E+07																						
02-08-97	14 00	CLORACION	1	10	2.10E+03	0.45	4.00	4.45	1.10	2.90	4.21	1.23	145.0	7.01	-1.0	174					1447	723	314				
02-08-97	15 00	CLORACION	2	10	6.10E+02	0.50	4.30	4.80	1.20	3.10	4.50	1.45	22.0	7.00	-1.0	29					1392	695	131				
02-08-97	16 00	CLORACION	3	10	7.30E+02	0.45	4.30	4.75	1.15	3.15	4.57	1.39	18.2	6.98	-1.0	14					1454	731	130				
02-08-97	17 00	CLORACION	4	10	4.10E+02	0.40	4.25	4.65	1.15	3.10	4.50	1.39	16.8	7.00	0.0	11					1493	747	122				
02-08-97	18 00	CLORACION	5	10	6.10E+02	0.50	4.30	4.80	1.20	3.10	4.50	1.45	20.6	6.98	1.0						1492	747					
02-08-97	18 00	CLORACION	1	10	7.30E+02	0.45	4.30	4.75	1.15	3.15	4.57	1.39	21.3	6.99	1.0						1501	748					
02-08-97	19 00	CLORACION	4	10	4.10E+02	0.40	4.25	4.65	1.15	3.10	4.50	1.39	20.6	6.98	1.0						1477	743					
02-08-97	19 00	INFLUENTE			1.30E+09																						
02-08-97	19 04	EFLUENTE			3.30E+08																						
02-08-97	19 04	FILTROS			7.20E+07																						
02-08-97	20 00	CLORACION	1	10	8.30E+02	0.55	4.15	4.70	1.15	3.00	4.35	1.39	23.5	7.00	0.0	13					1445	723	137				
02-08-97	20 00	CLORACION	2	10	7.40E+02	0.60	4.20	4.80	1.20	3.00	4.35	1.45	20.7	6.99	1.0	9					1477	741	127				
02-08-97	22 00	CLORACION	3	10	5.30E+02	0.55	4.30	4.85	1.20	3.10	4.50	1.45	21.0	6.98	1.0						1480	739					
02-08-97	23 00	CLORACION	4	10	8.10E+02	0.50	4.05	4.55	1.00	3.05	4.42	1.21	22.7	6.98	1.0						1478	739					
02-08-97	23 00	INFLUENTE			4.20E+09																						
02-08-97	23 04	EFLUENTE			2.40E+08																						
02-08-97	23 04	FILTROS			8.30E+07																						
02-08-97	00 00	CLORACION	1	10	9.10E+02	0.50	4.10	4.60	1.00	3.10	4.50	1.21	160.0	7.01	-1.0	158					1458	764	382				
02-08-97	01 00	CLORACION	2	10	6.10E+02	0.50	4.30	4.80	1.20	3.10	4.50	1.45	37.0	6.99	0.0	22					1453	742	146				
02-08-97	02 00	CLORACION	3	10	7.30E+02	0.45	4.30	4.75	1.15	3.15	4.57	1.39	31.2	7.00	0.0	15					1517	740	139				
02-08-97	03 00	CLORACION	4	10	4.10E+02	0.40	4.25	4.65	1.15	3.10	4.50	1.39	26.5	6.98	1.0	12					1574	788	132				
03-04-97	13 00	INFLUENTE			7.40E+08																						
03-04-97	13 04	EFLUENTE			1.20E+08																						
03-04-97	13 04	FILTROS			7.30E+07																						
03-04-97	14 00	CLORACION	1	10	1.40E+03	0.35	4.40	4.75	1.30	3.10	4.50	1.57	11.5	7.00	0.0	15					1347	678	184				
03-04-97	14 00	CLORACION	2	10	1.40E+03	0.35	4.40	4.75	1.30	3.10	4.50	1.57	9.3	6.99	0.0	9					1460	724	182				
03-04-97	17 00	CLORACION	3	10	7.20E+02	0.40	4.30	4.70	1.25	3.05	4.48	1.51	10.1	6.99	0.0						1460	725					
03-04-97	18 00	CLORACION	4	10	5.40E+02	0.35	4.40	4.75	1.30	3.10	4.50	1.57	11.3	7.00	0.0						1443	719					
03-04-97	19 00	CLORACION	4	10	8.10E+02	0.35	4.40	4.75	1.20	3.20	4.64	1.45	12.2	7.00	0.0						1420	708					

Desinfección para el efluente

OTV

Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Estudios Superiores

Zaragoza

Ingeniería química

José Lino Jardines Ortega

FECMA	HORA	MUESTRA	T. Contacto (h)	Dosis Cl2 (mg/L)	Col. Resaca (U.F.C. 100 ml)	Cl2 libre (mg Cl2/L)	Cl2 comb. (mg Cl2/L)	Cl2 Total (mg Cl2/L)	NH2Cl (mg Cl2/L)	NHCl2 (mg Cl2/L)	NH2Cl (mg/L)	NHCl2 (mg/L)	TURB	pH	POT.Z	SST	STT	TEMP.	CONDUCT	SOT	DOO2	n-Asp	n-Asp-1	n-Asp-2	P Total
190897	17:08	INFLUENTE			1.20E+08								135.0	7.01	-3.0	134			1380	700	192				
190897	17:08	EFLUENTE			2.30E+04								15.3	6.99	0.0	77			1382	700					
190897	17:08	FILTROS			5.40E+07								14.8	7.00	0.0	11			1384	699	181				
190897	21:08	CLORACION	1	10	6.70E+02	0.40	4.30	4.70	1.20	3.10	4.50	1.45	12.5	6.99	1.0	6			1412	706					
190897	22:08	CLORACION	2	10	6.30E+02	0.45	4.50	4.70	1.25	3.15	4.57	1.51	13.1	6.99	1.0	6			1480	697					
190897	22:08	CLORACION	3	10	5.40E+02	0.45	4.50	4.95	1.30	3.20	4.64	1.57	10.1	6.99	0.0	6			1372	685					
190897	22:08	CLORACION	4	10	3.10E+02	0.45	4.55	5.00	1.35	3.20	4.64	1.63	8.5	6.99	1.0	6			1384	686					
190897	21:08	INFLUENTE			1.40E+08								141.0	7.01	-1.0	160			1384	681					
190897	21:08	EFLUENTE			4.30E+02								6.7	6.99	1.0	27			1405	701					
190897	21:08	FILTROS			6.70E+07								6.3	6.99	0.0	17			1402	699	198				
190897	08:08	CLORACION	1	10	4.30E+02	0.35	4.60	4.95	1.40	3.20	4.64	1.68	7.2	7.00	0.0	15			1525	699	198				
190897	13:08	INFLUENTE			658.0								6.99	2.0	629	1315			847	459	244	13.88	11.20	1.68	3.89
190897	13:08	EFLUENTE			7.4								6.97	6.0	32	745	20.8		899	448	132	10.08	8.98	1.12	6.27
190897	13:08	FILTROS			7.4								6.96	4.0	12	70			899	438	134	10.08	8.98	1.12	6.27
190897	14:05	CLORACION	1	10	1.40E+04	1.10	4.50	5.60	1.10	3.40	4.93	1.33	7.3	6.93	5.0	9	614		1078	130	190	12.32	11.20	1.12	8.98
190897	15:05	CLORACION	2	10	3.10E+03	0.85	4.80	5.65	1.25	3.55	5.15	1.51	6.8	6.94	5.0	6	594		983	118	118	11.20	10.08	1.12	6.27
190897	16:05	CLORACION	3	10	1.40E+02	0.70	4.95	5.65	1.35	3.60	5.22	1.63	5.3	6.93	5.0	5	564		961	110	110	10.84	9.52	1.12	8.99
190897	17:04	INFLUENTE			459.0								6.95	7.00	0.0	658	1245	21.0	892	450	294	13.16	11.76	1.40	5.18
190897	17:04	EFLUENTE			32								6.95	4.8	7	629	21.5		872	493	190	8.98	8.98	0.84	0.24
190897	17:04	FILTROS			2.4								6.94	4.0	7	664			1084	121	121	8.88	7.84	0.84	0.18
190897	18:05	CLORACION	1	10	1.70E+04	1.15	4.50	5.65	1.20	3.30	4.79	1.45	2.3	6.95	5.0	4	624		1226	118	118	11.20	10.08	1.12	6.27
190897	19:05	CLORACION	2	10	4.20E+03	0.90	4.70	5.60	1.25	3.45	5.00	1.51	2.0	6.93	5.0	4	614		1115	112	112	10.36	9.52	0.84	0.53
190897	20:05	CLORACION	3	10	1.70E+02	0.85	5.00	5.85	1.40	3.60	5.22	1.69	2.0	6.92	5.0	2	564		1050	104	104	10.84	10.08	0.56	0.36
190897	13:00	INFLUENTE			345.0								6.99	1.0	450	1385	22.7		1142	572	342	14.84	13.44	1.40	7.53
190897	13:05	FILTROS			8.20E+07								7.5	6.97	2.0	32	840	22.3	1153	378	160	13.44	12.32	1.12	6.64
190897	14:05	CLORACION	1	10	2.40E+04	0.90	4.10	5.00	1.00	3.10	4.50	1.21	2.9	6.96	3.0	5	722		1168	122	122	11.20	10.08	1.12	6.78
190897	15:05	CLORACION	2	10	8.40E+03	0.75	4.45	5.20	1.20	3.25	4.71	1.45	5.6	6.96	3.0	4	708		1171	118	118	11.20	10.08	1.12	6.72
190897	16:05	CLORACION	3	10	6.50E+02	0.70	4.70	5.40	1.30	3.40	4.93	1.57	4.0	6.96	3.0	4	664		1173	109	109	8.88	7.84	0.84	0.84
190897	17:00	INFLUENTE			225.0								6.58	27.0	324	1125	22.4		1164	101	101	7.56	6.72	0.84	0.74
190897	17:04	EFLUENTE			6.0								6.0	26.8	11	775	22.8		1202	605	159	10.64	9.52	1.12	8.99
190897	17:05	FILTROS			9.20E+07								5.8	6.88	12.3	6	7.96		1169	130	130	10.36	8.74	1.12	6.43
190897	18:05	CLORACION	1	10	2.20E+04	1.05	4.20	5.25	1.05	3.15	4.57	1.27	5.4	6.78	19.8	6	7.42		1178	124	124	11.48	10.64	0.84	0.56
190897	19:05	CLORACION	2	10	1.30E+04	0.85	4.55	5.40	1.25	3.30	4.79	1.51	4.7	6.71	22.9	6	7.24		1152	117	117	7.56	6.72	0.84	0.74
190897	20:05	CLORACION	3	10	1.10E+03	0.75	4.70	5.45	1.30	3.40	4.93	1.57	3.0	6.53	25.4	5	708		1206	115	115	8.88	7.84	0.84	0.42
190897	13:00	INFLUENTE			146.0								7.42	-21.8	276			23.9	1251	621	336	15.12	13.44	1.68	12.72
190897	13:04	EFLUENTE			10.8								7.23	-8.1	15	925	21.4		1290	645	169	13.72	12.60	1.12	2.18
190897	13:05	FILTROS			6.90E+07								9.7	7.04	3.0	14	898		1423	120	120	13.72	12.32	1.40	1.73
190897	14:05	CLORACION	1	10	2.00E+04	1.15	4.45	5.60	1.20	3.25	4.71	1.45	8.9	6.99	1.0	8	656		1292	115	115	21.84	20.16	1.68	1.96
190897	15:05	CLORACION	2	10	7.20E+03	0.95	4.65	5.60	1.25	3.40	4.93	1.51	8.7	7.00	1.0	7	828		1318	112	112	8.12	7.28	0.84	0.96
190897	16:05	CLORACION	3	10	2.30E+02	0.85	4.85	5.70	1.35	3.50	5.08	1.63	7.8	7.00	1.0	6	794		1449	118	118	15.12	14.00	1.12	1.87
190897	17:00	INFLUENTE			193.0								7.01	0.0	252	780	23.5		1236	620	408	21.36	20.16	1.40	6.58
190897	17:04	EFLUENTE			9.8								6.63	37.8	11	895	23.7		1241	621	196	18.80	15.60	1.12	1.87
190897	17:05	FILTROS			10.5								2.0	13	622			1285	124	124	12.60	11.76	0.84	0.96	
190897	18:05	CLORACION	1	10	1.70E+04	1.20	4.30	5.50	1.15	3.15	4.57	1.39	9.2	6.97	3.0	10	800		1314	118	118	15.96	14.84	1.12	2.16
190897	19:05	CLORACION	2	10	3.10E+03	1.00	4.55	5.55	1.20	3.35	4.86	1.45	9.1	6.97	3.0	8	788		1277	110	110	19.40	17.82	1.68	1.32
190897	20:05	CLORACION	3	10	8.00E+01	0.80	4.80	5.60	1.25	3.55	5.15	1.51	8.6	6.96	3.0	7	560		1244	107	107	19.04	12.36	1.68	0.84
030897	11:00	INFLUENTE			4.10E+08								302.0	7.19					1291	646					
030897	11:04	EFLUENTE			7.90E+07								10.4	6.99					1420	711					
030897	11:05	FILTROS			3.70E+04	1.10	4.90	6.00	3.75	1.15	5.48	1.39	10.6	6.78		14	830		1476	741	145				
030897	12:05	CLORACION	1	10	2.80E+04	0.90	5.10	6.00	3.85	1.25	5.58	1.52	10.2	6.81		13	800		1497	751	137				
030897	13:05	CLORACION	2	10	1.10E+04	0.75	5.45	6.10	4.10	1.54	5.95	1.63	10.0	6.80		12	756		1487	745	122				
030897	14:05	CLORACION	3	10	1.10E+03	0.60	5.60	6.20	4.15	1.45	6.02	1.75	9.7	6.83		11	721		1489	738	105				

Desinfección para el efluente

OTV

Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Estudios Superiores

Zaragoza

Ingeniería Química

Jose Luis Jordanes Ortega

FECHA	HORA	MUESTRA	T Contacto (h)	Dosis Cl2 (mg/L)	Col. totales (UF/CI/100 mL)	Cl2 libre (mg/CI/2L)	Cl2 comb (mg/CI/2L)	Cl2 Total (mg/CI/2L)	NH2Cl (mg/CI/2L)	NHCl2 (mg/CI/2L)	NH2Cl (mg/L)	NHCl2 (mg/L)	TURB	pH	POT.2	SST	STT	TEMP	CONDUCT	SOT	DOOR	N-nitrat	N-nit3	N-Orq	P-Total	
03/09/97	13 00	INFLUENTE			3 10E+09								243 0	7 02		274	11 78		1307	867	358					
03/09/97	13 04	EFLUENTE			1 90E+08								13 7	8 24		14	888		1847	173	141					
03/09/97	13 05	FILTROS			6 90E+07								11	883		11	883		1516	798	138					
03/09/97	18 00	CLORACION	0 5	°C	2 50E+04	1 76	4 70	5 95	3 50	1 27	5 01	1 45	14 1	8 32		19	836		1631	728	127					
03/09/97	18 00	CLORACION	1	°C	1 10E+04	1 00	5 05	6 05	3 65	1 40	5 29	1 69	13 0	6 50		18	830		1364	628	122					
03/09/97	18 00	CLORACION	2	°C	7 20E+03	0 95	5 20	6 15	3 70	1 50	5 37	1 82	12 8	6 51		9	805		1318	656	109					
03/09/97	18 00	CLORACION	3	°C	1 30E+02	0 80	5 45	6 25	3 90	1 55	5 66	1 87	12 0	6 70		8	793		1330	639	108					
03/09/97	13 00	INFLUENTE			3 20E+08								637			20	728				85					
03/09/97	13 04	EFLUENTE			6 70E+07								18 0			17	880				80					
03/09/97	13 05	FILTROS			3 20E+07								10 0	6 40		17	880				87					
03/09/97	13 35	CLORACION	0 5	°C	1 90E+04	0 85	3 90	4 75	2 90	1 00	1 45	3 51	13 5	6 68		18	518				81					
03/09/97	14 05	CLORACION	1	°C	8 20E+03	0 75	4 25	4 95	3 10	1 15	1 67	3 75	13 2	6 58		12	50				87					
03/09/97	15 05	CLORACION	2	°C	7 20E+02	0 65	4 45	5 10	3 25	1 20	1 74	3 93	13 0	6 58		9	898				86					
03/09/97	16 05	CLORACION	3	°C	0	0 50	5 05	5 55	3 70	1 35	1 96	4 48	12 8	6 44		7	480				84					
03/09/97	17 00	INFLUENTE			5 40E+08								12 2			8	800				78					
03/09/97	17 04	EFLUENTE			1 20E+08								8			7	890				81					
03/09/97	17 05	FILTROS			5 10E+07								11 1	6 57		7	630				75					
03/09/97	17 35	CLORACION	0 5	°C	2 30E+04	0 90	3 95	4 85	3 00	0 95	1 38	3 63	12 0	6 60		7	600				73					
03/09/97	18 05	CLORACION	1	°C	9 10E+03	0 75	4 20	4 95	3 10	1 10	1 59	3 75	11 3	6 65		6	580				70					
03/09/97	19 05	CLORACION	2	°C	1 70E+03	0 60	4 60	5 20	3 35	1 25	1 81	4 05	11 4	6 59		6	525				70					
03/09/97	20 05	CLORACION	3	°C	0	0 55	4 80	5 35	3 50	1 30	1 88	4 23	10 7	6 58		6	525				230					
03/09/97	13 00	INFLUENTE			5 30E+08								654 0	6 63		640	1810									
03/09/97	13 04	EFLUENTE			9 20E+07								12 0	6 80		40	580				122					
03/09/97	13 05	FILTROS			4 10E+07								11 3	6 62		21	500				104					
03/09/97	13 35	CLORACION	0 5	°C	2 30E+04	0 85	3 80	4 65	2 70	0 90	1 30	3 27	12 4	6 35		19	480				98					
03/09/97	14 05	CLORACION	1	°C	1 00E+04	0 80	4 20	5 00	3 10	1 10	1 59	3 75	10 2	6 59		16	475				95					
03/09/97	15 05	CLORACION	2	°C	2 10E+03	0 60	4 50	5 10	3 35	1 15	1 67	4 66	9 9	6 68		15	450				88					
03/09/97	16 05	CLORACION	3	°C	0	0 55	5 15	5 70	3 90	1 25	1 81	4 72	8 5	6 44		13	435				80					
03/09/97	17 05	CLORACION	4	°C	0																					
03/09/97	18 05	CLORACION	5	°C	0																					
03/09/97	19 05	CLORACION	6	°C	0																					
03/09/97	17 05	CLORACION	24	°C	1 10E+02									6 63		14										
03/09/97	17 05	CLORACION	48	°C	5 10E+02									6 78		15										
03/09/97	17 00	INFLUENTE			8 20E+08								865 0	6 97		552	1115				350					
03/09/97	17 04	EFLUENTE			1 20E+08								10 6	6 53		21	610				130					
03/09/97	17 05	FILTROS			6 90E+07								9 1	6 34		17	500				122					
03/09/97	17 35	CLORACION	0 5	°C	2 50E+04	1 00	4 20	5 20	3 10	1 10	1 60	3 75	10 2	6 52		14	495				107					
03/09/97	18 05	CLORACION	1	°C	1 20E+03	0 95	4 85	5 50	3 40	1 25	1 81	4 11	10 0	6 59		13	470				106					
03/09/97	19 05	CLORACION	2	°C	9 20E+02	0 70	4 90	5 60	3 55	1 35	1 96	4 29	9 7	6 67		11	425				96					
03/09/97	20 05	CLORACION	3	°C	0	0 60	5 35	5 95	3 75	1 65	2 39	4 54	9 4	6 70		11	408				90					
03/09/97	13 00	INFLUENTE			4 70E+08								263 0	6 87		522	1470									
03/09/97	13 04	EFLUENTE			8 90E+07								17 9	6 57		23	1025									
03/09/97	13 05	FILTROS			3 20E+07								17 8	6 85		15	804									
03/09/97	13 35	CLORACION	0 5	°C	1 30E+04	1 20	4 35	5 55	3 20	1 15	2 17	3 87	21 3	6 84		12	714				182	17 80	11 20	1 40	19 04	
03/09/97	14 05	CLORACION	1	°C	2 40E+03	0 95	4 70	5 75	3 45	1 25	1 81	4 17	20 1	6 83		12	612				175	8 96	8 40	8 96	8 96	
03/09/97	15 05	CLORACION	2	°C	5 20E+02	0 95	5 35	6 30	3 80	1 55	2 25	4 60	19 2	6 80		11	550				155	11 20	10 80	1 12	1 22	
03/09/97	16 05	CLORACION	3	°C	0	0 75	5 90	6 75	3 95	1 95	2 83	4 78	18 1	6 76		11	523				132	13 72	12 32	1 40	1 78	
03/09/97	17 05	CLORACION	4	°C	0																					
03/09/97	18 05	CLORACION	5	°C	0																					
03/09/97	19 05	CLORACION	6	°C	0																					
03/09/97	17 05	CLORACION	24	°C	0									6 73		12										

Desinfección para el efluente

OTV

Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Estudios Superiores

Xirapetit

Informe técnico

Tema: Lineamientos OTV

FICHA	HORA	MUESTRA	T Contacto (h)	Dosis Cl2 (mg/L)	Col fecales (UFC/100 mL)	Cl2 libre (mg Cl2/L)	Cl2 comb (mg Cl2/L)	Cl2 Total (mg Cl2/L)	NH3Cl (mg Cl2/L)	NHCl2 (mg Cl2/L)	NH3Cl (mg/L)	NHCl2 (mg/L)	TURB	pH	POT Z	SST	STT	TEMP	CONDUCT	SDT	DOCR	N-total	N-NO3	N-NO2	N-Org	P-Total
100997	17:00	INFLENTE			3.10E+08								270.0	6.89		325	865				350	18.24	14.56	1.88	13.81	
100997	17:04	EFLENTE			9.20E+07								17.4	6.63		21	535				190	13.44	12.32	1.12	2.05	
100997	17:05	FILTROS			6.20E+07								17.3	6.65		16	420				97	14.28	12.88	1.40	1.19	
100997	17:35	CLORACION	0.5	11	1.80E+04	1.15	4.55	5.75	3.30	1.25	1.81	3.99	18.6	6.42		13	405				87	16.57	15.48	1.12	1.95	
100997	18:05	CLORACION	1	11	7.20E+03	1.10	5.05	6.15	3.55	1.50	2.17	1.29	17.9	6.54		12	382				84	15.12	14.00	1.12	1.82	
100997	19:05	CLORACION	2	11	1.10E+02	0.85	5.70	6.63	3.95	1.75	2.54	4.78	17.1	6.62		10	375				84	15.84	14.56	1.12	1.30	
100997	20:05	CLORACION	3	11	0	0.70	6.25	6.95	4.20	2.05	2.97	5.08	16.4	6.73		10	362				82	15.12	13.72	1.40	2.05	
100997	13:04	EFLENTE			7.30E+08								170.0	6.91		296	1413				423	16.52	15.12	1.40	6.74	
100997	13:05	FILTROS			9.70E+07								19.7	6.42		16	820				164	15.64	14.56	1.12	6.84	
100997	13:35	CLORACION	0.5	12	1.30E+04	1.15	5.45	6.60	4.12	1.35	1.96	4.96	12.3	6.42		10	790				158	14.84	14.00	0.84	6.82	
100997	14:05	CLORACION	1	12	5.20E+03	1.00	5.85	6.85	4.35	1.50	2.17	5.26	11.4	6.57		10	725				142	14.64	14.00	0.84	6.70	
100997	15:05	CLORACION	2	12	1.50E+02	0.85	6.20	6.55	4.55	1.65	2.39	5.50	10.7	6.75		9	700				134	15.40	14.56	0.84	7.01	
100997	16:05	CLORACION	3	12	0	0.75	6.40	7.15	4.60	1.80	2.61	5.57	10.1	6.80		8	670				134	14.84	14.00	0.84	6.78	
100997	17:05	CLORACION	4	12	0											8	670				127	15.12	14.00	1.12	6.69	
100997	18:05	CLORACION	5	12	0																					
100997	19:05	CLORACION	6	12	0																					
110997	17:00	INFLENTE			9.20E+08								268.0	6.86		286	1020				412	17.36	15.68	1.88	10.40	
110997	17:04	EFLENTE			1.30E+08								10.5	6.36		17	795				176	15.68	14.56	1.12	6.86	
110997	17:05	FILTROS			3.20E+08								24.2	6.33		49	890				196	13.16	12.32	0.84	1.84	
110997	17:35	CLORACION	0.5	12	1.70E+04	1.00	5.65	6.65	4.30	1.35	1.96	5.20	24.6	6.40		28	825				182	16.80	15.68	1.12	3.27	
110997	18:05	CLORACION	1	12	8.10E+03	0.85	6.00	6.85	4.55	1.45	2.10	5.50	24.3	6.60		21	797				180	16.24	15.12	1.12	1.30	
110997	19:05	CLORACION	2	12	1.10E+02	0.70	6.30	7.00	4.60	1.70	2.46	5.57	19.5	6.42		17	775				175	16.00	15.84	1.12	4.01	
110997	20:05	CLORACION	3	12	0	0.55	6.70	7.25	4.75	1.85	2.83	3.75	18.3	6.86		12	715				163	16.00	15.68	1.12	3.10	
170997	13:00	INFLENTE			6.70E+08								259.0	7.05		200	1680				264	14.56	13.44	1.12	6.80	
170997	13:04	EFLENTE			9.70E+07								20.9	6.77		49	920				170	14.00	13.16	0.84	3.73	
170997	13:05	FILTROS			6.50E+07								18.6	6.88		31	780				132	12.60	12.60	0.80	3.40	
170997	13:35	CLORACION	0.5	10	1.90E+04	1.20	4.35	5.55	3.31	1.25	4.50	5.51	19.2	6.84		30	690				170	14.00	13.16	0.84	3.73	
170997	14:05	CLORACION	1	10	1.10E+04	1.05	4.70	5.75	3.25	1.35	4.86	1.63	18.5	6.86		29	680				165	13.44	12.60	0.84	3.73	
170997	15:05	CLORACION	2	10	1.30E+03	0.90	4.95	5.85	3.50	1.45	5.01	1.75	17.8	6.90		27	655				164	12.96	12.60	0.90	3.17	
170997	16:05	CLORACION	3	10	0	0.80	5.10	5.90	3.60	1.50	5.22	1.81	17.5	6.97		25	627				160	13.16	12.60	0.96	4.66	
170997	17:00	INFLENTE			1.30E+09								1184.0	6.93		872	1630				157	13.16	12.32	0.84	4.95	
170997	17:04	EFLENTE			2.40E+08								27.1	6.74		34	705				378	16.52	14.84	1.68	15.12	
170997	17:05	FILTROS			8.30E+07								29.3	6.78		28	680				159	13.72	12.88	0.84	3.21	
170997	17:35	CLORACION	0.5	10	5.50E+04	0.15	4.45	5.60	3.15	1.30	4.57	1.57	21.2	6.81		21	672				157	12.04	12.04	0.80	3.02	
170997	18:05	CLORACION	1	10	5.30E+03	1.00	4.55	5.55	3.20	1.35	4.64	1.63	20.4	6.86		20	672				135	15.40	14.28	1.12	3.64	
170997	19:05	CLORACION	2	10	6.20E+02	0.95	4.70	5.65	3.25	1.45	4.72	1.75	19.3	6.92		19	632				122	14.00	13.16	0.84	2.60	
170997	20:05	CLORACION	3	10	0	0.75	5.05	5.80	3.50	1.55	5.01	1.88	18.2	6.93		18	625				120	14.00	13.16	0.84	4.71	
180997	13:00	INFLENTE			1.50E+09								183.0	6.98		270	980				719	13.72	13.16	0.56	4.54	
180997	13:04	EFLENTE			3.30E+08								19.1	6.80		23	760				204	14.08	13.44	0.56	7.30	
180997	13:05	FILTROS			9.80E+07								22.7	6.84		18	690				178	13.16	12.32	0.84	2.17	
180997	13:35	CLORACION	0.5	10	7.40E+04	1.00	4.10	5.10	3.10	1.00	4.50	1.21	23.1	6.89		18	684				100	12.16	11.68	0.84	2.10	
180997	14:05	CLORACION	1	10	1.30E+04	0.90	4.40	5.30	3.20	1.15	4.71	1.39	22.6	6.90		17	676				94	12.88	12.04	0.84	2.35	
180997	15:05	CLORACION	2	10	4.10E+03	0.85	4.65	5.50	3.45	1.20	5.00	1.45	22.0	6.93		16	670				84	12.04	11.48	0.96	2.67	
180997	16:05	CLORACION	3	10	0	0.80	4.85	5.65	3.55	1.30	5.15	1.57	21.5	6.96		16	666				82	13.16	12.32	0.84	3.42	
180997	17:00	INFLENTE			7.30E+09								165.0	7.01		350	1025				308	15.12	12.32	2.80	7.86	
180997	17:04	EFLENTE			5.10E+08								21.2	6.80		32	730				152	14.00	11.76	2.24	2.76	
180997	17:05	FILTROS			1.20E+08								23.1	6.95		26	880				134	16.56	15.44	1.12	2.49	
180997	17:35	CLORACION	0.5	10	3.10E+04	0.95	4.25	5.20	3.25	1.00	4.71	1.21	22.6	6.88		25	855				131	14.28	13.16	1.12	3.39	
180997	18:05	CLORACION	1	10	1.70E+04	0.80	4.40	5.30	3.15	1.05	4.86	1.22	21.5	6.90		24	847				127	14.28	13.16	1.12	3.39	
180997	19:05	CLORACION	2	10	6.20E+03	0.80	4.70	5.50	3.50	1.20	5.01	1.45	21.2	6.95		24	832				125	13.44	12.60	0.84	3.20	
180997	20:05	CLORACION	3	10	1.90E+02	0.75	5.10	5.85	3.15	1.35	5.44	1.63	20.7	6.99		24	822				123	13.72	12.88	0.84	2.77	

Desinfección para el efluente

OTV

Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Estudios Superiores

Zaragoza

Ingeniería Química

Jose Luis Carreras Ortega

FECHA	HORA	MUESTRA	TRH	Dosis Cl <sub>2</sub>	Col fecales in	Cl <sub>2</sub> libre	Cl <sub>2</sub> comb	Cl <sub>2</sub> Total	NH <sub>3</sub> Cl	NHCl <sub>2</sub>	NH <sub>2</sub> Cl	NHCl <sub>3</sub>	pH	SST	STT	DOO	CONDUCT	SDT	TURB	
			(h)	(mg/L)	(UFC/100 ml)	mg Cl <sub>2</sub> /L														
		INFLUENTE																		
		EFLUENTE																		
	21:30	CLORACION		10	2.50E+01	0.40	4.40	4.80	0.80	3.60	5.22	0.97								
	22:00	CLORACION		10	1.00E+01	0.60	4.20	4.80	0.90	3.30	4.79	1.10								
	22:30	CLORACION		10	2.30E+01	0.55	3.20	3.75	0.80	2.40	3.48	0.97								
26/08/97	14:20	FILTRO ARENA			1.10E+08															
26/08/97	15:20	CLORACION	1	10	3.20E+04	0.75	5.10	5.85	1.00	4.10	1.45	4.96	6.99	28	812	195	1644	774	42	
26/08/97	16:20	CLORACION	2	10	1.40E+04	0.60	5.40	6.00	1.15	4.25	1.67	5.14	7.00	20.1	797	183	1453	779	40	
26/08/97	17:20	CLORACION	3	10	7.10E+03	0.45	5.80	6.25	1.30	4.50	1.88	5.44	7.00	18.2	780	184	1441	770	36	
26/08/97	18:20	FILTRO ARENA			9.90E+07															
26/08/97	19:20	CLORACION	1	10	3.90E+04	0.85	5.15	6.00	1.15	4.00	1.67	4.84	6.99	25.2	715	218	1389	685	50	
26/08/97	20:20	CLORACION	2	10	1.30E+04	0.75	5.50	6.25	1.35	4.15	1.96	5.02	7.00	23.1	684	204	1411	704	39	
26/08/97	21:20	CLORACION	3	10	4.20E+03	0.65	5.70	6.35	1.50	4.20	2.17	5.08	6.99	20	687	197	1538	744	37	
27/08/97	14:20	FILTRO ARENA			2.20E+08															
27/08/97	14:50	CLORACION	0.5	10	5.40E+04								6.84	26	872	182	1550	773	35	
27/08/97	15:20	CLORACION	1	10	3.20E+04	1.05	5.05	6.10	1.10	3.95	1.59	4.88	6.99	23	815	220	1422	709	33	
27/08/97	16:20	CLORACION	2	10	1.90E+04	0.95	5.45	6.40	1.25	4.20	1.81	5.08	6.99	20	810	204	1394	698	31	
27/08/97	17:20	CLORACION	3	10	7.40E+03	0.90	5.70	6.60	1.35	4.35	1.96	5.26	7.00	18	786	188	1321	659	27	
27/08/97	18:20	CLORACION	4	10	5.10E+03	0.75	6.10	6.85	1.50	4.60	2.17	5.57								
27/08/97	19:20	CLORACION	5	10	3.20E+03															
27/08/97	20:20	CLORACION	6	10	1.30E+03															
28/08/97	17:20	CLORACION	24	10	8.70E+03															
28/08/97	17:20	CLORACION	48	10	1.40E+04															
27/08/97	18:20	FILTRO ARENA			1.70E+08								7.02	19						
27/08/97	19:20	CLORACION	1	10	3.60E+04	1.10	5.70	6.80	1.20	1.50	1.74	5.44	6.99	31	760	208	1351	674	37	
27/08/97	20:20	CLORACION	2	10	1.70E+04	0.85	6.35	7.15	1.45	4.85	2.10	5.87	6.99	27	732	200	1312	656	35	
27/08/97	21:20	CLORACION	3	10	5.40E+03	0.75	6.60	7.35	1.60	5.00	2.32	6.05	7.00	20	709	204	1322	641	30	
27/08/97	13:00	INFLUENTE			1.20E+09								6.44	161	2845	338	1341	882	158	
27/08/97	14:00	EFLUENTE			5.12E+08								6.10	46.3	910	221	1391	698	42	
27/08/97	14:05	FILTRO ARENA			1.15E+08								6.14	33.4	980	224	1326	669	35	
27/08/97	14:35	CLORACION	0.5	12	2.30E+04	1.45	6.70	8.15	5.20	1.50	7.54	1.83	6.51	30.3	845	184	1374	685	33	
27/08/97	15:05	CLORACION	1	12	1.30E+04	1.20	7.15	8.35	5.50	1.65	7.97	2.00	6.62	30	835	169	1339	675	32	
27/08/97	16:05	CLORACION	2	12	1.30E+03	1.10	7.70	8.80	5.90	1.80	8.56	2.19	6.60	29.7	830	165	1330	666	32	
27/08/97	17:05	CLORACION	3	12	3.50E+02	1.00	7.90	8.90	5.95	1.95	8.63	2.36	6.59	26	820	157	1324	665	27	
27/08/97	18:00	EFLUENTE			9.70E+08								6.73	180	905	1229	618	205		
27/08/97	18:05	FILTRO ARENA			3.20E+08								6.93	44.6	860	1293	649	37		
27/08/97	18:35	CLORACION	0.5	12	9.20E+07								6.91	40	850	188	1393	649	37	
27/08/97	19:05	CLORACION	1	12	1.90E+04	1.50	6.60	8.10	5.10	1.50	7.40	1.83	6.96	39.3	845	183	1368	685	34.1	
27/08/97	19:05	CLORACION	2	12	1.10E+03	1.35	7.05	8.40	5.35	1.70	7.78	2.06	6.89	37.6	825	182	1369	686	34	
27/08/97	20:05	CLORACION	3	12	9.20E+02	1.05	7.65	8.70	5.70	1.95	8.27	2.36	7.06	36.6	765	172	1384	684	31	
27/08/97	21:05	CLORACION	3	12	O	0.95	8.10	9.05	6.00	2.10	8.70	2.54	7.08	32.3	725	161	1399	701	29	
27/08/97	13:00	INFLUENTE			1.30E+09								6.40	31.75	955	171	1236	619	33	
27/08/97	14:00	FILTRO ARENA			4.70E+08								6.36	29.75	870	168	1159	638	32	
27/08/97	14:35	CLORACION	0.5	12	9.30E+07								6.40	29.25	850	157	1239	621	30	
27/08/97	15:05	CLORACION	1	12	1.30E+04	2.10	7.40	9.50	5.50	1.90	7.97	2.30	6.44	28.5	840	150	1251	626	28	
27/08/97	16:05	CLORACION	2	12	7.20E+02	1.85	8.00	9.85	5.70	2.30	8.27	2.78	6.33	27.6	830	169	1227	613	33	
27/08/97	17:05	CLORACION	3	12	1.00E+01	1.45	8.45	9.90	5.95	2.50	8.63	3.05	6.32	22.3	823	157	1185	584	31	
27/08/97	18:00	INFLUENTE			O	1.20	8.95	10.15	6.10	2.85	8.85	3.45	6.32	21.7	817	148	1220	614	29	
27/08/97	18:00	EFLUENTE			2.10E+08								6.37	44.3	835	176	1215	587	26	
27/08/97	18:05	FILTRO ARENA			3.60E+08								6.33	27.6	830	169	1227	613	33	
27/08/97	18:35	CLORACION	0.5	12	8.20E+07								6.21	22.3	823	157	1185	584	31	
27/08/97	19:05	CLORACION	1	12	1.30E+04	1.95	7.75	9.70	5.75	2.00	8.34	2.42	6.32	21.7	817	148	1220	614	29	
27/08/97	20:05	CLORACION	2	12	5.10E+02	1.70	8.05	9.75	5.90	2.15	8.56	2.96	6.32	19.5	800	131	1201	602	26	
27/08/97	21:05	CLORACION	3	12	O	1.10	8.10	10.20	6.35	2.75	9.21	3.33	6.30	17.25	786	121	1136	572	21	

Desinfección para el efluente

US-FILTER

Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Estudios Superiores

Zaragoza

Ingeniería Química

Jose Luis Jordines Ortega