

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL



Remoción de Compuestos Orgánicos Coloreados en Aguas Naturales mediante la aplicación de mezcla de gases oxidantes

TESIS

Para optar el título profesional de:
INGENIERO SANITARIO

**Rosario Margarita
Pastor Zegarra**

**Carmen
Vásquez Corahua**

PROMOCION 90-I

LIMA - PERU

1992

- A LA MEMORIA DE MI PADRE
QUIEN ME ENSEÑO AMAR LA
VIDA.
- A MI MADRE JUANA ZEGARRA
POR SUS VIRTUDES Y SU
ETERNA DEDICACION.
- A MIS HERMANOS Y HERMANAS
EN ESPECIAL A NELLY, POR SU
COLABORACION, COMPRENSION Y
APOYO INCONDICIONAL.
- A MIS PROFESORES Y AMIGOS
POR SUS GRANDES CONCEJOS Y
ORIENTACIONES.

R.P.Z.

EL AGRADECIMIENTO A MIS QUERIDOS PADRES,
VERDADEROS GUIAS DE MI FUTURO, QUIENES
CON SU INVALORABLE ESFUERZO Y APOYO,
CONTRIBUYERON EN MI FORMACION PROFESIO-
NAL; Y A MIS HERMANOS POR SU CONSTANTE
ESTIMULO Y CONFIANZA.

C . V . C .

AGRADECIMIENTOS

- Al Ing. Otto Rosasco Gerkes, asesor nuestro por su continuo apoyo y estímulo.
 - A la Sra. Química María Luisa Castro, Jefa de Laboratorio del CEPIS, por su constante asesoría en la ejecución del presente trabajo.
 - Al Ing. Alberto Flórez, Director del CEPIS, por autorizar el uso de las instalaciones del laboratorio de ese centro.
 - Al Ing. Ricardo Rojas V., por brindarnos su apoyo en el perfeccionamiento de la técnica empleada y por sus enseñanzas.
- Al Dr. Kazuhiko Ikeda, por su asesoría en los aspectos analíticos de la Química Orgánica.
- Al Ing. Víctor Díaz y a la Ing. Martha Aranguren, por brindarnos el acceso al uso del equipo de C.O.T., en el laboratorio de la Planta de Tratamiento de Agua "Gustavo Laurie Solís"
 - Al técnico Enrique Quevedo del Laboratorio de DIGESA.
 - A todos aquellos que en forma directa o indirectamente, contribuyeron en la conclusión del presente trabajo de tesis.

.... La gente cree que los grandes países
investigan porque son ricos, y esto es
falso; son ricos porque investigan ..."

INDICE

1. <u>CONSIDERACIONES GENERALES</u>	Pág.
1.1 INTRODUCCION	1
1.2 OBJETIVO	3
1.3 ALCANCES	3
1.4 ANTECEDENTES	4
2. <u>COLOR ORGANICO EN EL AGUA</u>	
2.1 GENERALIDADES	7
2.2 NATURALEZA DE LAS SUSTANCIAS HUMICAS	9
2.2.1 ACIDOS HUMICOS	12
2.2.2 ACIDOS FULVICOS	14
3. <u>OXIDACION CON CLORO</u>	
3.1 GENERALIDADES	17
3.2 REACCIONES QUIMICAS	
3.2.1 HIDROLISIS	19
3.2.2 OXIDO-REDUCCION	20
3.2.3 OXIDACION DE LA MATERIA ORGANICA	22
3.3 REMOCION DEL COLOR	26
3.4 TRIHALOMETANOS, MECANISMOS Y FACTORES PARA SU FORMACION	27

3.5 EFECTOS EN LA SALUD DEL CLORO Y DERIVADOS CLORADOS PRESENTES EN EL AGUA DE CONSUMO HUMANO	41
<u>4. OXIDACION CON OZONO</u>	
4.1 GENERALIDADES	48
4.2 REACCIONES QUIMICAS	50
4.3 EFECTOS DE LA OZONIZACION EN EL AGUA	55
4.4 REMOCION DEL COLOR	56
4.5 EFECTOS DEL OZONO EN LA SALUD	58
<u>5. EQUIPO DE PRODUCCION DE MEZCLA DE GASES OXIDANTES</u>	
5.1 ANTECEDENTES	60
5.2 DESCRIPCION DE LA UNIDAD	64
5.3 GASES PRODUCIDOS	67
5.4 OXIDACION DE MATERIA ORGANICA CON MEZCLA DE GASES OXIDANTES	72
<u>6. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL</u>	
6.1 ALCANCES	73
6.2 METODOLOGIA	
6.2.1 PRUEBAS PARA CUANTIFICAR LA PRODUCCION DE GASES OXIDANTES	73
6.2.1.1 CUANTIFICACION DEL GAS CLORO	76
6.2.2 CARACTERISTICAS DEL AGUA A TRATAR	82
6.2.2.1 ACIDOS FULVICOS	85
6.2.2.2 CARBON ORGANICO TOTAL	91
6.2.2.3 DEMANDA DE CLORO	93
6.2.2.4 DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO	94

6.2.2.5	SOLIDOS DISUELTOS VOLATILES	97
6.2.3	PRUEBAS PARA EVALUAR LA EFICIENCIA DE LA CAPACIDAD DE LOS GASES OXIDANTES	
6.2.3.1	INYECCION DE GASES OXIDANTES	98
6.2.3.2	EVALUACION DE LA CAPACIDAD OXIDANTE	100
6.2.4	MEDICION DE TRIHALOMETANOS EN EL AGUA TRATADA	101
7.	<u>RESULTADOS</u>	
7.1	CUANTIFICACION DE LA PRODUCCION DE GASES OXIDANTES	104
7.1.1	MEDICION DE FLUJO DE GASES PRODUCIDOS	104
7.1.2	TIPOS DE GASES PRODUCIDOS	110
7.1.2.1	CLORO	110
7.1.2.2	OZONO	111
7.2	EVALUACION DE LA EFICIENCIA DE LA CAPACIDAD OXIDANTE EN MUESTRA SINTETICA DE AGUA COLOREADA	119
7.3	EVALUACION DEL RIESGO POTENCIAL EN LA SALUD POR EL USO DE MEZCLA DE GASES OXIDANTES EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS COLOREADAS	144
8.	<u>VIABILIDAD TECNICA Y ECONOMICA</u>	150
9.	<u>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</u>	161
10.	<u>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS</u>	165
11.	<u>ANEXOS</u>	175

LISTA DE CUADROS

<u>Cuadro</u>	DESCRIPCION	<u>pág.</u>
2.1	Características de los Compuestos Orgánicos de Origen Natural en Aguas Superficiales	10
2.2	Características Químicas de las Sustancias Húmicas	10
3.1	Reacciones del Cloro en el Agua	21
3.2	Estructura de la Formación de los Trihalometanos	29
3.3	Formación de los Trihalometanos en las Aguas Naturales Cloradas	34
5.1	Descripción de la Unidad MOGGOD	64
5.2	Potencial de Oxidación y Capacidad de Oxidación Relativa de Diversos Oxidantes Potentes	71
6.1	Corrección del Volumen de los Gases Producidos	76
7.1	Medición del Flujo de los Gases Oxidantes	105
7.2	Producción de los Gases Oxidantes	105
7.3	Cuantificación del Gas Cloro	114
7.4	Producción del Gas Ozono	114
7.5	Características de la Muestra Sintética Coloreada	119
7.6	Determinación de Demanda de Cloro en la Muestra	121
7.7	Gases Oxidantes Inyectados (lt)	124
7.8	Gases Oxidantes Inyectados (gr)	124
7.9	Evaluación de Remoción de Compuestos Orgánicos en la Muestra Sintética Coloreada	131
7.10	Determinación de la Eficiencia de Extracción de	

los Acidos Fúlvicos a través de la Resina XAD-8	139
7.11 Determinación del Cloro Residual	139
7.12 Determinación de los Trihalometanos	145
8.1 Construcción de la Caseta	154
8.2 Instalación del Equipo	155
8.3 Equipos y Reactivos	155
8.4 Mano de Obra	156
8.5 Resumen General de Costos	156
8.6 Determinación de Costos por Kg/día de Gases Producidos para diferentes Valores de Corriente	158
8.7 Comparación de Costos entre la Técnica MOGGOD y el Hipoclorito de Sodio	159

LISTA DE FIGURAS

<u>Figura</u>	DESCRIPCION	<u>pág.</u>
2.1	Resumen de Fuentes y Efectos de las Sustancias Húmicas en las Aguas Superficiales	11
2.2	Modelo de la Estructura de los Acidos Húmicos	14
2.3	Estructura de los Acidos Fúlvicos	16
3.1	Reacciones de los Compuestos Orgánicos producidos por la Cloración	25
3.2	Estructura de la Molécula Húmica	32
3.3	Producción de Trihalometanos por el uso de Cloro y el Ozono	40
5.1	Esquema de la Unidad MOGGOD	65
5.2	Celda Electrolítica MOGGOD	66
5.3	Instalación del Equipo	69
5.4	Autotransformador	70
6.1	Cuantificación de los Gases Oxidantes	75
6.2	Cuantificación del Gas Cloro	78
6.3	Cloro Residual	81
6.4	Preparación de la Muestra	83
6.5	Preparación de la Resina XAD-8	86
6.6	Determinación de los Acidos Fúlvicos	89
6.7	Extracción de los Acidos Fúlvicos	90
6.8	Demanda Química de Oxígeno	96

LISTA DE GRAFICOS

<u>Gráfico</u>	DESCRIPCION	<u>pág.</u>
3.1	Efectos de la Temperatura en la Formación del Cloroformo	36
3.2	Efectos del pH en la Producción del Cloroformo	36
7.1	Medición el Flujo de los Gases Producidos	106
7.2	Medición del Flujo de Gases Producidos	107
7.3	Producción de los Gases Oxidantes	108
7.4	Producción de los Gases Oxidantes	109
7.5	Cuantificación del Gas Cloro	115
7.6	Cuantificación del Gas Cloro	116
7.7	Cuantificación de los Gases Oxidantes	117
7.8	Cuantificación de los Gases Oxidantes	118
7.9	Diluciones de la Muestra Coloreada	120
7.10	Demanda de Cloro	122
7.11	Demanda de Cloro	123
7.12	Cantidad de Gases Oxidantes Inyectados	125
7.13	Total de Gases Oxidantes Inyectados	126
7.14	Cantidad de Gases Oxidantes Inyectados	127
7.15	Total de Gases Oxidantes Inyectados	128
7.16	Determinación de Color	132
7.17	Determinación de Color (%)	133
7.18	Determinación de D.Q.O.	134
7.19	Determinación de D.Q.O. (%)	135
7.20	Determinación de Sólidos Volátiles	136

7.21	Determinación de Sólidos Volátiles (%)	137
7.22	Determinación del pH	138
7.23	Eficiencia de Extracción de los Acidos Fúlvicos	140
7.24	Eficiencia de Extracción de los Acidos Fúlvicos	141
7.25	Determinación del Cloro Residual	142
7.26	Determinación del Cloro Residual	143
7.27	Determinación de los Trihalometanos	146
7.28	Determinación de los Trihalometanos	147
7.29	Formación de los Trihalometanos	148

CAPITULO 1

CONSIDERACIONES GENERALES

1.1 INTRODUCCION

En muchos lugares del país - de preferencia en la región de la selva - el agua superficial tiene un alto contenido de sustancias húmicas, confiriéndole al agua un color marrón característico, que se muestra la presencia de compuestos orgánicos de origen natural. También la presencia de compuestos de fierro, manganeso y otras formas de polución orgánica dan color a las aguas naturales.

Estas aguas coloreadas son inconvenientes para el uso doméstico e industrial, sobre todo para las industrias de manufactura de papel, textiles, bebidas embotelladas y productos alimenticios.

La literatura sobre sustancias húmicas es amplia, pero los diferentes trabajos de investigación desde inicios de siglo XIX, señalan datos inciertos sobre ácidos húmicos, desconociéndose en forma concreta detalles sobre su composición y estructura molecular.

La Legislación Sanitaria del Perú, señala que para fines de consumo humano el color debe ser menor que 10 UC.

Por ello, las aguas con características mayores a las señaladas deben ser tratadas para eliminar el color.

El costo de plantas pequeñas que generan ozono es elevado, y la alternativa para generar ozono del aire con irradiación UV en 150-180 nm. requiere de mayor número de pruebas.

Su costo posiblemente es bajo, pero no se ha probado su aplicación en la potabilización del agua.

Otro método usado para remover el color orgánico de ciertas aguas naturales es la cloración, con dosis de 1.0 a 10 mg/lt. También dosis elevadas tienen ventajas, cuando no es posible eliminar el color con otros métodos.

Ninguno de los métodos sirven por sí solos para reducir el color orgánico y a la vez desinfectar aguas naturales. Por ello se están probando combinaciones.

La mezcla de gases oxidantes (cloro + ozono) puede resultar ser muy eficiente.

El propósito de este trabajo fue estudiar la remoción del color orgánico y comparar la eficiencia de gases

individuales frente a la mezcla de éstos.

1.2 OBJETIVO

Remover los compuestos orgánicos de las aguas coloreadas naturales, mediante el uso de la mezcla de gases oxidantes generados in situ.

Conocer la aplicabilidad del uso de una mezcla de gases oxidantes en la desinfección de aguas coloreadas, a fin de evaluar la disminución del riesgo potencial en la salud y/o real de la formación de compuestos tóxicos orgánicos halogenados, que pueden producirse después de la desinfección con cloro.

1.3 ALCANCES

Mediante la aplicación de los gases oxidantes (ozono, cloro y peróxido de hidrógeno), a muestras de aguas coloreadas con volúmenes y características físico-químicas conocidas, se obtendrán datos para evaluar los sgtes. aspectos:

- a) Cuantificación de la Producción de Gases Oxidantes (cloro y ozono).
- b) Medida de la capacidad oxidante de los gases generados mediante la remoción de compuestos orgánicos coloreados.
- c) Evaluación del riesgo potencial en la salud por la formación de compuestos organoclorados por el uso de

la mezcla de gases oxidantes para el tratamiento de aguas coloreadas.

- d) Análisis de costos comparativos del uso de esta nueva tecnología y los métodos de desinfección con gas cloro.

1.4 ANTECEDENTES

Actualmente, muchas de las poblaciones pequeñas de los países de América Latina y el Caribe, se abastecen de sistemas comunitarios.

Casi todos los planes Nacionales, han aumentado o quieren aumentar la cobertura de abastecimiento de aguas en pequeñas comunidades zonas rurales. Pero la Calidad bacteriológica del agua, no siempre es adecuada, ni confiable.

La mayoría de las personas que habitan las zonas rurales de la selva, su condición económica es muy baja y no pueden satisfacer las necesidades básicas de vivienda, educación y salud.

Las aguas superficiales de la Selva, se caracterizan porque presentan un color amarillo-marrón, originado por la descomposición de las plantas que crecen a lo largo de las riberas de los ríos.

Este color orgánico reduce su aceptabilidad para el para el uso doméstico, uso recreacional y el uso industrial.

Durante las últimas décadas la remoción de Color orgánico ha sido estudiado y las opciones más adecuadas han sido la remoción mediante Coagulación con Sulfato de Alúmina, Sulfato Férrico, Alúmina Activada, Carbón Granular Activada; Floculación y Filtración. Estas técnicas requieren de un costo en productos químicos, materiales e instrumentales; haciéndolos difícilmente ejecutables en las zonas rurales de la selva.

El uso de gas cloro en la desinfección de aguas con alta demanda de cloro, tienen una alta probabilidad de contener sustancias organocloradas, que además de conferir un sabor desagradable al agua, afectan la salud del consumidor.

Desde 1982, la Organización Mundial de la Salud (OMS), a través de su Oficina Regional la Organización Panamericana de la Salud (OPS), promueve proyectos para impulsar el desarrollo tecnológico de los aparatos para la desinfección del agua potable, mediante una Mezcla de Gases Oxidantes producidos in situ (MOGGOD), con miras a utilizarlos en comunidades pequeñas o remotas de las zonas rurales.

El equipo MOGGOD produce los gases oxidantes por la descomposición electroquímica del Cloruro de Sodio, y reúne una serie de ventajas en cuanto a operación y mantenimiento para las zonas rurales.

En 1987, la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica de la Ciudad de México, llevó a cabo pruebas experimentales empleando los gases producidos por el equipo MOGGOD para la remoción de los óxidos de Hierro y Manganeso en aguas de pozo; obteniéndose resultados satisfactorios con el uso de estos gases en un efecto combinado de desinfección-oxidación.

Actualmente existen dos equipos de desinfección en nuestro país, uno en el Centro de Primates de la Ciudad de Iquitos, y el otro en el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS). Este último, se usó para las pruebas experimentales del presente trabajo de investigación.

CAPITULO 2

COLOR ORGANICO EN EL AGUA

2.1 GENERALIDADES

Los compuestos orgánicos solubles que se encuentran dentro de los ácidos coloreados de un río o lago, son producidos como un subproducto durante la descomposición de la vegetación acuática, pueden provenir de:

- a) La extracción acuosa de sustancias de origen vegetal, como hojas y corteza de árboles.
- b) La solución de productos resultantes en el proceso de descomposición de la madera.
- c) La solución de materia orgánica en el suelo.
- d) La presencia de hierro y otros compuestos metálicos.
- e) Una combinación de los procesos descritos.

Los principales constituyentes de color orgánico natural en el agua, son las sustancias húmicas, tales como los ácidos húmicos, ácidos fúlvicos e himatomelánicos. La formación de color en el agua depende del pH, la misma que aumenta con la elevación de éste, la temperatura, el tiempo de contacto, la materia orgánica y el

vegetal disponible, etc.

El color proviene de la descomposición de las plantas acuáticas, durante el crecimiento.

Además, se tiene que el agua coloreada causa interferencia en los análisis colorimétricos por los compuestos de estas aguas.

Otra consecuencia del color de las aguas es su efecto en la productividad autotrófica, según estudios de laboratorio, la adición de materiales húmicos, extraídos de aguas naturales coloreadas, estimulan el crecimiento de las algas, al igual que la adición de color orgánico débilmente acidificado.

Aunque los niveles bajos de color pueden estimular el crecimiento de las algas, aguas altamente coloreados son generalmente improductivas, principalmente porque tienen bajo pH y alcalinidad.

Pero al decrecer la eficacia de la luz como resultado de las concentraciones de color puede limitar la producción de algas.

Se ha asumido que el color orgánico en aguas se deriva del material similar o parecido a los ácidos húmicos derivados de los extractos del suelo; pero estos materiales son originados por la descomposición de las plantas que son abundantes en la orillas de los ríos, lagos y en extractos acuosos de la corteza de árboles de madera.

Según estudios se han encontrado que el color orgánico está compuesto por ligninas, proteínas complejas, polihidroxi-metoxi, ácidos carboxilos y taninos presentes en la oxidación de aguas coloreadas.

Componentes similares fueron encontrados en extractos de tejidos de madera y en suelo con materia orgánica.

Generalmente se cree que el color es biológicamente no degradable, el color persiste al solamente ser introducido en aguas naturales.

Investigaciones de Novak y Goodman refieren, que los componentes orgánicos responsables del color son resistentes a la descomposición biológica.

2.2 NATURALEZA DE LAS SUSTANCIAS HUMICAS

Las sustancias húmicas son estructuralmente complejas, polielectrolíticas, ácidos orgánicos, coloración oscura que aparecen en el agua natural, tanto en las aguas subterráneas como en las aguas superficiales, debido a la descomposición de la materia vegetal que rodea a los ríos y lagos, encontrándoseles tanto en las aguas subterráneas, suelos, sedimentos, así como en las aguas superficiales.

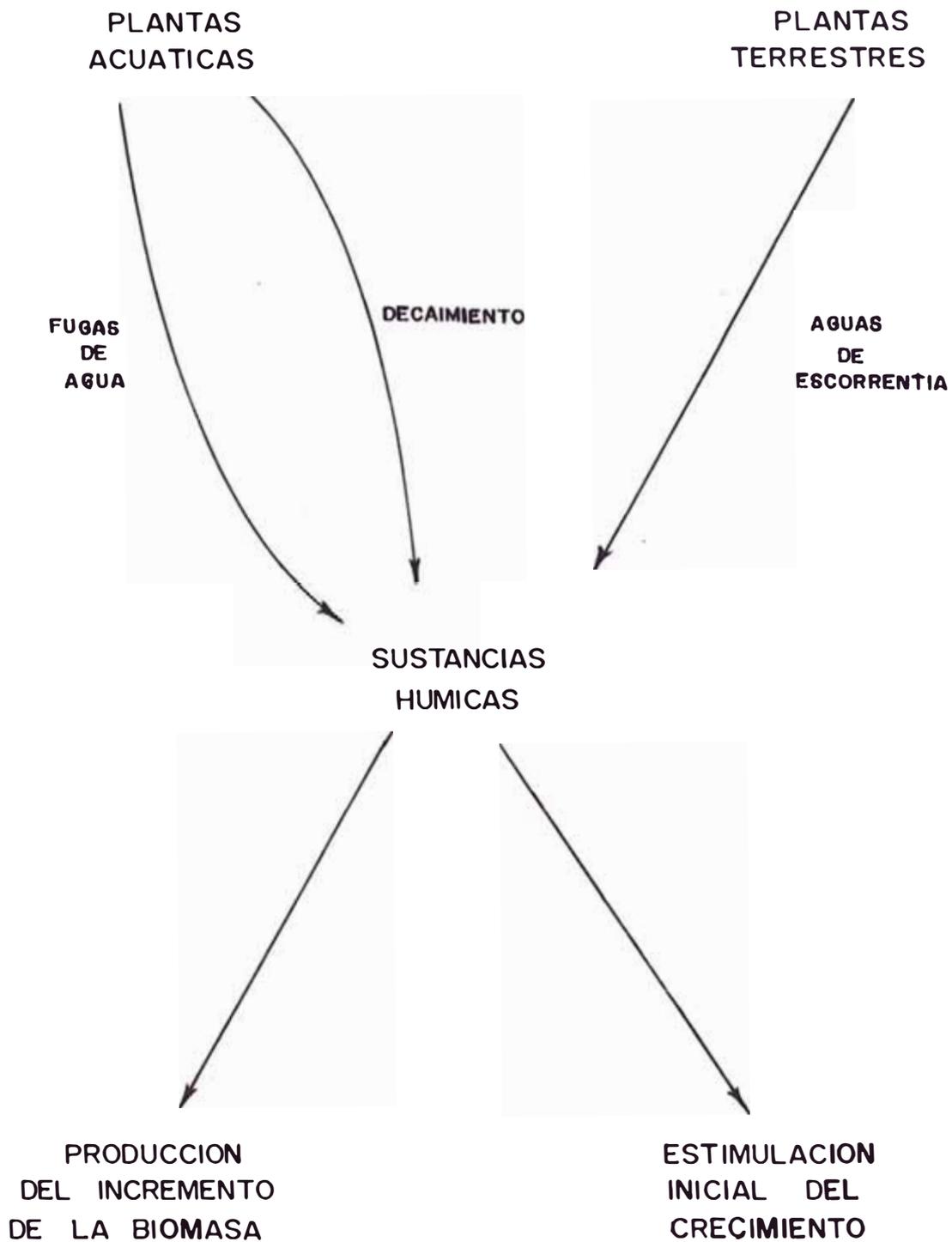
Están compuestas por moléculas aromáticas de alto peso molecular que muestran características polianiónicas en soluciones neutras o alcalinas.

CUADRO 2.1
 CARACTERISTICAS DE LOS COMPONENTES ORGANICOS DE ORIGEN
 NATURAL EN AGUAS SUPERFICIALES

CARACTERISTICA	SUSTANCIAS HUMICAS		
	ACIDOS FULVICOS	ACIDOS HIMATOMELANICOS	ACIDOS HUMICOS
OCURRENCIA	Más predominante	Intermedio	menos predominante
TAMAÑO DE PESO MOLECULAR	Bajo peso molecular 200-1000	Tamaño creciente	Alto peso molecular hasta 200.000
PESO EQUIVALENTE	Bajo peso equivalente	Intermedio	Alto peso equivalente
DENSIDAD DE CARGA	Alta densidad de carga	Intermedio	Bajo densidad de carga
DISPERSION DE LA LUZ	Bajo	Intermedio	Alto

CUADRO 2.2
 CARACTERISTICAS QUIMICAS DE LAS SUSTANCIAS HUMICAS

COMPUESTOS HUMICOS	COMPONENTES EN PORCENTAJE EN PESO				
	CARBON	HIDROGENO	NITROGENO	OXIGENO	HIERRO
FULVICO	42, 54	5.7	2.0, 1.2	50.8	0.15
HIMATOMELANICO	49	5.1	1.2	44.4	-
HUMICO	29, 40	5.9	1.9, 2.1	62.9	0.20



RESUMEN DEL ORIGEN Y EFECTOS DE LAS
SUSTANCIAS HUMICAS EN LAS AGUAS SUPERFICIALES

Figura 2.1

Las sustancias Húmicas se dividen en 4 grandes grupos:

- a) Acido Húmico, que es soluble en soluciones básicas. Insoluble en soluciones ácidas y alcohol.
- b) Acido Fúlvico, soluble en soluciones básicas y en soluciones ácidas.
- c) Acidos Himatomelánicos, soluble en hidróxido de sodio y alcohol. Insoluble en ácidos minerales.
- d) Humina, es una sustancia húmica similar a un polímero, insoluble en agua e hidróxido de sodio, insoluble en ácidos minerales y alcohol.

De estas sustancias mencionadas, las que mayormente se encuentran en las aguas naturales son los ácidos húmicos y los ácidos fúlvicos, los que juntos forman el 80% del peso de todo el material orgánico natural.

En estudios de degradación de sustancias húmicas, revelaron la presencia de grupos alcohólicos -OH, fenólicos -OH, carboxilo, metoxilo y grupos quinoideos como unidades importantes en su estructura.

Compuestos nitrogenados tales como aminoácidos y polipéptidos tienden a ser separados en cantidades variables de los productos en descomposición.

2.2.1 ACIDOS HUMICOS

Son ácidos orgánicos con estructuras complejas, solubles en soluciones básicas a pHs altos como el hidróxido de sodio, pero insoluble en soluciones ácidas como los ácidos minerales y el alcohol.

Poseen un peso molecular alto en el rango de 2000 a 200,000. Son un 30% aromáticos, tienen constituyentes alifáticos. No contienen algunas unidades fenólicas, pero son más bien ácidos polyhidroxy carboxílico.

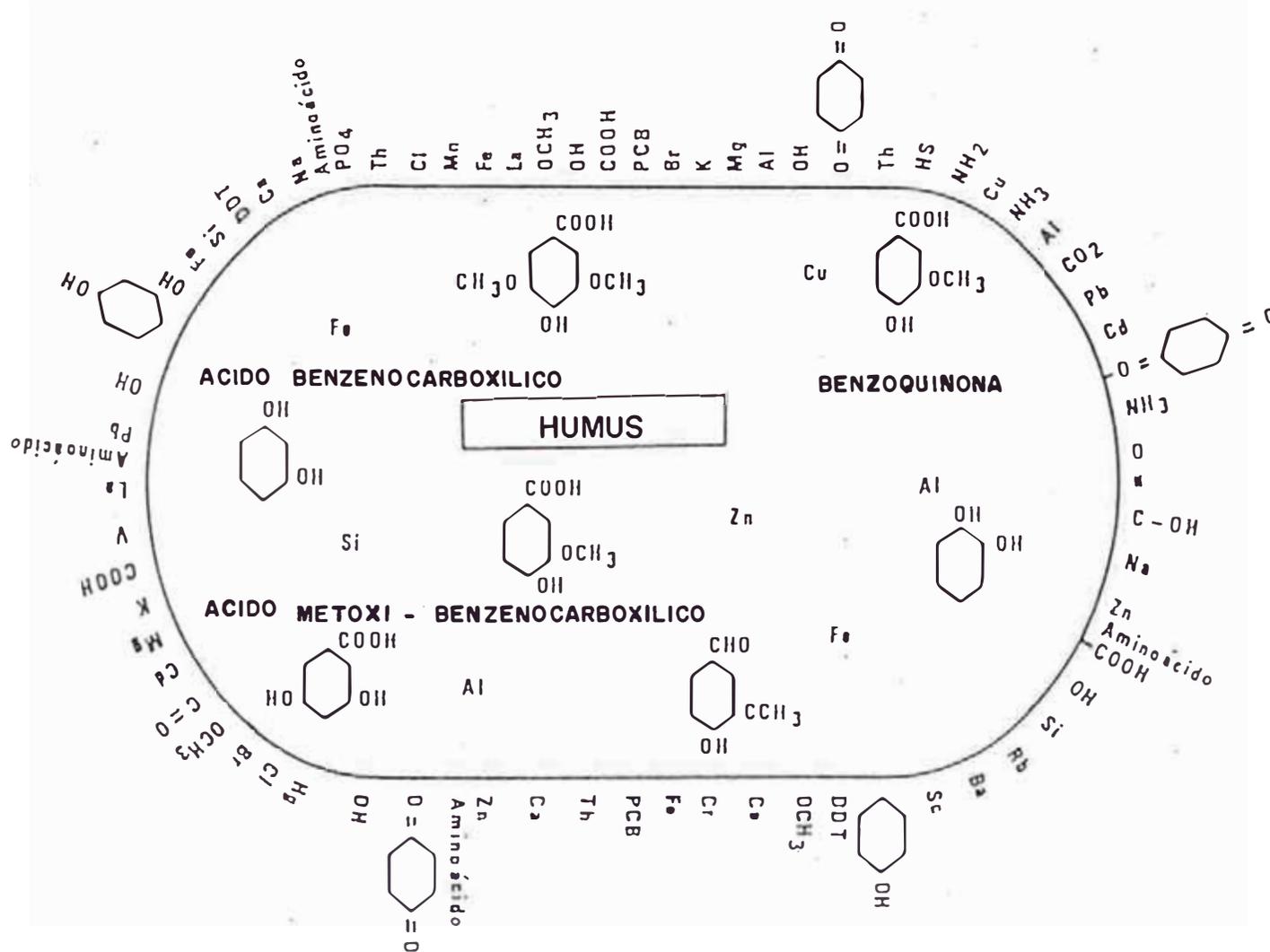
Son más fácilmente coagulables que los ácidos fúlvicos.

Los ácidos húmicos corresponden al 5% del carbono orgánico disuelto en las aguas superficiales.

Son llamados también ácidos orgánicos amarillos porque es el color que le imparten al agua.

Su presencia puede reducirse debido a la productividad biológica y a la adsorción de unir metales. Son determinados fotométricamente después de la extracción de la muestra; su aspecto de absorción es muy característico y muestra el incremento fijo como longitud de onda que decrece de 100 a 200 μ .

Son resistentes al ataque microbiano.



MODELO DE LA ESTRUCTURA DE LOS ACIDOS HUMICOS

Figura 2.2

2.2.2 ACIDOS FULVICOS

Son ácidos orgánicos con estructura compleja, solubles en soluciones ácidas como los ácidos minerales y en soluciones básicas como el hidróxido de sodio, es decir a toda condición de pH.

Poseen un alto peso molecular, más ligero que el de los ácidos húmicos, su peso se encuentra entre 200 a 1000.

Los ácidos fúlvicos corresponden al 45% del carbono orgánico disuelto en las aguas superficiales, son el mayor componente del color orgánico y predominan en las aguas naturales coloreadas.

Poseen la menor intensidad del color (amarillo) y son el 16% aromáticos aproximadamente.

Según estudios realizados la cloración de ácidos fúlvicos produce cloroformo, en cantidades menores que las que se producen en la cloración de los ácidos húmicos.

ESTRUCTURA DE LA MOLECULA FULVICA

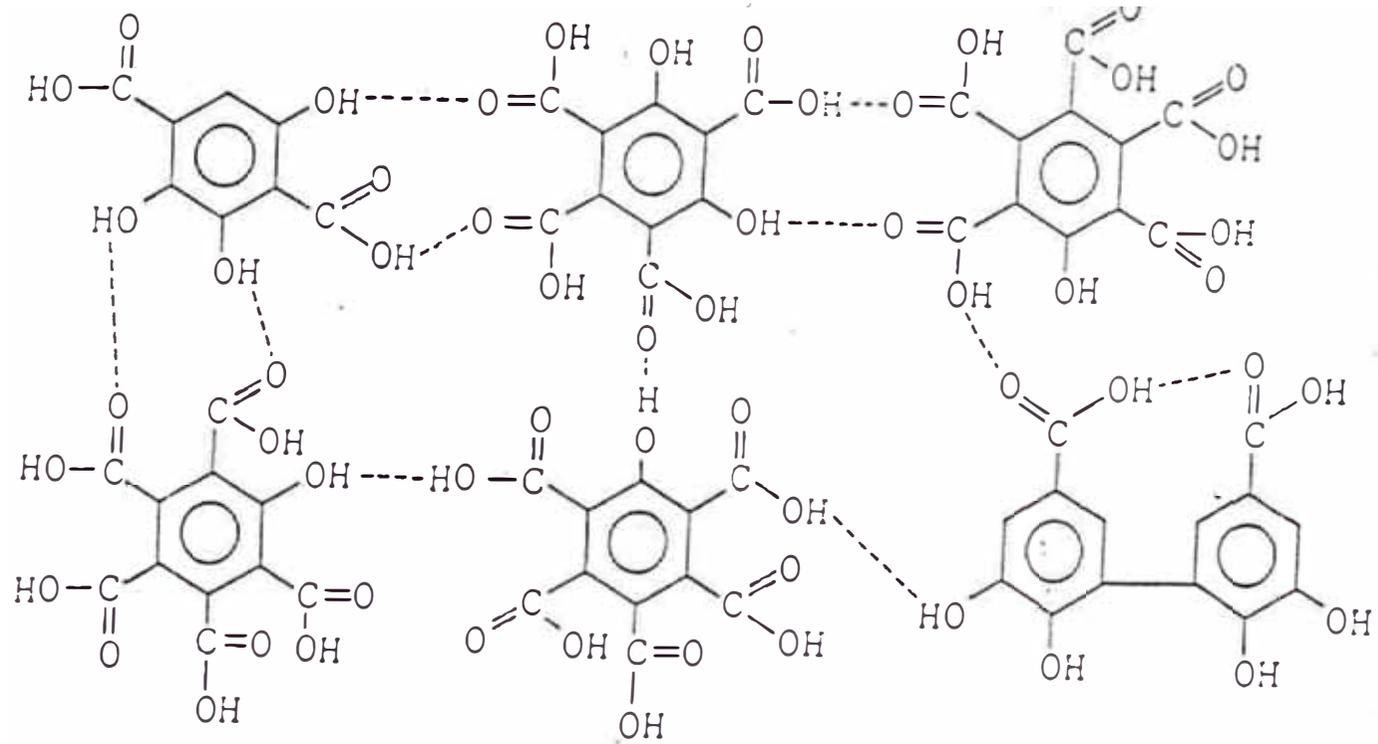


Figura 2 3

CAPITULO 3

OXIDACION CON CLORO

3.1 GENERALIDADES

El cloro es un gas verde, es irritante altamente tóxico y muy corrosivo, pesa dos veces y medio más que el aire. Constituye el segundo miembro de la tabla periódica y una capa externa de 7 electrones rodea su núcleo. A causa de que su estructura posee una gran estabilidad, los átomos tienen una fuerte tendencia a adquirir un electrón extra para completar una capa de ocho. La tendencia se manifiesta a sí misma como una tendencia oxidante. Por consiguiente, el cloro es un poderoso agente oxidante y funciona como tal en la mayor parte de sus reacciones químicas.

El cloro se produce desintegrando por electrólisis de una solución de cloruro de sodio. De los desinfectantes, el cloro gaseoso es el más utilizado en todo el mundo.

Debido a que el poder desinfectante de las diferentes especies de cloro varía mucho, se debe comprender con profundidad la química de la cloración.

El cloro es un agente oxidante que altera la disposición química de las enzimas de las bacterias produciendo su inactivación.

Los compuestos del cloro más frecuentemente utilizados son el hipoclorito de sodio y el hipoclorito de calcio, los cuáles se agregan a los abastecimientos de agua utilizando algunos de los numerosos métodos existentes produciendo reacciones en el agua.

Como una agente oxidante fuerte, el cloro reacciona con las sustancias reductoras para producir la demanda de cloro. Para dosificar la cantidad apropiada se establece la demanda de cloro previamente, que dependerá del grado de contaminación del agua y se determina la cantidad de cloro en mg/lt, necesaria para que luego de un tiempo de contacto quede un residual de cloro en mg por litro.

El cloro y sus compuestos son importantes en la Ingeniería Sanitaria, por sus aplicaciones como desinfectante, como oxidante, o ambos, tiene innumerables beneficios tanto en lo concerniente a la preservación de los recursos hídricos, protección de los conductos colectores de efluentes, protección de la salud de los usuarios de los sistemas públicos de abastecimiento de agua, como en lo referente a su participación en los procesos y operaciones unitarias de tratamiento de efluentes líquidos.

La cloración puede ser usada para los siguientes objetivos:

- Desinfección

Remoción de amonio y sus compuestos; y de otros compuestos orgánicos nitrogenados

- Remoción de compuestos orgánicos diversos

- Remoción de compuestos orgánicos oxidables

- Remoción de color.

3.2 REACCIONES QUIMICAS

3.2.1 HIDROLISIS

Al adicionar cloro en el agua se produce la siguiente reacción:



Esta reacción de hidrólisis que se produce en fracciones de segundos es reversible.

Además, el cloro como ácido hipocloroso, se disocia en iones de hidrógeno (H^+) e iones de hipoclorito (OCl^-) según la ecuación reversible:



Estos compuestos de cloro que existen en el agua como el ácido hipocloroso (HOCl) y el ión hipoclorito (OCl^-) se les llama cloro activo libre.

El (HOCl) es mucho más eficaz como desinfectante que el ión (OCl⁻), el que para los efectos prácticos no se le considera como desinfectante.

Las soluciones de hipocloritos, como el cloruro de calcio y el hipoclorito de sodio, establecen el mismo equilibrio de ionización en el agua.

Por ejemplo con el hipoclorito de calcio, las reacciones que establecen el equilibrio son:



Las reacciones (I) y (II) dependen del pH del agua.

Así, la primera predomina con valores bajos del pH y la segunda con valores altos.

Las cantidades de ácido hipocloroso y de iones de hipocloritos formadas en las reacciones anteriores equivalen en capacidad oxidante a la cantidad de cloro original.

3.2.2 OXIDO-REDUCCION

Siendo el cloro un fuerte oxidante puede reaccionar con muchas de las sustancias orgánicas e inorgánicas presentes en el agua.

En las reacciones que se producen, el cloro actúa

CUADRO 3.1

REACCIONES DE CLORO EN EL AGUA			
	HIDROLISIS	OXIDACION - REDUCCION	
Reacciona con	H ₂ O	Nitrógeno Amoniacal	Materia Orgánica
Produce	HOCl, OCl	NH ₂ Cl, NHCl ₂ O	Ma, SO ₂ , H ₂ S, etc.
		NCL ₃	Cloruro, HCl, NO ₂ , etc.
Se denomina	Cloro libre	Cloro combinado	Demanda

con valencia positiva, se forman productos (cloraminas) que tienen propiedades desinfectantes bien definidas y un poder de oxidación suficiente como para combinarse con indicadores de cloro, tales como la ortodolina y producir con ellos una coloración que permita conocer la concentración de cloro remanente en el agua.

En el tipo de reacciones de reducción el cloro actúa con valencia negativa, se forman compuestos que no tienen capacidades desinfectantes y que no reaccionen con los indicadores de cloro residual, cuando se hacen las determinaciones correspondientes.

Esta proporción de cloro que aparentemente se ha "consumido", pues no es detectable como cloro residual, ni utilizable como desinfectante, recibe el nombre de demanda, y se define como la diferencia entre el cloro aplicado medido después de un determinado tiempo de contacto.

3.2.3 OXIDACION DE LA MATERIA ORGANICA

La materia orgánica procedente de la descomposición de residuos vegetales que dan origen a las sustancias húmicas (ácidos fúlvicos, ácidos húmicos e himatomelánicos), pueden ser oxidados por el cloro en forma lenta, dosificando en cantidades suficientes, formando compuestos responsa-

bles del mal olor y sabor, tales como fenoles y aminoácidos.

Debido a que la materia orgánica en los abastecimientos de agua potable se encuentra estrechamente relacionada con su color, su demanda orgánica probable de cloro se puede calcular, a partir de la intensidad de color.

La demanda orgánica de cloro y en aguas coloreadas guarda alguna relación con su DBO, o más precisamente con su DQO.

Estudios realizados al respecto, han demostrado que el cloro oxida a la materia orgánica presente, mencionándose niveles de remoción de hasta 40% de DBO₅.

Reacciones producidas con Compuestos Orgánicos

Las aguas coloreadas con alto contenido de materia orgánica disuelta, tienen componentes de una enorme variedad de estructuras químicas las cuales dependen del origen de la misma. Aún así, se espera la presencia de ciertos tipos de materia orgánica. Por ejemplo, se espera encontrar carbohidratos, ácidos grasos y proteínas, a diferentes niveles de biodegradación y otras materias de origen vegetal y animal; aceites y grasas, insecticidas, surfactantes y otros residuos sintéticos. Estos compuestos orgánicos tienen estructuras alifáticas y aromáticas, y contienen oxígeno,

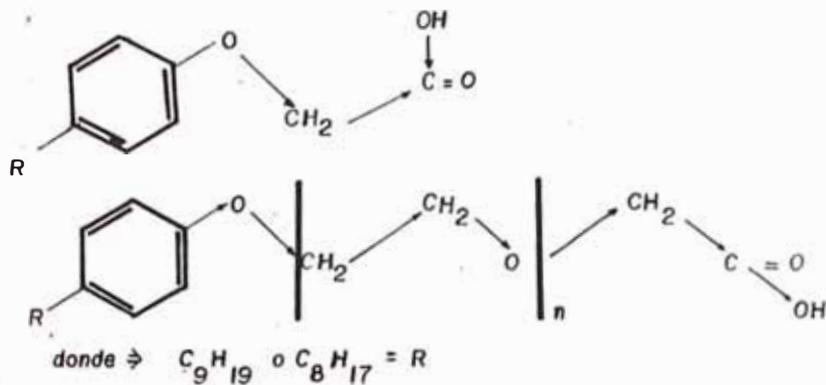
y nitrógeno. Por ejemplo los productos de la semibiodegradación de ciertos tipo de surfactantes, los ácidos alkilfenoxi carboxílicos los cuales tienen las estructuras químicas semejantes a la estructura de la Figura 3.1.a

En general, la estructura fenólica y los compuestos alifáticos no saturados son bastantes comunes. Por ejemplo, los derivados de la lignina, los ácidos húmicos y fúlvicos, los ácidos grasos no saturados, etc.

En el caso se compuestos orgánicos, los electrones más reactivos y por lo tanto los compuestos más fáciles de combinar serán aquellos que en su estructura tengan doble enlace. En la cloración de compuestos orgánicos se reconocen ciertos mecanismos típicos. Por ejemplo:

1. Reacción con el anillo aromático, especialmente el fenólico. Ver Figura 3.1.b

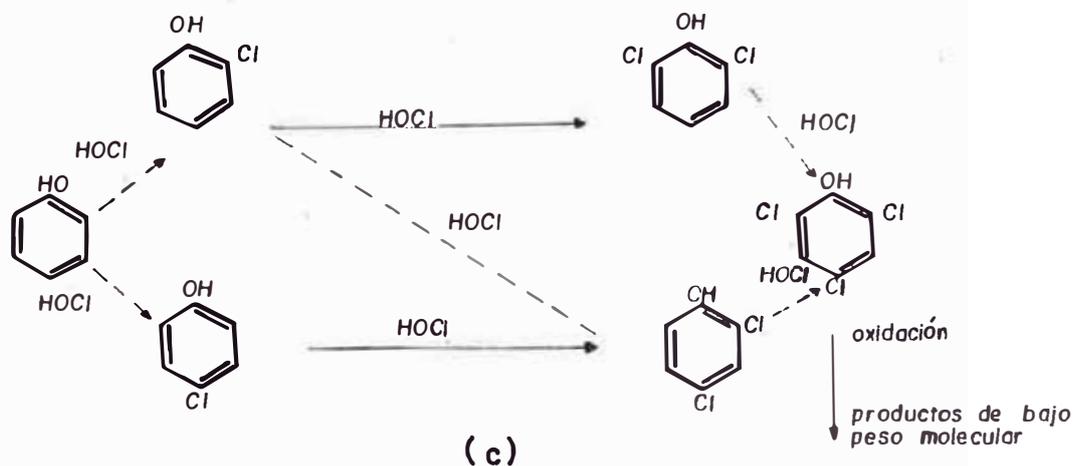
La cloración puede ser extensiva, es decir, puede encontrarse la serie de fenoles clorados hasta pentaclorofenol. La actividad de cada anillo depende del tipo de compuesto de origen, cabe anotar el fuerte olor que presentan estos compuestos. Es posible que con una cloración intensiva y a concentraciones más elevadas se produzcan compuestos orgánicos clorados de menor peso



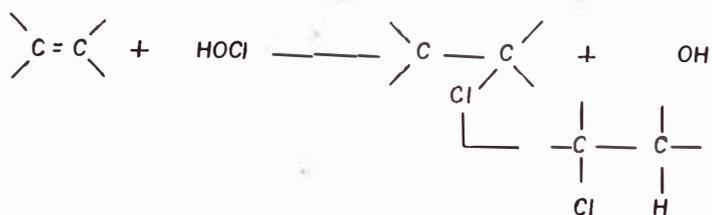
(a)



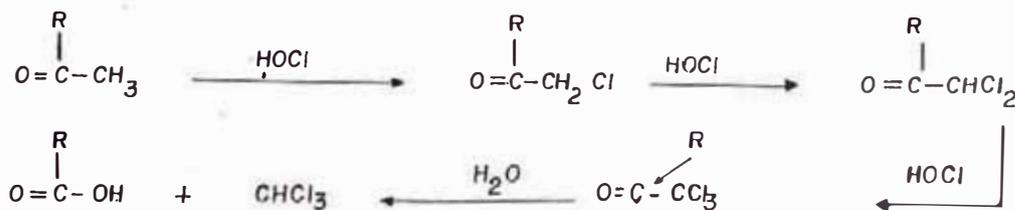
(b)



(c)



(d)



(e)

Figura 3.1

molecular como los trihalometanos. Ver Figura 3.1.c

2. Adición a enlaces dobles. Ver Figura 3.1.d

3. Formación de trihalometanos. Se tipifica el mecanismo detallado en la Figura 3.1.e

También se encuentra la ruptura del anillo aromático en la formación de cloroformo.

Según Norwood, éstos no son los únicos mecanismos en la formación de compuestos organoclorados, ya que a menudo se encuentran compuestos que no resultarían de estos mecanismos. Norwood sugiere, que aún falta mucha investigación para poder reconocer todos los procesos dentro de un sistema tan complejo como pueden ser las aguas naturales y residuales.

De igual modo aún cuando se han identificado compuestos derivados de la cloración, hay muchos otros que aún no han podido ser determinados.

3.3 REMOCIÓN DE COLOR

Los métodos más comunes para remover el color son: coagulación con sales de aluminio y férricas; pero además existen gases oxidantes que reducen el color orgánico en el agua.

El más usado de esos oxidantes es el cloro.

Por más de 15 años, en Miami Fla, se trata el agua coloreada mediante cloración.

El proceso de ablandamiento reduce el color del agua en aproximadamente 80 a 25-30 unidades.

Una dosis de cloro de 12 ppm reduce el color a un valor remanente menor que 10 unidades.

Los efectos del cloro, dióxido de cloro y ozono en el color de aguas naturales han sido evaluados, burbujeando gases en forma simultánea, a muestras iguales de 200 ml.

La DQO de las muestras fueron determinadas de acuerdo a los procedimientos de los métodos estándar, y el valor del color residual fue medido en la otra muestra después de una apropiada dilución.

En muestras oxidadas con cloro y dióxido de cloro, la obtención de excesos de esos químicos con cristales de tiosulfato de sodio fue necesario antes de determinar los valores de color por el método colorimétrico.

3.4 TRIHALOMETANOS. MECANISMOS Y FACTORES PARA SU FORMACION

Los trihalometanos constituyen un grupo de compuestos orgánicos, como su nombre lo indica, se consideran derivados, para su nomenclatura, del metano, CH_4 , en cuya molécula tres átomos de hidrógeno han sido sustituidos por igual número de átomos de los halógenos cloro, bromo o yodo. Esos tres átomos de hidrógeno pueden

estar reemplazados por una sola clase de halógeno como es el caso del triclorometano, o por diferentes de tales elementos como sucede en el bromoclorometano.

Algunos del grupo poseen nombres especiales: cloroformo, CHCl_3 ; bromoformo, CHBr_3 , y yodoformo, CHI_3 .

Aunque para ser denominados se los mire como procedentes del metano, este gas nada tiene que ver con su formación real en las aguas que se desinfectan con cloro, pues en dicho medio ellos se originan a partir de productos orgánicos mucho más complejos que el metano y que son de común ocurrencia en las aguas superficiales.

Todos los trihalometanos contienen en su molécula un solo átomo de carbono.

En las condiciones ordinarias, los trihalometanos dominantes en las aguas potabilizadas son el cloroformo y el bromodiclorometano; frecuentemente se hallan también el dibromoclorometano y el bromoformo; el yododiclorometano y el yodobromoclorometano que han sido detectados.

Cuando se habla de trihalometanos totales, ello incluye la suma aritmética de los cuatro primeros mencionados.

Desde hace 89 años, se viene utilizando el cloro como desinfectante universal de las aguas superficiales,

Cuadro 3.2

FORMULAS ESTRUCTURALES Y NOMBRES DE LOS TRIHALOMETANOS					
Fórmula		Nombre			
1.	$\begin{array}{c} \text{Cl} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{Cl} \\ \\ \text{Cl} \end{array}$	Triclorometano Cloroformo CHCl_3	6.	$\begin{array}{c} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{Cl} \\ \\ \text{Br} \end{array}$	Bromocloroyodometano CHClBrI
2.	$\begin{array}{c} \text{Br} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{Cl} \\ \\ \text{Cl} \end{array}$	Bromodichlorometano CHBrCl_2	7.	$\begin{array}{c} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{I} \\ \\ \text{Cl} \end{array}$	Clorodiyodometano CHClI_2
3.	$\begin{array}{c} \text{Br} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{Cl} \\ \\ \text{Br} \end{array}$	Dibromoclorometano CHBr_2Cl	8.	$\begin{array}{c} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{Br} \\ \\ \text{Br} \end{array}$	Dibromoyodometano CHBr_2I
4.	$\begin{array}{c} \text{Br} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{Br} \\ \\ \text{Br} \end{array}$	Tribromometano (Bromoformo) CHBr_3	9.	$\begin{array}{c} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{Br} \\ \\ \end{array}$	Bromodiyodometano CHBrI_2
5.	$\begin{array}{c} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{Cl} \\ \\ \text{Cl} \end{array}$	Dicloroyodometano CHCl_2I	10.	$\begin{array}{c} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{I} \\ \\ \end{array}$	Triyodometano (Yodoformo) CHI_3

subterráneas o residuales.

La práctica de cloración de las aguas es sencilla y de bajo costo, en comparación con otros desinfectantes los cuales también carecen de la propiedad de un poder residual. Pero el desarrollo y expansión de las ciudades, ha ido incrementando cada vez más la polución o contaminación de las aguas, lo que hace cada día más difícil la tarea de desinfección.

Estudios realizados en los EE.UU., dieron como resultado, que la precloración de aguas altamente contaminadas con materia orgánica, tienden a formar compuestos organohalogenados o haloformos o haloalcalinos y organohaluros.

En 1974, J.J. Rook sugirió la posibilidad de que los metanos halogenados se formen por la reacción entre el cloro usado como desinfectante y el material húmico presente en el agua.

En la misma época el Instituto de Cáncer de los Estados Unidos reportó que el cloroformo (un THM) era potencialmente cancerígeno para los animales. Lo que promovió estudios sobre la identificación estructural de los compuestos húmicos, su origen, mecanismos de reacción y alternativas de control de los subproductos de la cloración.

La presencia de los trihalometanos en aguas potables no pudo detectarse sino hasta el año 1974, por la poca

sensibilidad de la analítica que no permitía medir pequeñas concentraciones en las muestras de agua.

Actualmente, los trihalometanos son detectados y cuantificados mediante técnicas cromatográficas.

MECANISMOS DE FORMACION DE TRIHALOMETANOS

La formación de los trihalometanos durante la desinfección del agua con cloro libre, obedece a un complicado mecanismo por el cuál las formas químicas del cloro reaccionan con los productos de descomposición del humus a que el agua trae consigo.

La formación de trihalometanos durante la cloración del agua, probablemente se debe a que el precursor es un material natural presente en el agua.

Esto puede ser:

- Materia húmico (ácidos húmicos)
Materia fúlvico (ácido fúlvico)
- Clorofilas
- Algas

La estructura de la molécula húmica tal como se muestra en la Figura 3.2, en la que se puede observar una masa amorfa de un heteropolímero condensado con grupos funcionales que sobresalen de su superficie, siendo estos grupos los que reaccionarían en primer lugar con el cloro para formar trihalometanos, clorofenoles y otros compuestos orgánicos clorados. Los compuestos

ESTRUCTURA DE LA MOLECULA HUMICA

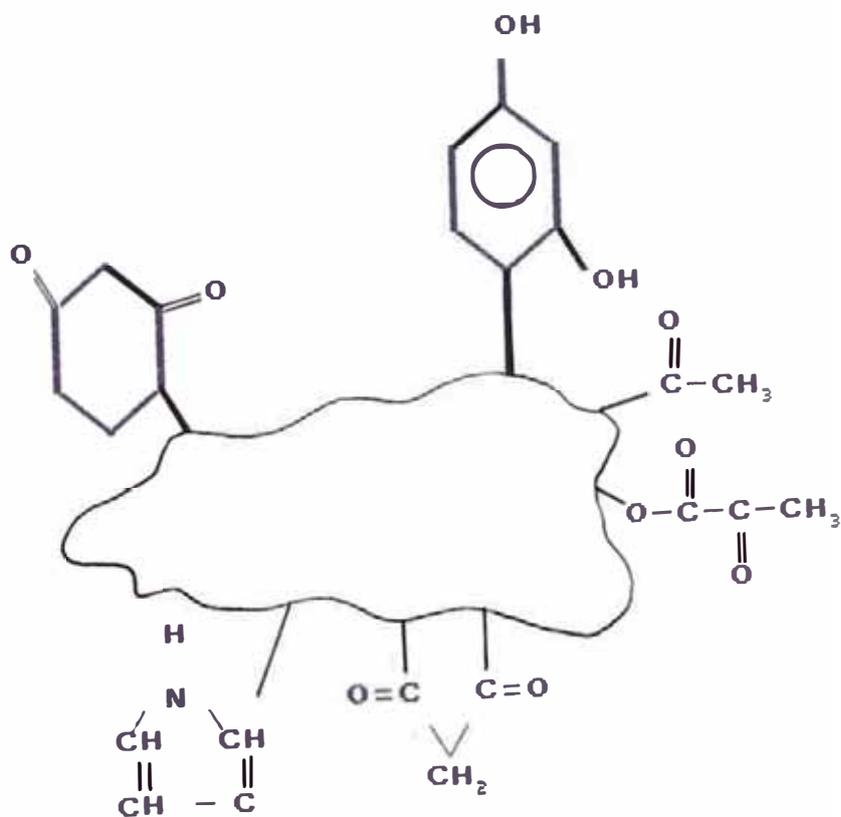


Figura 3.2

más fáciles de combinar son aquellos de estructura con dobles enlaces.

En la formación de THM se propone el siguiente mecanismo, el cuál consiste en reacciones alternadas de hidrólisis y halogenación donde la velocidad de ionización es el factor determinante.

Este posiblemente sea uno de los mecanismos de formación de los trihalometanos, pudiendo existir otras rutas.

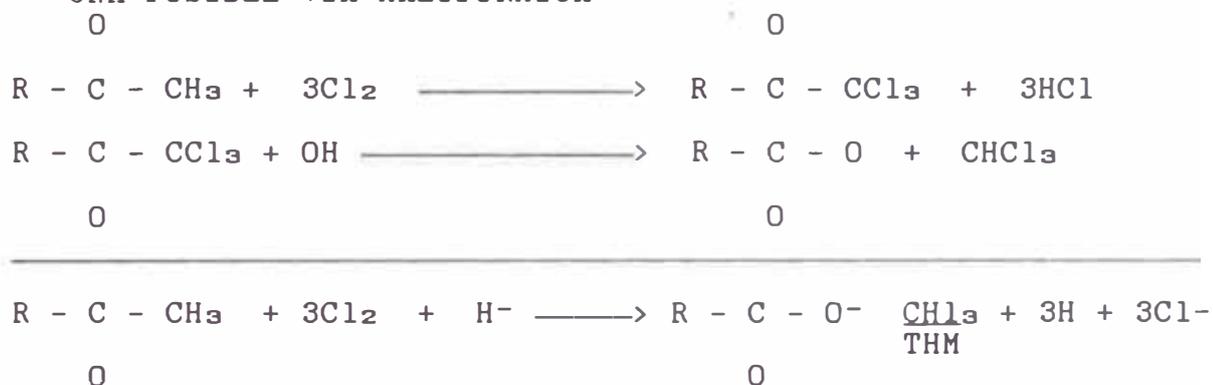
La formación de este tipo de compuestos es el proceso más lento de todas las reacciones que se producen durante el tratamiento de agua.

CUADRO 3.3

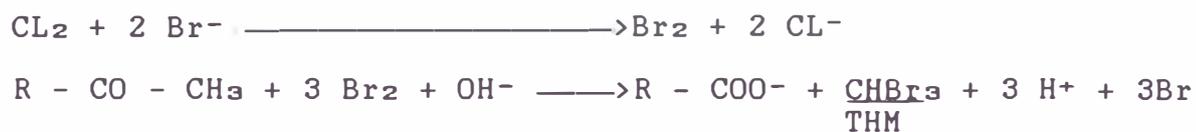
FORMACION DE LOS TRIHALOMETANOS EN LAS AGUAS NATURALES
CLORADAS

A. CLORO LIBRE + PRECURSORES -----> THMs + OTROS PRODUCTOS
(Residual) (Acido Húmico)

UNA POSIBLE VIA HALOFORMICA



B. EN PRESENCIA DE BROMUROS



FACTORES QUE AFECTAN LA FORMACION

Los Trihalometanos en el agua se forman como productos de la reacción de las sustancias químicas usadas en el tratamiento y los compuestos orgánicos naturales presentes en el agua.

Los factores más importantes que afectan la cinética de reacción y en algunos casos el producto final, se describen a continuación:

Efecto del Tiempo

La formación de trihalometanos en condiciones naturales no es instantánea. En algunas circunstancias su formación puede completarse en menos de 1 hora; en otras es posible que se requieran varios días antes de que ocurra la máxima producción de trihalometanos. La reacción se hace menos lenta, cuando aumenta la temperatura o el pH, y en presencia de bromuros.

Efectos de Temperatura

La temperatura alta favorece la formación de trihalometanos. En el Gráfico 3.1, señala la velocidad de la formación del cloroformo a 3°, 25° y 40°C.

Las curvas muestran una típica dependencia de la temperatura, por cada 10°C de incremento, se eleva el doble la tasa de formación de trihalometanos.

Las variaciones estacionales, de la producción de los trihalometanos, en plantas de tratamiento son en gran parte, efectos de temperatura.

Efectos del pH

Se ha sido comprobado que a la tasa de formación de los trihalometanos, depende del pH.

En general, la formación se eleva con el incremento del

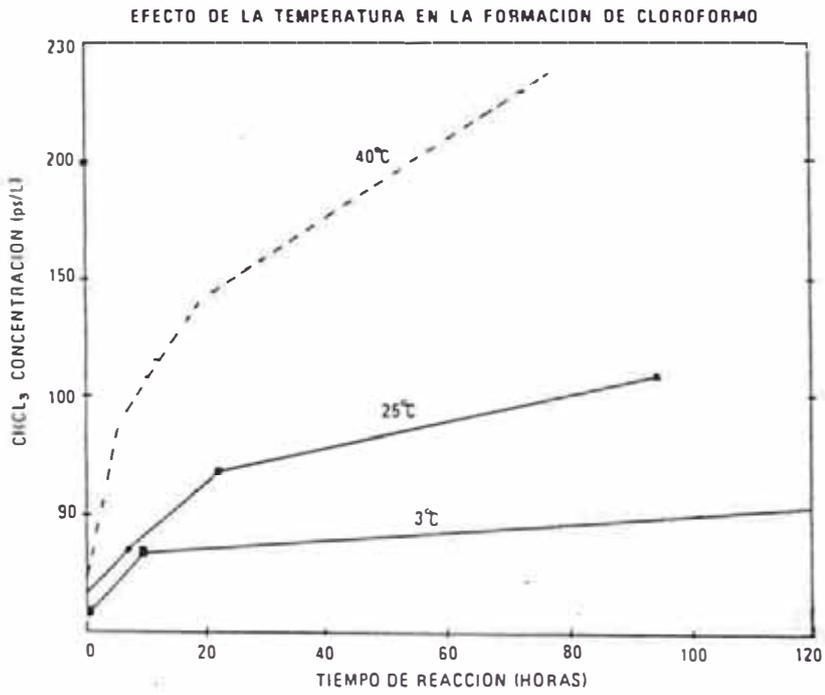


Gráfico 3.1

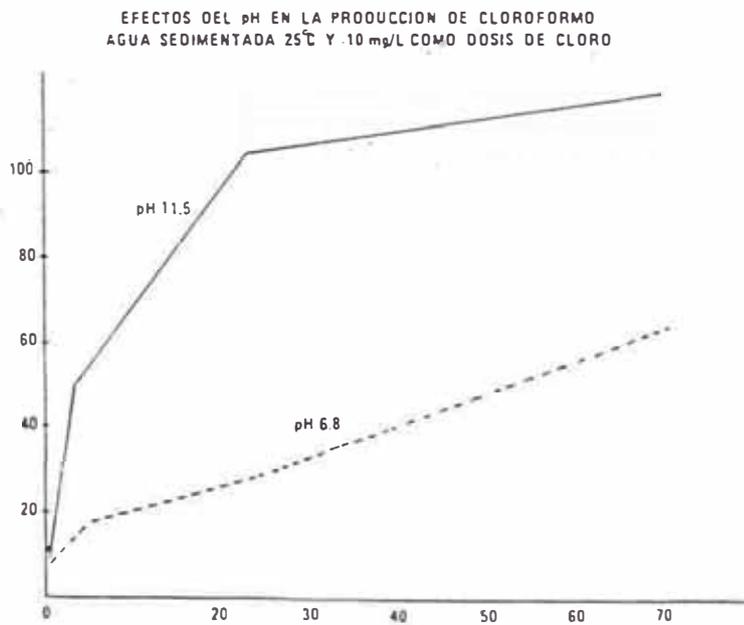


Gráfico 3.2

valor del pH para las reacciones entre el cloro libre y la mayoría de los precursores, debido a que la macromolécula del precursor húmico se abriría por repulsión de las cargas negativas a niveles altos de pH, incrementando así la disponibilidad de sitios activos adicionales en la molécula del precursor.

Resultados de investigaciones realizadas, han demostrado una fuerte dependencia del pH, incrementando al triple de la formación por cada unidad de aumento del pH.

Este aumento en la tasa de producción de los trihalometanos es de esperarse, ya que la del haloformo aumenta por el efecto de las por bases.

En cambio, a menor pH, se produce menos cantidad de trihalometanos, se reduce en un 50% de formación cuando de pH 9 se lleva a pH 7. (Ver Gráfico 3.2)

Efecto de la Dosis y Tipo de Cloro

Se ha demostrado que la dosis de cloro, influye en la formación de cloroformo.

Los trihalometanos se originan mediante la conocida reacción del haloformo, la que tendría lugar entre el cloro o algún otro halógeno oxidante y los compuestos orgánicos precursores. Una vez que la demanda de cloro se satisface, el cloro residual comienza a reaccionar con cualquier material orgánico disponible. Se forma menor cantidad de trihalometanos cuando se adiciona

menor cantidad de cloro.

Se ha comprobado también el importante fenómeno de que cuando las aguas se desinfectan con cloro combinado (cloraminas) no hay formación de trihalometanos o éstos se reducen notablemente en comparación con los originados en el empleo de cloro libre.

Efecto de la Concentración y Características de los precursores

El incremento en la concentración del ácido húmico en presencia de un exceso de cloro e igualdad de otras condiciones, causa un aumento en la producción de trihalometanos en proporción directa a la dosis de ácido húmico.

Se han encontrado resultados similares en la producción de trihalometanos en los análisis de aguas naturales, con determinadas concentraciones de Carbono Orgánico Total y otras que tenían concentraciones análogas de ácido húmico. Sin embargo, cuando se comparan aguas de diferentes fuentes, sólo se han hallado relaciones aproximadas entre su contenido de COT y la producción de trihalometanos. Esto se atribuye a que probablemente los precursores no son iguales en las distintas localidades aunque sean de origen natural similar.

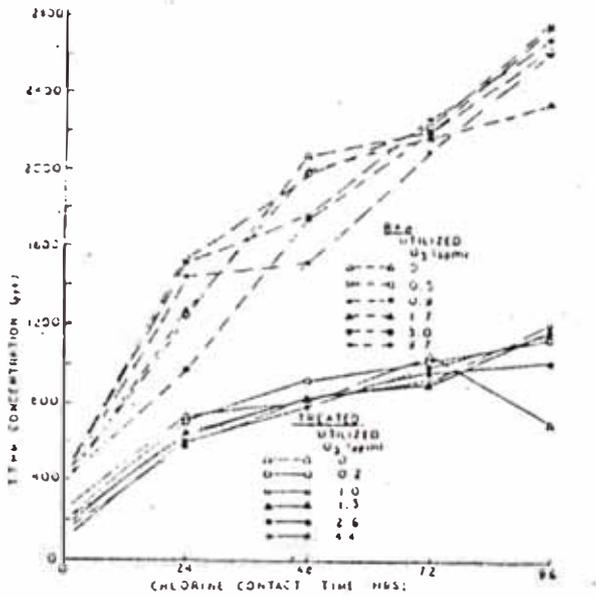
Efecto de los Bromuros

Se ha comprobado que los bromuros son precursores en la formación de los trihalometanos, tienen un efecto acentuado en la formación de éstos. Se ha manifestado que el bromuro afecta, tanto la tasa de reacción como la cantidad total de trihalometanos.

En presencia de Cl_2 , el bromuro es oxidado a intermedios como (Br_2 , HOBr y OBr^- , con algunos BrCl y BrCl_5) los cuáles participan en la reacción con los precursores orgánicos. El bromo competiría más efectivamente que el cloro por los sitios activos de las moléculas húmicas precursoras.

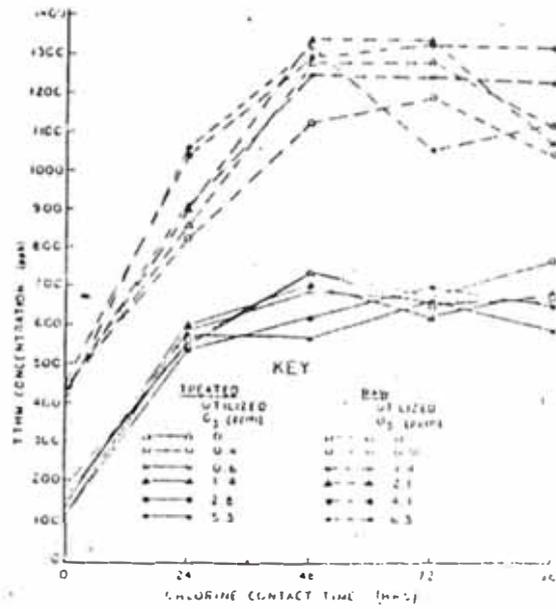
La presencia de bromuros en una muestra de agua presume, ser un buen indicador para la formación de trihalometanos.

EFECTOS DEL CLORO Y EL OZONO EN LA FORMACION DE THMs



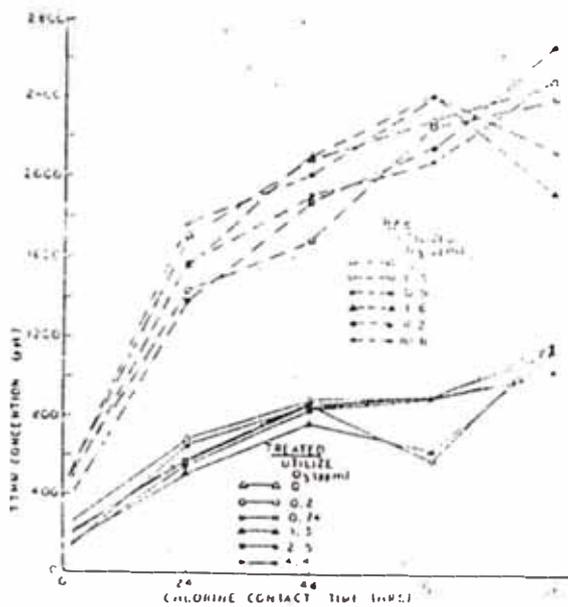
(a)

Concentración de THMs en aguas crudas tratadas con Mg del lago WASHINGTON en función del tiempo de reacción del cloro y ozono



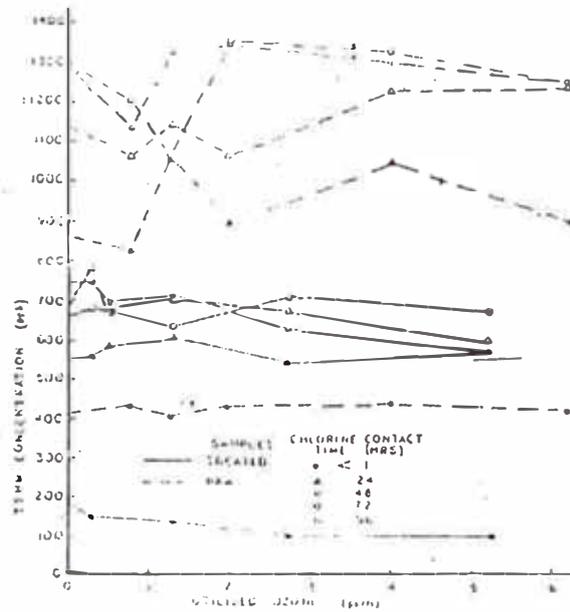
(b)

Concentración de THMs en aguas crudas y tratadas con Mg del lago WASHINGTON en función del tiempo de reacción del cloro y ozono



(c)

Concentración de THMs en aguas crudas y tratadas con Mg del lago WASHINGTON en función del tiempo de reacción del cloro y ozono



(d)

Concentración de THMs en aguas crudas y tratadas con Mg del lago WASHINGTON en función del tiempo de reacción del cloro y ozono

Figura 3.3

3.5 EFECTOS EN LA SALUD DEL CLORO Y DERIVADOS CLORADOS PRESENTES EN EL AGUA DE CONSUMO HUMANO

El cloro es irritante para ojos, membranas mucosas, órganos respiratorios y afecta al cabello.

En exposiciones prolongadas a altas concentraciones de cloro pueden causar efectos muy graves. Debido a su olor picante característico, trazas de cloro no son inmediatamente percibidos en la mayor parte de veces.

El cloro es particularmente irritante para personas que sufren de asma y ciertos tipos de bronquitis crónica, en estas personas los síntomas son siempre más graves que las otras.

También los individuos que presentan reacciones alérgicas después su exposición al cloro, incrementan el grupo de personas de alto riesgo.

Las reacciones fisiológicas para diferentes concentraciones de cloro gaseoso, son mostrados en el cuadro sgte.:

Partes de Cloro Gaseoso por partes por millón

Leve irritación en algunas horas de exposición	1.0
Olor perceptible	3.0
Cantidad máxima que puede ser respirada por 1 hora tiene efectos serios	4.0
Irritación de garganta en corta exposición	15.0
Tos	30.2
Cantidad peligrosa en intervalo de 1/2 a 1 hora	40.6
Cantidades fatales en respiraciones profundas	100.0

Los síntomas y signos de la intoxicación por cloro son: Diarrea, vómitos, dolor abdominal, melena, hematoquesia y hematemesis (eliminación descontrolada de sangre por el recto y por la boca).

Para la profilaxis se debe tener en cuenta lo siguiente:

- Identificar con signos visibles todos los frascos que contengan derivados de cloro.
- Ingestión de una solución de yeso, creta, bicarbonato de sodio o agua con unas gotas de lugol.
- Observación en la boca de signo de quemadura, en cuyo caso deben ser hospitalizados inmediatamente.
- Si hubiera dolor de estómago se procederá en la misma forma.
- La presencia de melena (caída de pelo), y hematemesis requiere de inmediata intervención del facultativo, de preferencia en el hospital.

Según la mayoría de autores no es posible la intoxicación crónica, porque el cloro que ingresa al organismo es inmediatamente convertido en ácido clorhídrico y es eliminado por la vía gástrica.

La intoxicación por cloro puede producir la muerte:

- a) Cuando el cloro ingresa por vía respiratoria, por edema pulmonar o complicaciones de la irritación producida en las mucosas; por ello, en estos casos se requiere de tratamiento antibiótico preventivo.

b) Cuando el cloro ingresa por vía digestiva, la muerte puede producirse por perforación gástrica o por complicación de la irritación de la mucosa intestinal, por lo que debe hacerse también el tratamiento preventivo antibiótico.

EFFECTOS PRODUCIDOS POR EL HIPOCLORITO DE CALCIO

Inhalación

Inhalación de gases o vapores, causa irritación en el tracto respiratorio e irritación en las membranas de las mucosas. Si el hipoclorito de sodio es mezclado con amonio u otros químicos, resulta la evolución del cloro o del ácido hipocloroso, estos gases puede producir edema pulmonar.

Contacto con ojos

Líquidos y gases pueden ser rigurosamente irritante o perjudicial para los ojos.

Contacto con la piel

El líquido irritará la piel, causando enrojecimiento y posible inflamación.

Ingestión

Los vapores y líquidos son extremadamente corrosivos a la boca y garganta, membrana de la mucosa y estómago al ingestarlo el líquido calcina los tejidos, causa severo

dolor abdominal, náuseas, vómitos, colapso circulatorio, confusión, delirio, coma y colapso.

Ingiriendo grandes cantidades puede causar la muerte.

Efectos crónicos de exposición

Los efectos de irritación se incrementa con el grado de concentración de la solución y el tiempo de exposición. En prolongados y repetidas exposiciones puede producir una constante irritación de ojos y garganta.

Prolongadas o repetidas contactos pueden causar dermatitis y sensibilización.

EFFECTOS POTENCIALMENTE TOXICOS EN LA SALUD

En el año de 1974, la entidad Norteamericana llamada Lower Missisipi River Supply, demostró la existencia de compuestos halogenados, después de la cloración de las aguas coloreadas de la parte baja del rio Missisipi.

Cabe destacar que la toxicidad del cloro y de sus compuestos en el medio acuático, no depende de la cantidad del cloro utilizado, sino más bien de la concentración y composición del cloro residual ya sea libre o combinado.

Durante la cloración se producen una serie de subproductos debido a la reacción del cloro con la materia orgánica presente (demanda de cloro). Los ácidos húmi-

cos y fúlvicos que se encuentran en el agua de algunos lugares producto de la degradación de materia vegetal, y otros compuestos procedentes de la degradación de la materia animal con el cloro dan como resultado algunos compuestos orgánicos clorados, entre ellos los trihalometanos (THM). También algunas aguas con cargas orgánicas elevadas al ser cloradas forman subproductos como: los clorofenoles, el ácido cloro acético, ácido dicloro acético, ácido tricloro acético, tricloro acetaldehído monohidratado, 1-1-dicloropropanona, dicloroacetanitrilo, dibromoacetanitrilo, tricloroacetanitrilo, cloruro de cianógeno, cloropicrín y bromato (sal sódica).

La OPS expresó en las guías para la calidad del agua potable: " Sería difícil calcular los niveles seguros de consumo para gran parte de efectos observados directamente en el hombre, debido a que no se han realizado los estudios cuantitativos adecuados de los peligros que potencialmente podrían surgir con concentraciones que se aproximen a las observadas en agua potable, los más serios son los efectos carcinógenos observados en animales de experimentación y la sugerencia de que puedan producirse efectos similares en las personas expuestas a niveles elevados de THMs en el agua potable".

Son muy pocas las investigaciones realizadas sobre la toxicidad crónica del mismo.

Se demostró que el cloroformo, es rápidamente absor-

vido por la mucosa intestinal al ingerirse agua que lo contiene, se distribuye agua a través de los tejidos, y se acumula en los tejidos adiposos con una larga vida media de su residencia.

Su metabolismo se produce principalmente en el hígado y en menor proporción en los riñones y en los tejidos.

Recientes investigaciones han demostrado que existe una correlación positiva entre los niveles de cloroformo en el agua y los carcinomas de la vejiga y del tracto intestinal bajo.

Los efectos tóxicos de los **trihalometanos (THM)** son similares a los producidos por el cloroformo; actúan como depresores del sistema nervioso central y afectan las funciones del hígado y los riñones.

Sobre los **clorofenoles** no se ha informado de efectos adversos a la salud humana por su consumo en el agua de bebida; se han realizado algunas pruebas de laboratorio con ratas y conejos y se ha concluído que existe daño significativo a los riñones y cambios histológicos.

Sobre los **halocompuestos** mencionados anteriormente, los efectos en la salud son diferentes para cada producto, para los ácidos acéticos clorados no se han realizado estudios a corto plazo o largo plazo; tampoco se tiene informes de intoxicación por consumo de agua. En el caso del bromato se ha reportado daño renal y disturbios gastro-intestinales así como efectos en la

audición. El cloropicrín causa problemas pulmonares en caso de exposiciones por más de 1 minuto a una concentración de 2 mg/m³. En relación a los halocetonitrilos y el cloruro de cianógeno no se han determinado efecto sobre los humanos.

Los estudios epidemiológicos, proporcionan suficiente evidencia para mantener la hipótesis de que la presencia de los THMs en las aguas potables, representan un riesgo potencial para la salud, ya que pueden estar incrementando la mortalidad por cáncer.

CAPITULO 4

OXIDACION CON OZONO

4.1 GENERALIDADES

El Ozono es un gas de olor característico que se puede sentir después de las tempestades; tiene la forma alotrópica del oxígeno elemental que en lugar de dos moléculas tiene tres.

En solución acuosa, el ozono es un agente oxidante extremadamente poderoso.

Para producir ozono es necesario equipos muy costosos y de difícil mantenimiento, pero el costo de desinfección es muy bajo.

Este desinfectante es muy usado en plantas de tratamiento de aguas potables en Europa (Niza, Paris, Leningrado), y en la desinfección de líquidos cloacales en los EE.UU, por cuánto no deja efecto residual y, por consiguiente no interfiere con el ecosistema de ríos y embalses, donde dichos líquidos cloacales son descargados.

El ozono se produce haciendo pasar aire seco entre los electrodos de un generador. Entre dichos electrodos hay un material aislante tal como el vidrio.

Debido a la rapidez con que el ozono mata a los microorganismos, los pequeños tiempos de contacto no crean mayor problema.

Por su gran poder de oxidación, el ozono puede ser usado no sólo para desinfección, sino para otros procesos tales como oxidación de hierro y manganeso, remoción de sabor olor y sobre todo en la remoción de color.

Este desinfectante tiene un gran poder virucida, y puede ser recomendable con aguas altamente contaminadas como sistema de predesinfección, seguido de cloración al final de los procesos de tratamiento.

La desventaja es que no deja poder residual mensurable y su alto costo en equipos.

La presencia de ozono en el aire es un compuesto muy tóxico, y que en concentraciones mayores a 1.0 mg/lt, respiradas durante un cierto tiempo, induce daños en el sistema respiratorio.

El ozono es un buen decolorante, desinfectante y desodorizante.

4.2 REACCIONES QUIMICAS

A diferencia del cloro, el ozono no reacciona con el agua produciendo especies desinfectantes.

Sin embargo cerca a un pH 6, el ozono no se descompone en el agua para producir hidróxilo más reactivo de radical libre.



Esta reacción es acelerada con la elevación del valor del pH (casi 8). En adición, el radical libre de hidróxilo son producidos siempre que el ozono está en la presencia de peróxido de hidrógeno.

La tasa de oxidación de algunos materiales orgánicos refractarios, son grandemente acelerados por la adición simultánea de radiación de UV o H_2O_2 , por la formación de radicales libres de hidróxilos.

Así, cuando el ozono es adicionado al agua, éste puede reaccionar como la molécula O_3 , como el radical libre hidróxilo, o como mezcla de ambos.

El ozono tiene un alto potencial de oxidación en el tratamiento de agua.

El ozono reacciona rápidamente con muchos tipos de sustratos tales como el bromo, manganeso, fierro, etc. y otros inorgánicos tales como cianuro libre.

Pero sin embargo con otros inorgánicos, tales como amoníaco y con muchos tipos de compuestos orgánicos, el

ozono reacciona sólo muy inactivamente.

Esto es porque el ozono actúa mejor en las reacciones, el cuál envuelve el electrón simple y proceso de transferencia de átomo, o en el caso de compuestos orgánicos, adición a uniones múltiples conjugados, los cuáles son ricos en electrones.

REACCIONES CON COMPUESTOS ORGANICOS

Se conoce desde hace muchos años, que el ozono reacciona con los compuestos orgánicos no saturados y los compuestos orgánicos con alto peso molecular, las que son cortados por la abertura de los enlaces carbonados dobles y triples.

Las nuevas moléculas así formadas son más pequeñas, más polares y más oxigenadas.

El ozono también reaccionará con ciertos tipos de compuestos aromáticos, estos compuestos con electrones proporcionan sustituyentes tales como el fenol.

Si no hay tales sustituyentes, la tasa de ozonización es mucho más lento. El ozono es muy eficiente como agente oxidante para la remoción de substancias orgánicas del agua, con una fuerza deducida en las bases de este alto potencial oxidación.

REACCIONES CON COMPUESTOS INORGANICOS

En general el ozono puede oxidar iones metálicos como fierro, manganeso, etc.

Desde que muchos metales en su alto estado de oxidación son insolubles, el ozono ha sido promovido en el pasado como un oxidante útil para la remoción de estas sustancias en agua natural y aguas residuales.

Si bien, la mayor parte de los oxidantes pueden eliminar rápidamente el hierro, no sucede lo mismo con el manganeso, particularmente cuando está combinado con materia orgánica, tales como ácidos húmicos.

En este caso prácticamente sólo, el ozono puede destruir este elemento organo-metálico completa y económicamente, oxidando Mn^{+2} en dióxido de manganeso.

El ozono también oxidará aniones no metálicas y oxianiones. Uno de los más importantes ejemplos es la reacción del ozono con ión bromo. Este proceso es completamente rápido y resulta de la formación del ácido hipobromoso, bromato e inesperadamente algunas especies que regeneran bromo.

REACCION DE OZONO CON CONSTITUYENTES DE AGUAS NATURALES

En el tratamiento de aguas naturales con ozono, la química es indudablemente compleja.

Los datos de cinética sugieren que la molécula de ozono (en oposición a los radicales), reacciona directamente

con los compuestos orgánicos en el agua, es probablemente atacado por la molécula compleja húmica al menos 3 tipos de sitios vulnerables:

Doble enlace carbono-carbono, anillos aromáticos los cuales son activados con grupos fenólicos y metales complejos tales como fierro.

Todos estos compuestos son conocidos por estar presente en las moléculas húmicas de los compuestos orgánicos naturales acuáticos, que tienen origen en cursos de aguas superficiales.

Las sustancias húmicas actúan como indicadores para causar la formación de radicales inmediatos.

Como este acto del proceso no está claro, pero hay la posibilidad de que el ozono reaccione con iones metálicos en transición por el proceso de transferencia de un electrón para formar el radical anión ozonizado. Si estas especies se disocian del metal y entran en la fase de la solución, se puede iniciar el proceso de cadena radical.

El efecto será formar los productos, los cuáles no son esperados de la reacción en forma directa.

Estos son los más probables a ser formados de la reacción del ión hidroxilo e incluye las reacciones de hidroxilación de los anillos de benzeno, los cuáles son no reactivos con el ozono.

También si el ozono residual es agotado, estos compuestos aromáticos hidroxilados sobrevivirán, quizás hasta

que el cloro es agregado como desinfectante. Ellos pueden reaccionar con el cloro y producir cloroformo y otros trihalometanos.

Generalmente los efectos del ozono sobre la materia orgánica son estudiados a través de parámetros como carbono orgánico total C.O.T., la extinción UV a 254 nm o pruebas al perganmanato.

4.3 EFECTOS DE LA OZONIZACION EN EL AGUA

La aplicación de ozono en el agua tiene varios efectos:

- a. Oxidación de la materia orgánica, produciendo ozonidos (compuestos orgánicos explosivos), y CO₂.
- b. Reducción de color.
- c. Acción sobre ácidos húmicos formando productos biodegradables.
- d. Desintegración de Fenoles.
- e. Remoción de ciertas sustancias orgánicas no biodegradables.
- f. Reducción de fierro y manganeso.

Además, el ozono no es afectado por la presencia de amonio, el cuál si afecta al cloro.

Una característica muy importante del ozono es su acción extremadamente rápida, debido a su alto potencial de oxido-reducción.

4.4 REMOCION DE COLOR

La capacidad del ozono para oxidar la materia orgánica coloreada es ampliamente conocida, esta propiedad no ha sido explotada en su totalidad sino recientemente.

Se han realizado experimentos y ensayos con muestras con bajo o moderado color, introduciendo ozono para la reducción de color, obteniéndose resultados satisfactorios, donde indican que la ozonización para la remoción de color es siempre adecuado para aguas moderadamente coloreadas con bajo contenidos de fierro y manganeso.

En aguas altamente coloreadas asociado a un alto contenido de materia orgánica, requiere dosis de ozono extremadamente altas, así como un tratamiento más elaborado que incluye la ozonización y un cribado con malla fina, la función del cribado es reducir en cuanto pueda los sólidos suspendidos contenidos en el agua y así eliminar la demanda de ozono asociada con los sólidos.

Sin embargo, en aguas crudas existe el temor sobre el ozono residual, crítica para la desinfección pues pasado un tiempo desaparece.

Cuando la ozonización es usado para la reducción del color, se debe de tener cuidado, pues el ozono oxida rápidamente el fierro y manganeso a sales insolubles, los cuáles pueden en caso extremo, disminuir los efectos benéficos de la ozonización en el color.

Usualmente los colores en el agua de bebida son derivados de la descomposición que ocurre, naturalmente en materias húmicas.

Los colores normalmente son causados por la presencia de compuestos orgánicos no saturados conjugados en los componentes (alternando doble y simples uniones).

Estos compuestos que contienen tales grupos conjugados son referidos como cromóforos.

El ozono es reactivo particularmente con grupos no saturados, formando el carbón - carbón doble unión que produce ketones, aldehidos o ácidos, dependiendo de los otros sustitutos de los átomos afectados por el carbón, por la cantidad de ozono y las condiciones de contacto aplicado.

En tanto que la conjugación tiene que ser rota por la oxidación, el color desaparecerá.

Esto no necesariamente significa que todo el color causado por los compuestos orgánicos tienen que ser convertido a dióxido de carbón y agua, pero simplemente que los grupos no saturados conjugados responsables por el color original tienen que ser destruidos.

En áreas industriales donde manufacturas textiles o teñidos es prevalente descargas de colorantes orgánicos de esta instalaciones industriales son fundadas en aguas crudas que entran a la planta de tratamiento de agua de bebida.

Estos colorantes generalmente son policíclicos altamen-

te conjugados con materia orgánica que son fácilmente decolora por un poderoso agente oxidante tal como el ozono.

El agua decolorada contiene considerables cantidades de carbón orgánico disuelto, pero el carbón puede ser fácilmente biodegradable.

4.5 EFFECTOS DEL OZONO EN LA SALUD

Los efectos clínicos reconocidos inmediatamente después de inhalar ozono son:

1. Dolor de cabeza.
2. Resecamiento de la membrana de las mucosas de la boca, nariz y garganta.
3. Cambios de la agudeza visual e irritación de ojos.
4. La exposición continua origina congestiones y edema pulmonar.
5. Agrava las enfermedades crónicas respiratorias

a) Empeoramiento del Asma

Se reportaron varios resultados en los cuáles se observan que los ataques del asma son frecuentemente asociados con períodos de smog (Schoetlin and Landan); demostrándose un incremento significativo en el número de ataques de asma en los días donde los niveles de oxidantes exceden $490 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.25 ppm).

b) Agrava enfisema y Bronquitis crónica

Muchos estudios han conducido a determinar que la

polución del aire agrava la condición de sujetos que padecen de bronquitis crónica y enfisema.

Motley et.al., reportaron en los resultados de pruebas al pulmón en 66 voluntarios, 46 de ellos tienen enfisema pulmonar; las pruebas se hicieron con niveles de oxidantes de 390-1370 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.2-0.79 ppm) y de 390-1040 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de ozono.

CAPITULO 5

EQUIPO DE PRODUCCION DE MEZCLA DE GASES OXIDANTES

5.1 ANTECEDENTES

En 1982, la Organización Panamericana de la Salud (OPS), comenzó a promover el uso de tecnología para la generación in situ de mezcla de gases oxidantes, a fin de desinfectar los abastecimientos de agua potable en comunidades pequeñas o aisladas de América Latina y el Caribe.

El procedimiento se conoce como técnica MOGGOD: Mixed Oxidant Gases Generated on site for Desinfection.

La causa fundamental del interés de la OPS en esta nueva técnica de desinfección, a pesar de que existen muchos métodos corrientes y "tecnologías apropiadas", fue el simple hecho estadístico de que más de 75% de todas las instalaciones encargadas de la desinfección en América Latina y el Caribe no han alcanzado sus metas, de manera continua y adecuada, a pesar de más de 20 años de esfuerzo para formar recursos humanos, instituciones e infraestructura de apoyo.

La desinfección insuficiente de los abastecimientos de

agua, constituye uno de los problemas más graves que afectan a la salud de quienes viven en poblaciones pequeñas, zonas rurales y zonas urbanas marginadas.

Se conocen más de 20 enfermedades causadas por la ingestión de agua contaminada.

Las razones que han originado el fracaso de muchos sistemas de desinfección son:

el abastecimiento inseguro o nulo de las sustancias químicas necesarias para la desinfección; carencia de piezas de repuesto; normas de operación y mantenimiento demasiado complejas para el personal local; infraestructura inadecuada para apoyar la adquisición, transporte y almacenamiento de sustancias químicas, repuestos y suministros; problemas locales en el almacenamiento, manejo, mezcla y dosificación de las sustancias químicas; duración limitada del equipo; preparación insuficiente de los operadores.

Por todas estas razones, la OPS comenzó a explorar la factibilidad de una tecnología innovadora, capaz de eliminar un número suficiente de las causas de deficiencia de la desinfección; para así mejorar las probabilidades de que en pequeños sistemas comunitarios, ésta sea constante y satisfactoria.

La OPS preparó una lista de las características deseables en un dispositivo de desinfección adecuado para

poblaciones pequeñas y zonas rurales latinoamericanas, con vista a utilizarla en sus conversaciones con posibles investigadores y fabricantes. Estas características son: sencillez de operación y mantenimiento; equipo resistente y durable, fácil de reparar; empleo de sustancias químicas primarias al alcance o de fácil obtención; y uso de un desinfectante fiable, capaz e inocuo, capaz de actuar en diversas condiciones fisicoquímicas típicas y con actividad residual suficiente.

Tomando los criterios anteriores, se llegó a la conclusión de que era más sencillo y barato producir una mezcla de oxidantes desinfectantes que un solo oxidante puro. Además la mezcla tenía otras ventajas potenciales: cada oxidante opera eficazmente en una situación determinada, de modo que al combinar varios, aumenta la posibilidad de ensanchar dicho espectro; al combinarse, los oxidantes actúan sinérgicamente como desinfectantes; los oxidantes dejan residuos de diferentes duración; los oxidantes poseen distinta afinidad para reaccionar con algunos agentes reductores, y al combinarlos es posible limitar al mínimo los subproductos no deseados que se producen; y, por último, un grupo de oxidantes puede tener mayor eficacia frente a un amplio espectro de microorganismos que un solo oxidante.

En 1986, la OPS adquirió 47 equipos con sus accesorios, para enviar a América Latina y el Caribe para proyectos

de demostración pruebas sobre el terreno y análisis de laboratorio.

Entre los países que han recibido tales artefactos están Argentina, Bolivia, Brasil, Colombia, Costa Rica, Ecuador, Guatemala, Haití, Honduras, Jamaica, México, Panamá, Perú y Santa Lucía.

En 1987, la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica de la Ciudad de México, llevó a cabo pruebas experimentales empleando el equipo MOGGOD para remoción de los óxidos de fierro y manganeso en aguas de pozo; obteniéndose resultados satisfactorios con el uso de estos gases en un efecto combinado de desinfección-oxidación.

Se llevaron a cabo otras pruebas en la Escuela de Salud Pública de la Universidad Johns Hopkins, para verificar los efectos bactericida y virucida de la mezcla de gases oxidantes, se llegó a la conclusión de que la eficacia de la mezcla de oxidantes generados in situ como desinfectante de agua, es igual o mayor que la del cloro.

Como resultado directo del proyecto, en la Argentina la empresa privada FENAR ha comenzado a fabricar estos aparatos. En México, el CEDAT ha construido varios prototipos que están en fase de prueba sobre el terreno. En Colombia, se encuentra en estudio la posibilidad de fabricarlos.

En la actualidad, se encuentran 2 equipos de desinfección en nuestro país; un equipo se encuentra operando en el Centro de Primates de la Ciudad de Iquitos, y el segundo está ubicado en el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS), siéndo este último el que se usó para la pruebas experimentales del presente trabajo.

5.2 DESCRIPCIÓN DE LA UNIDAD

El equipo MOGGOD consta básicamente de una celda electrolítica que produce los gases siguientes:

CUADRO 5.1

COMPARTIMIENTO DEL ANODO	COMPARTIMIENTO DEL CATODO
<ul style="list-style-type: none"> - OZONO - CLORO 	<ul style="list-style-type: none"> - HIDROXIDO DE SODIO - HIDROGENO.

Estos dos compartimientos están separados por una membrana semipermeable, y selectiva de NAFION, compuesto hecho de un copolímero perfluorador de intercambio catiónico.

El cátodo de la unidad MOGGOD es de **acero inoxidable** y para el ánodo pueden emplearse diversos materiales.

ESQUEMA DE LA UNIDAD MOGGOD

1. Compartimiento del ánodo
2. Compartimiento del cátodo
3. Orificio por el que se agrega agua/soda cáustica, al compartimiento en que se encuentra el cátodo
4. Anodo
5. Cátodo
6. Tapón de plástico del orificio por donde se agrega la sal
7. Compartimiento visor del nivel de la sal
8. Tubo de ingreso del Hidrógeno
9. Línea de rebose de la soda
10. Tubo para el ingreso del aire
11. Tubo de salida de la mezcla de gases
12. Visor del nivel de la soda
13. Membrana

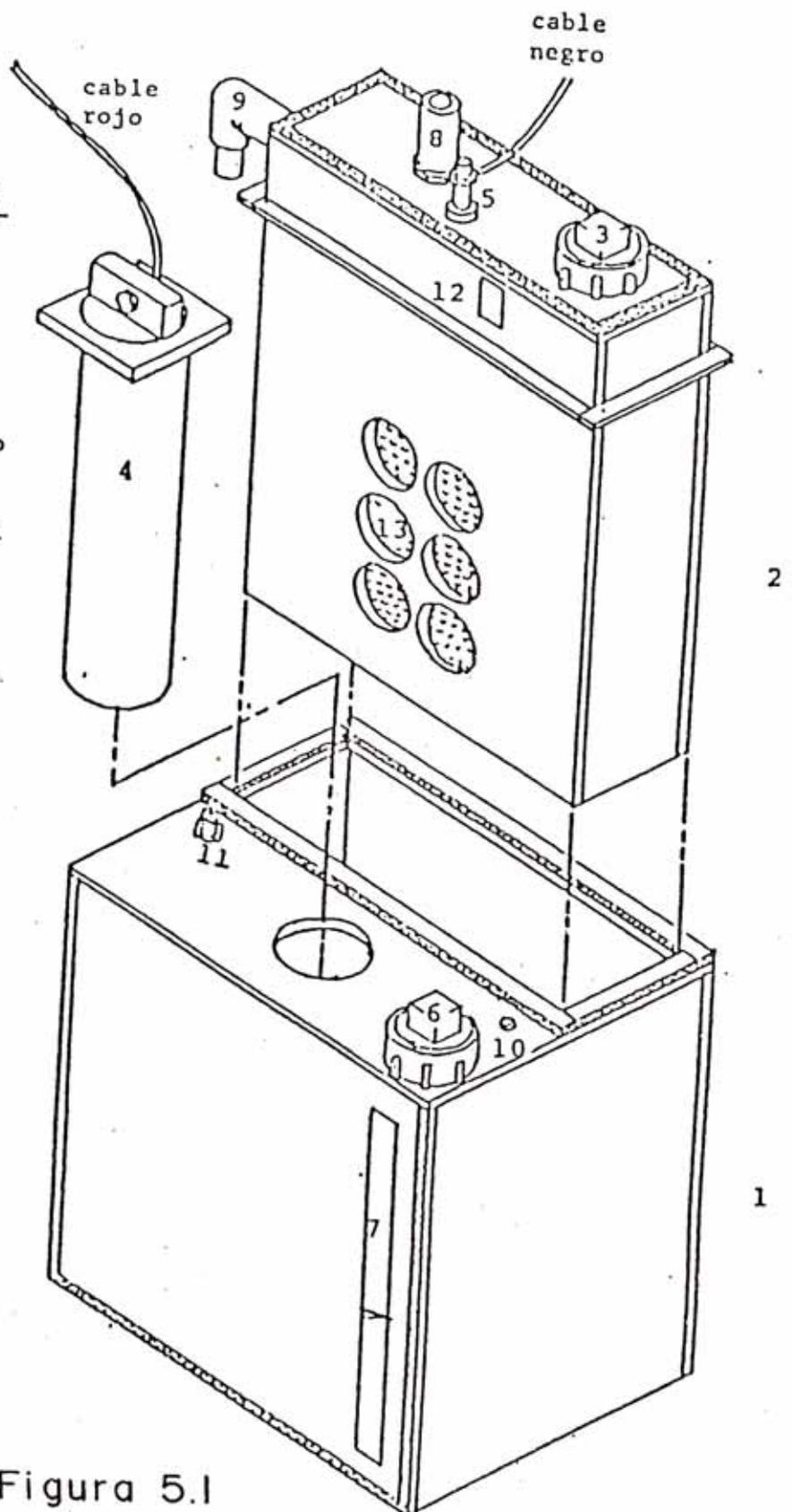


Figura 5.1

CELDA ELECTROLITICA "MOGGOD"

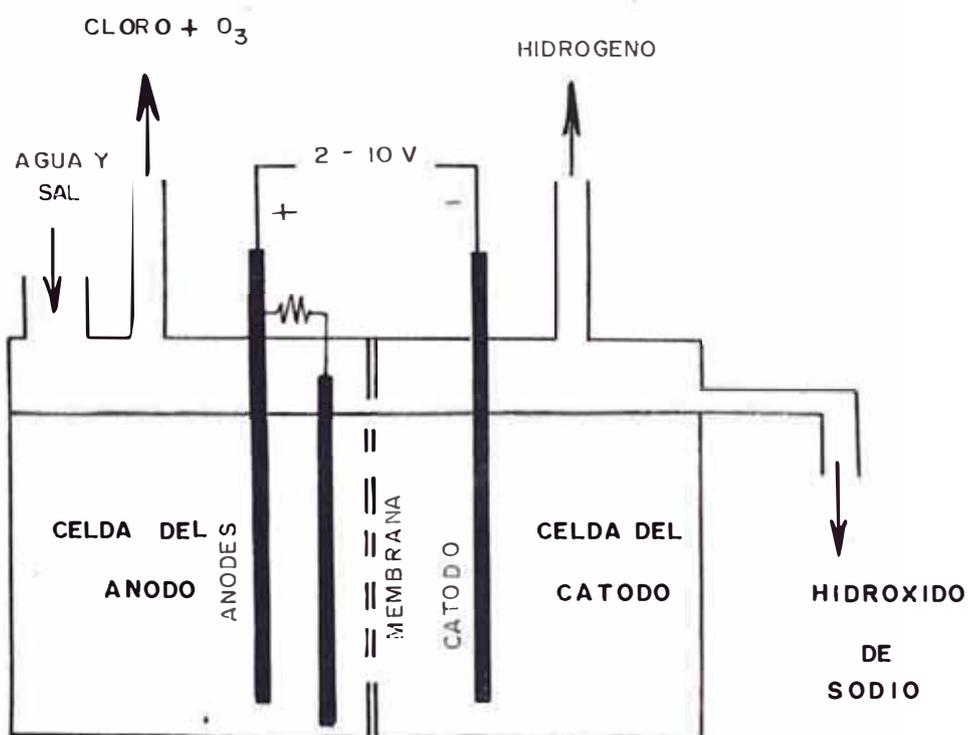


Figura 5.2

El equipo MOGGOD utiliza una solución saturada de cloruro de sodio y un gasto bajo de energía (3 á 10 voltios) para llevar a cabo la electrólisis.

Los elementos oxígeno cloro son absorbidos fuera del compartimiento del ánodo por un tubo de polipropileno conectado a un venturi; el gas hidrógeno proveniente del cátodo es eliminado a la atmósfera.

El hidróxido de sodio generado en el compartimiento del cátodo debe ser diluído a intervalos regulares, procurando mantenerlo por debajo del 10% para que la electrólisis continúe siendo eficiente. El hidróxido de sodio se diluye y se hace fluir añadiendo agua al compartimiento del cátodo. También es necesario añadir sal y agua a la cámara de sal en el compartimiento del ánodo. Visualmente se puede determinar cuando es necesario añadir agua o sal.

El equipo no presenta partes móviles y todas son muy durables.

5.3 GASES PRODUCIDOS

La tasa de generación de gas es controlada por la electrólisis de una solución saturada de cloruro de sodio. La velocidad de la electrólisis se controla variando la corriente eléctrica que fluye entre los electrodos, ésta a su vez se controla alterando el voltaje, usando

un reóstato. De tal manera que el desinfectante residual que se desea, se obtiene simplemente ajustando el dial del reóstato.

El Desinfectante residual que se desee, se obtiene ajustando el dial del reóstato. El análisis químico se reduce a las pruebas del residual existente en el sistema de distribución.

Entre los gases que son producidos por la técnica MOGGOD se encuentran el radical hidroxilo, el oxígeno atómico, el ozono, el peróxido de hidrógeno, el radical perhidroxilo, el ácido hipocloroso y el cloro.

Los diferentes materiales anódicos producen espectros gaseosos ligeramente distintos entre sí, los cuales varían entre 20 y 30% para el cloro y 70 y 80% para el ozono.

El peróxido de hidrógeno y el radical perhidroxilo no son desinfectantes eficaces en el agua, pero reaccionan con muchos agentes reductores; y de este modo impiden que éstos consuman los oxidantes desinfectantes más eficaces.

Hace poco se descubrió que al añadir peróxido de hidrógeno al agua durante la ozonización, aumentaba la rapidez de transferencia del ozono y la oxidación de compuestos orgánicos.

También se observó que esta adición, disminuía significativamente la concentración de precursores de trihalometanos.

INSTALACION DEL EQUIPO "MOGGOD"

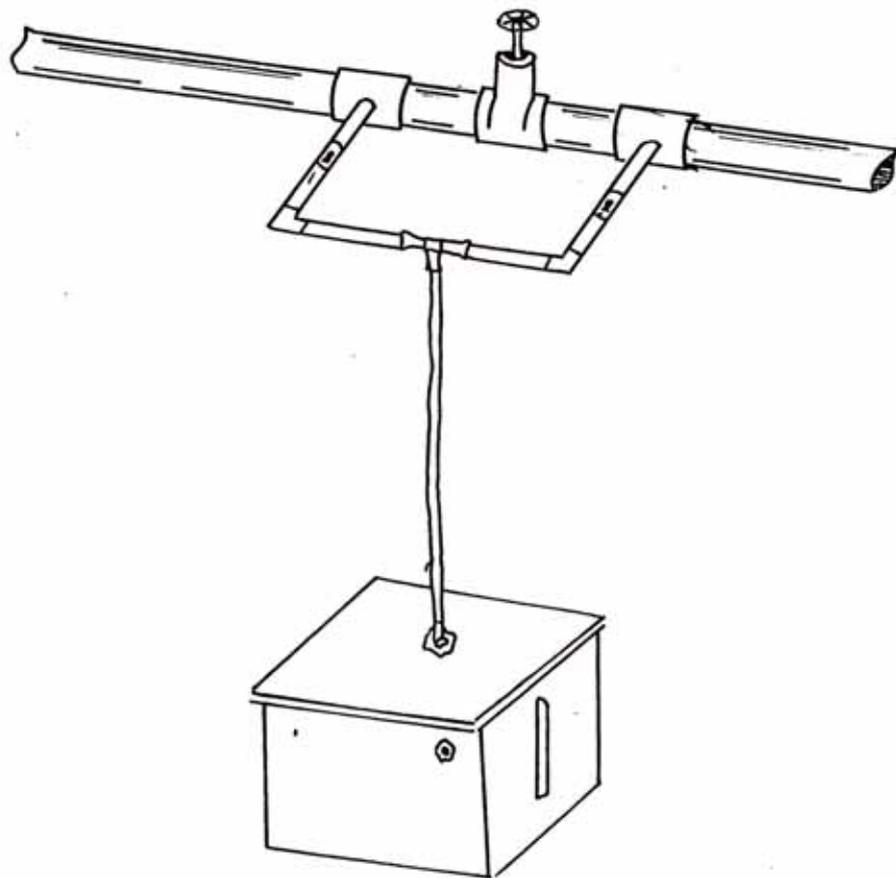
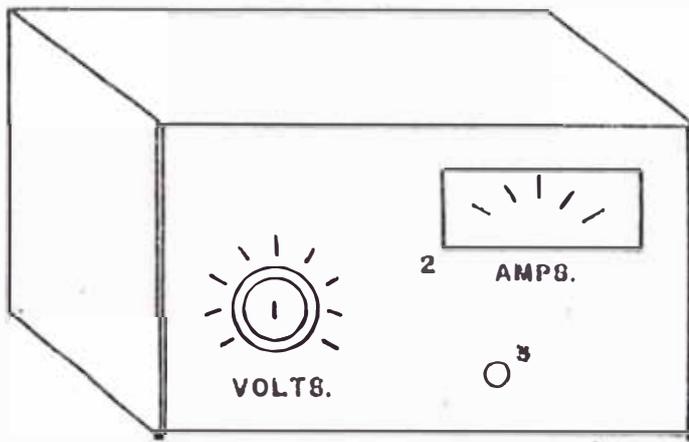
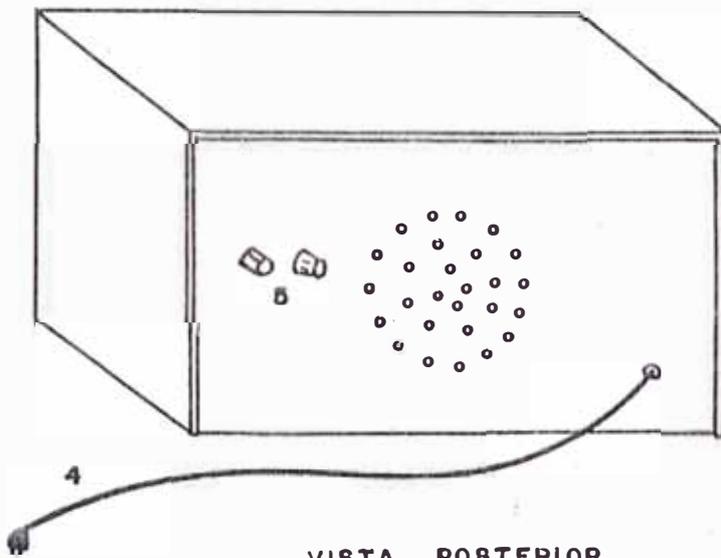


Figura 5.3

AUTOTRANSFORMADOR



VISTA ANTERIOR



VISTA POSTERIOR

- 1- Botón de control voltaje
- 2- Medidor de corriente (amperios)
- 3- Fusible
- 4- Cordón de corriente
- 5- Conectores de salida corriente D. C.

Figura 5.4

CUADRO 5.2

POTENCIAL DE OXIDACION Y CAPACIDAD DE OXIDACION RELATIVA DE
DIVERSOS OXIDANTES POTENTES

Especies Oxidantes ^a	Potencial de Oxidación (V)	Capacidad de Oxidación Relativa ^b
Flúor	2.87	2.25
Radical Hidroxilo	2.80	2.05
Oxígeno Atómico	2.42	1.78
Ozono	2.07	1.52
Peróxido de Hidrógeno	1.77	1.30
Radical Perhidroxilo	1.70	1.25
Permanganato	1.68	1.23
Acido Hipocloroso	1.49	1.10
Cloro	1.36	1.00
Bromo	1.07	0.79
Yodo	0.54	0.40

^a Con excepción del Flúor, el permanganato, el bromo y el yodo, los demás están presentes en la mezcla de gases oxidantes generados in situ (MOGGOD).

^b En comparación con la del cloro (1.00)

5.4. OXIDACION DE MATERIA ORGANICA CON MEZCLA DE GASES

OXIDANTES

La unidad MOGGOD produce aproximadamente 70% de oxígeno y un 30% de cloro.

Se realizaron muchas pruebas en las cuáles, el ozono y los radicales libres de oxígeno reaccionan con mayor facilidad ante sustancias orgánicas que ante el cloro, obteniéndose de este modo como resultado, niveles muy bajos de Trihalometanos, comparando aquellos que se obtendrían usando sólo el cloro.

De igual modo se hicieron pruebas en la que se observaron que, el oxígeno puede reaccionar con mayor facilidad que el cloro ante los fenoles y las algas, debido a su afinidad por la materia orgánica, reduciendo con ello los problemas de sabor y de olor, así como la formación de compuestos organoclorados no deseados. Desde el punto de vista de salud pública, la técnica MOGGOD debería resultar, por lo menos, tan beneficioso y seguro como el uso del cloro.

CAPITULO 6

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

6. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

6.1 ALCANCES

Las pruebas para la Cuantificación de la Producción de Gases Oxidantes, y para la verificación de la capacidad oxidante de la Mezcla de Gases, se realizaron en tipo Batch, a nivel de Laboratorio.

6.2 METODOLOGIA

6.2.1 PRUEBAS PARA CUANTIFICAR LA PRODUCCION DE GASES OXIDANTES

EQUIPO:

- Equipo de Desinfección MOGGOD OZONE
TECHNOLOGY CORP.

Gasómetro: campana de vidrio de 1000 ml.

→ Cronómetro

MATERIALES:

- Vaso de vidrio de 2000 ml.

Tapón de Caucho horadado y con tubería de vidrio

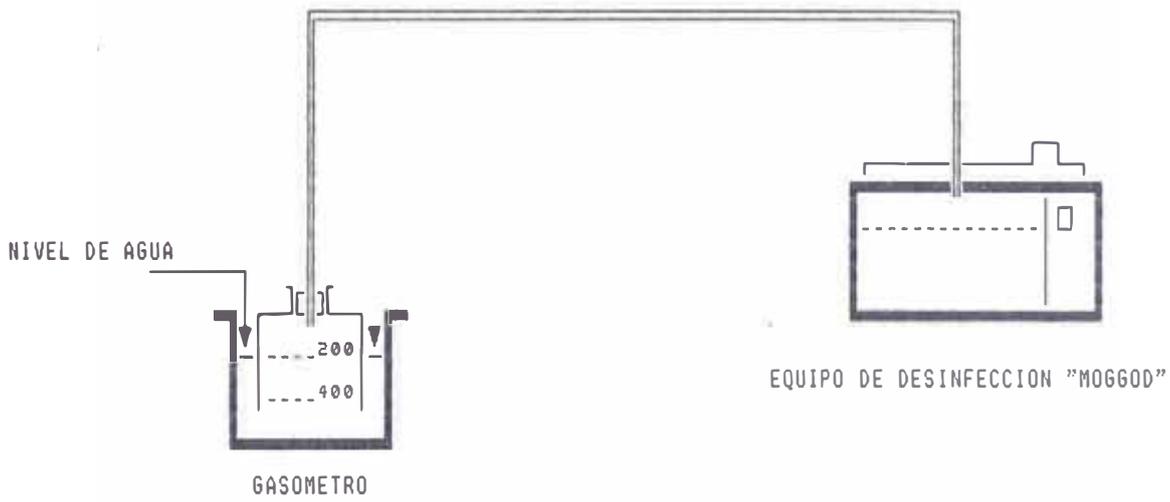
- Manguera de Teflón

PROCEDIMIENTO

- a) Poner en funcionamiento el Equipo MOGGOD durante 30 minutos, a fin de que en ese tiempo se establezca la producción de gases.
- b) Llenar y sumergir la campana con agua.
- c) Colocar el tapón herméticamente sobre la campana, e instalar el sistema tal como se muestra en la figura 6.1, con la finalidad de que a través de la manguera de teflón, se introduzcan los gases oxidantes en la campana.
- d) Poner equipo MOGGOD en conexión con el sistema anterior.
- e) Poner en marcha el cronómetro.
- f) Inyectar los gases oxidantes a la campana, manteniendo inicialmente en equilibrio la presión interna y la presión externa del sistema, para luego provocar una presión diferencial generando la succión de los gases.
- g) Cuando se haya captado 200 ml. de gases oxidantes, se detiene el cronómetro y se toma nota del tiempo requerido para tal fin.
- h) Repetir el procedimiento varias veces.

CUANTIFICACION DE LOS GASES OXIDANTES

PRIMERA FASE



SEGUNDA FASE

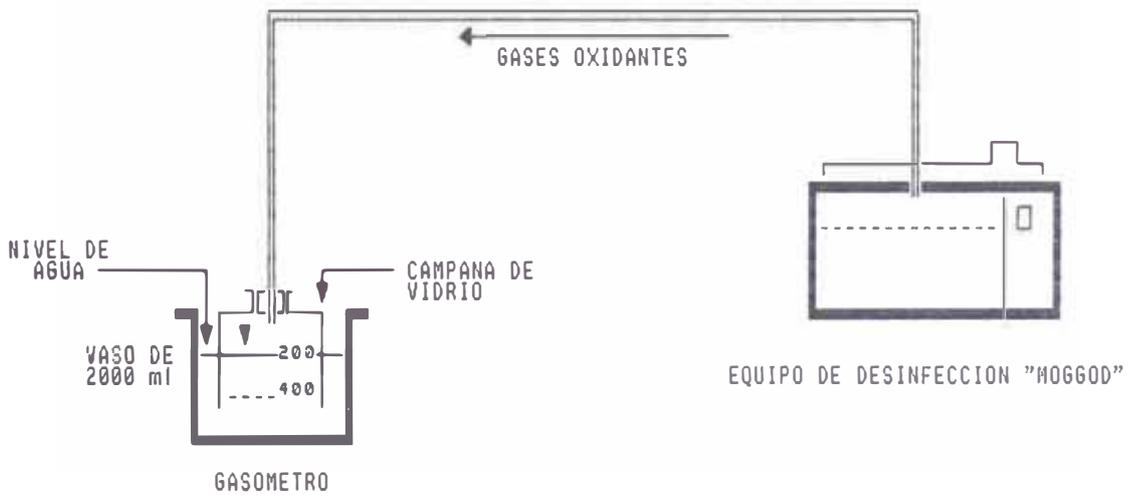


Figura 6.1

OBSERVACION:

Como el sistema se ha equilibrado a condiciones atmosféricas, se debe hacer una corrección:

CUADRO 6.1

CORRECCION DEL VOLUMEN DE GASES INYECTADOS

DATOS REFERENCIALES	ALTURA (msnm)	PRESION (mmHg)	TEMPERATURA (°K)
CEPIS	215	741	288
CONDIC. NORMALES	0	760	273

$$V_1 \times P_1 = V_2 \times P_2$$

$$T_1 \quad T_2$$

$$V_2 = 198.2 \text{ ml.}$$

6.2.1.1 CUANTIFICACION DEL GAS CLOROEQUIPOS:

- Equipo de Desinfección MOGGOD

MATERIALES:

- Pera de 125 ml.
- Manguera de teflón
- Solución NaOH 0.1N

Soporte Metálico

- Tapón de Caucho bihoradado
- Pinza Mohr

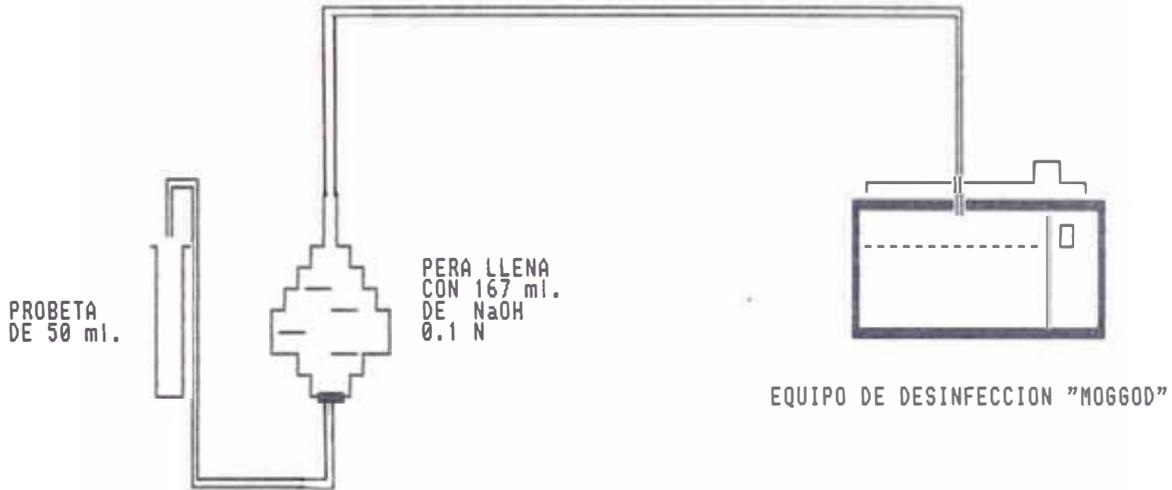
PROCEDIMIENTO

- a) Poner en funcionamiento el equipo MOGGOD.
- b) Llenar la pera con la Solución NaOH y colocar el tapón sobre la pera.
- c) Colocar la pera invertida sobre el soporte e instalar el sistema de la Figura 6.2.
- d) Conectar la salida de gases del equipo MOGGOD a la pera y enseguida abrir la llave de ésta.
- e) Recibir en la probeta el volumen de NaOH desalojado de la pera por el ingreso de los gases oxidantes, hasta completar los 50 ml.
- f) Inmediatamente cerrar la llave de la pera, y colocar la pinza en la salida del tapón.
- g) Agitar vigorosamente la mezcla de gases oxidantes y Solución NaOH, por un período de 10 minutos.
- h) Después de ese período, se producirá la sgte. reacción:



CUANTIFICACION DEL GAS CLORO

PRIMERA FASE



SEGUNDA FASE

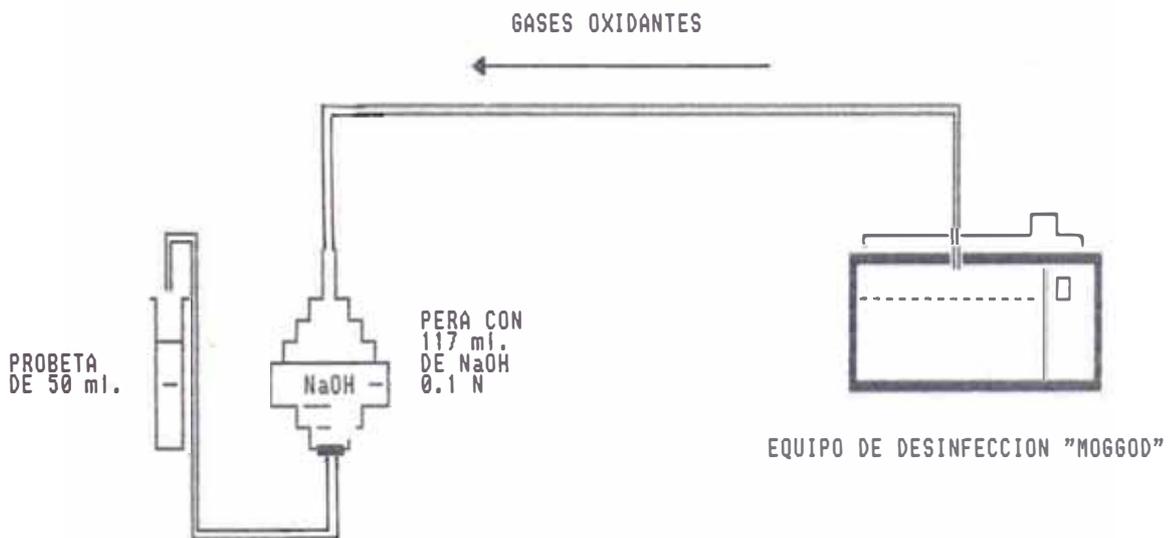


Figura 6.2

- i) Determinar el total de Cloro como Hipoclorito de Sodio formado, mediante el método yodométrico.
- j) Determinar cloro como cloruros mediante el método argentométrico.
- k) Sumar (i) + (j) para obtener el cloro total.

DETERMINACION DE CLORUROS

METODO ARGENTOMETRICO

MATERIALES

- 2 erlenmeyer de 25 ml.
- 1 Bureta de 25 ml.

REACTIVOS:

- Solución Nitrato de Plata 0.0562N
- Indicador Cromato

PROCEDIMIENTO

- a) Colocar en cada erlenmeyer, 25 ml. de la muestra y llevarlos a pH 7.0
- b) Agregar 1 ml. de indicador Cromato.
- c) Titular con AgNO_3 hasta que se produzca el vire de amarillo a rojo.
- d) Se aplicará la sgte. fórmula:

$$\text{mg/lt} = \frac{V_{\text{AgNO}_3} \times N_{\text{AgNO}_3} \times 35500}{V_{\text{MUESTRA}}}$$

V_{MUESTRA}

DETERMINACION DE CLORO RESIDUAL

METODO YODOMETRICO

REACTIVOS

- Yoduro de Potasio.
Solución de tiosulfato de Sodio 0.025N
- Solución indicadora de almidón.
- Acido sulfúrico concentrado.

MATERIALES

- Erlenmeyer de 100 ml.
Equipo de titulación

PROCEDIMIENTO

- a) Colocar en el erlenmeyer 25 ml de muestra.
- b) Adicionar 2 ml. de H_2SO_4 concentrado.
- c) Agregar 1 gr. de IK en cristales.
- d) Mezclar, hasta que los critales de IK se diluyan completamente.
- e) Titular con tiosulfato de sodio 0.025N hasta que la dilución se torne de color amarillo ligero.
- f) Adicionar 1 ml de almidón, la solución tomará un color azul.

CLORO RESIDUAL (METODO YODOMETRICO)

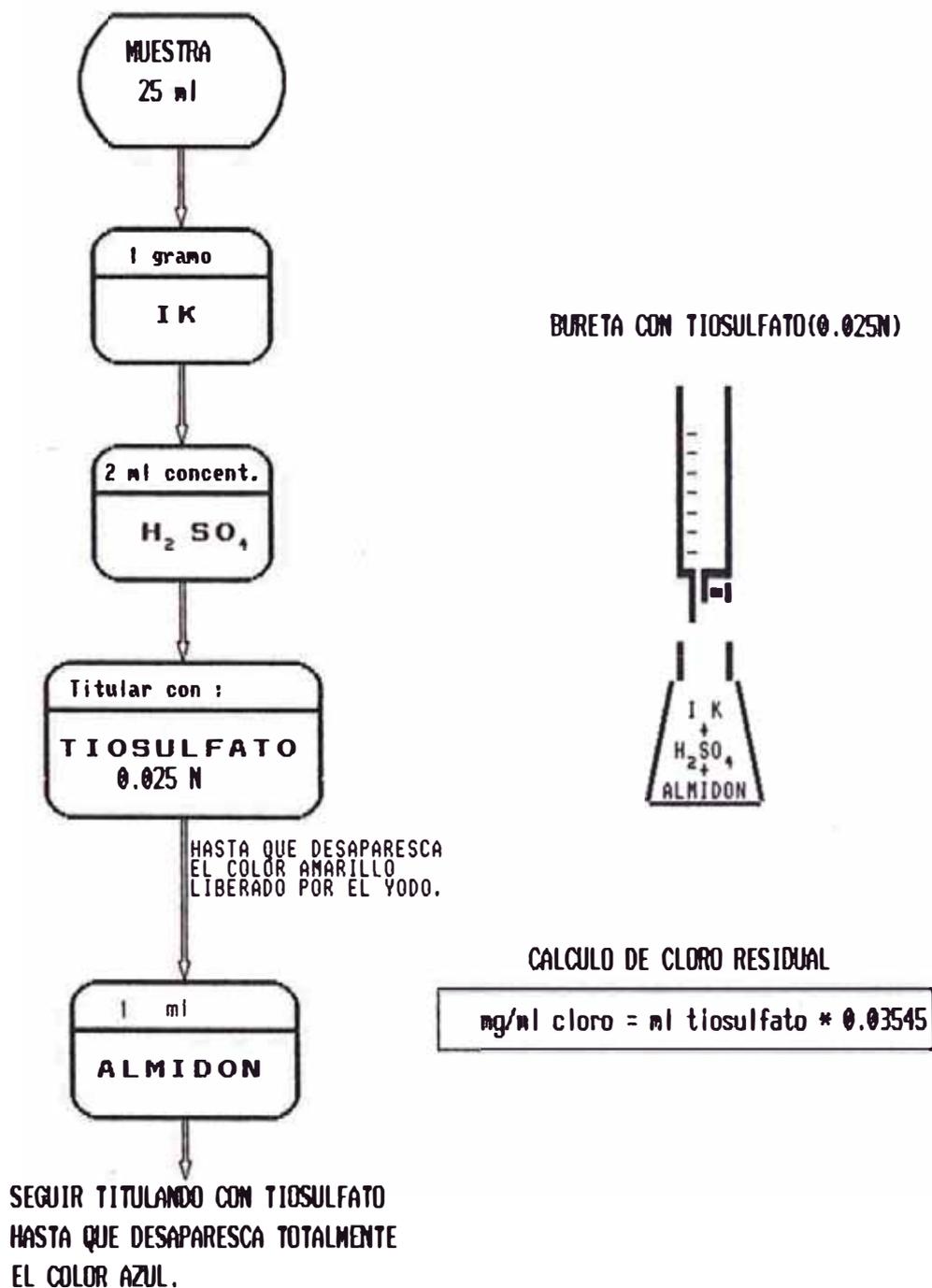


Figura 6.3

- g) Continuar la titulación hasta que desaparezca la coloración azul.
- h) El volumen gastado de tiosulfato representan la cantidad de cloro presente en la muestra de agua.

6.2.2 CARACTERISTICAS DEL AGUA A TRATAR

PREPARACION DE LA MUESTRA SINTETICA

MUESTRA

Corteza de árbol Pashaco (Schizolobium sp.), que crecen cerca al río Nanay de la Ciudad Iquitos en el departamento de Loreto.

EQUIPOS

- Balanza
- Equipo de filtración
- Bomba de vacío
- Frasco de vidrio de 1000 ml.

MATERIALES

- Agua destilada
- Probeta 1000 ml.
- Recipiente de 50 lt.
- Papel Wathman N°3.
- Muestra de agua coloreada sintética.

PREPARACION DE LA MUESTRA

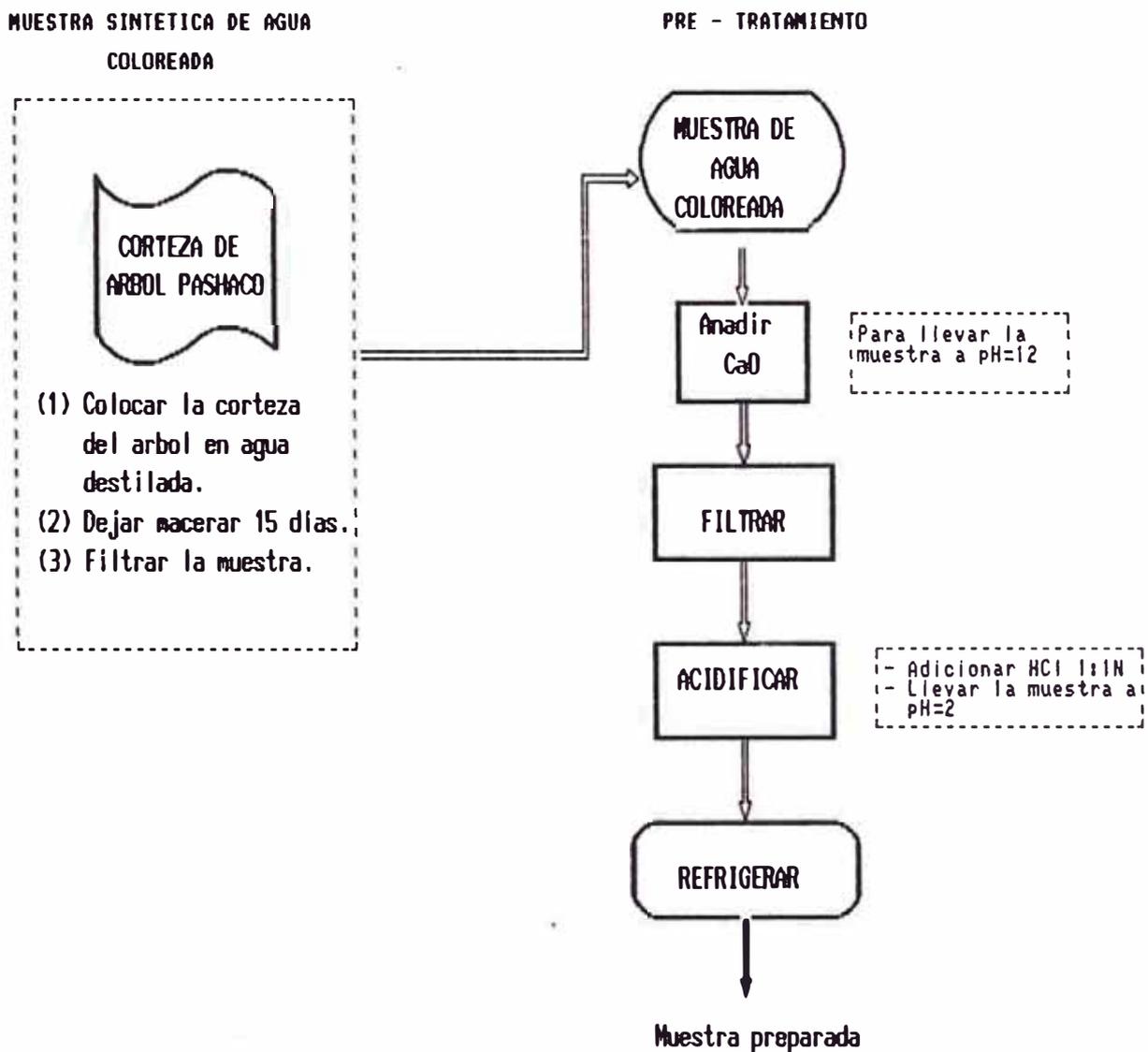


Figura 6.4

PROCEDIMIENTO

- a) Colocar en el balde plástico 270 gr de la corteza de árbol Pashaco y adicionarle 6 litros de agua destilada, dejar macerar por 15 días.
- b) Filtrar el macerado a través de papel filtro WHATMAN Nº 3 (sólo una vez).
- c) Almacenar la muestra en un frasco de vidrio y mantenerla en refrigeración.

PRETRATAMIENTO

EQUIPOS

- Potenciómetro
- Equipo de filtración

MATERIALES

- Vaso de 500 ml.
- Vaso de 100 ml.
- Vaguetas
- Pipetas de 1 ml.
- Muestra de agua sintética coloreada filtrada.

REACTIVOS

- Agua destilada
- Oxido de calcio (CaO)
- Acido clorhídrico HCl (0.1N)

PREPARACION

- a) A 250 ml. de muestra sintética adicionarle CaO hasta para que la muestra alcance un pH = 12.
- b) Dejar precipitar la muestra.
- c) Filtrar la muestra a través de papel Wathman con microfibra de vidrio.

La finalidad es eliminar compuestos que precipiten a ese pH simulando un pre-tratamiento en una planta de clarificación de agua.

6.2.2.1 DETERMINACION DE ACIDOS FULVICOS

ACONDICIONAMIENTO DE LA MUESTRA

Acidificar 250 ml de muestra con HCl (0.1N) hasta obtener un pH=2.

ACONDICIONAMIENTO DE LA RESINA

PREPARACION DE LA RESINA

ATERIALES

- 1 balón de 250 ml con boca esmerilada.

REACTIVOS

- Resina XAD-8
- Etanol EtOH (3 veces destilado)

EQUIPOS

- Balanza electrónica

PROCEDIMIENTO

- a) Pesar 3 gramos de la resina XAD-8 y

PREPARACION DE LA RESINA XAD-8

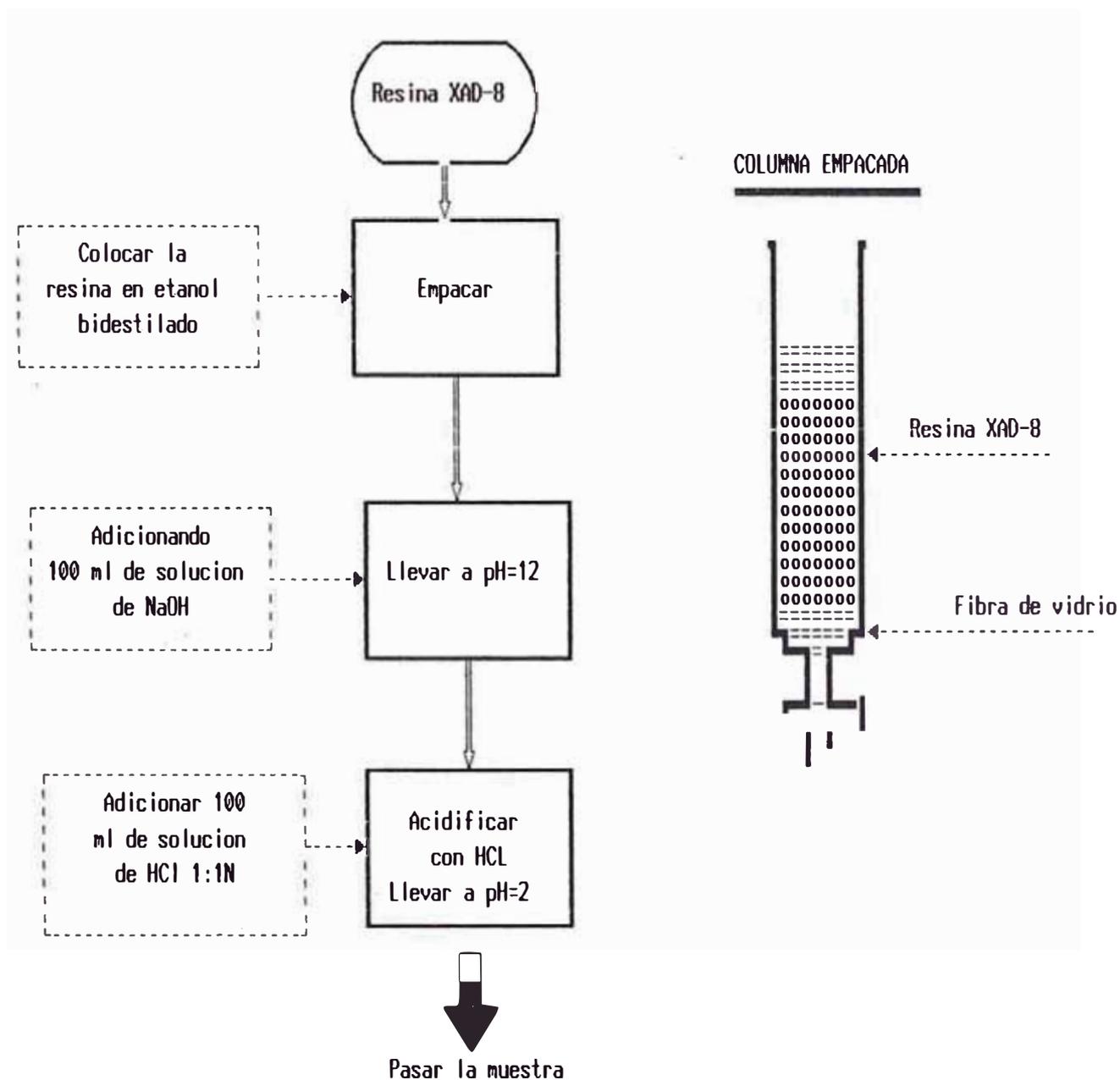


figura 6.5

colocarla en un balón que contenga etanol tres veces destilado.

b) Dejar que la resina absorva el etanol durante 12 horas.

PREPARACION DE LA SOLUCION ACIDA

En 100 ml de agua destilada adicionar HCl (0.1N) hasta obtener un pH=2.

PREPARACION DE LA SOLUCION BASE

En 100 ml de agua destilada agregar NaOH (0.1 N) hasta lograr un pH=12.

EMPAQUE DE LA COLUMNA

EQUIPOS

- Potenciómetro
- Espectrofotómetro de UV/VISIBLE - Hewlett Packard 8452A DIODE ARRAY

MATERIALES

- Columna Cromatográfica
- Fibra de vidrio
- Vaguetas
- Vasos de vidrio 100 ml.

REACTIVOS

- Resina absorbente XAD-8
- Etanol (3 veces destilado)
- Solución ácida

- Solución básica

PROCEDIMIENTO

- a) Colocar en la columna cromatográfica aprox. 1 cm de fibra de vidrio.
 - b) Empacar la resina y cubrir de igual modo que al inicio aproximadamente 1 cm. de fibra de vidrio.
 - c) Lavar con etanol.
 - d) Lavar con la solución base.
 - e) Finalmente lavarla con solución ácida.
- Luego de este procedimiento la resina queda preparada para pasar la muestra.

EXTRACCION DE ACIDOS FULVICOS

MATERIALES

- Pera de 250 ml.
- 50 tubos de 10 x 15 mm.
- Soporte metálico
- Columna cromatográfica empacada

EQUIPOS

- Espectrofotómetro de UV/VISIBLE 8452A.
- Equipo automático recolector de fracciones SHIMADZU.

PROCEDIMIENTO

- a) Pasar 250 ml. de muestra por la resina (Acondicionada, paso II) con un flujo

DETERMINACION DE ACIDOS FULVICOS

A. PREPARACION DE LA SOLUCION ALCALINA

100 ml de agua destilada
adicionar hidroxido de sodio (NaOH)
la solucion tendra una concentracion de 0.01N

B. PREPARACION DE LA SOLUCION ACIDA

100 ml de agua destilada
adicionar acido clorhidrico (HCl 1:1N)
hasta que la solucion tenga un pH = 2

PARA LA PREPARACION
DE LA RESINA

1. PASAR POR LA RESINA LA SOLUCION ALCALINA.
2. PASAR POR LA RESINA LA SOLUCION ACIDA.

C. EXTRACCION DE LOS ACIDOS FULVICOS

Pasar 250 ml de muestra por la resina XAD-8
Recibir en fracciones de 6 ml (regular el flujo de tal
manera que sea 1ml por minuto)
Leer en UV

D. ELUCION

Agregar a la resina NaOH (0.01N pH=12) (100 ml)
Recibir fracciones de 10 ml con flujos de 0.5 ml/min
Leer en UV
Medir el pH
Acidificar las extracciones (pH=2)

E. SEGUNDA EXTRACCION

Mezclar las eluciones acidificadas
Seguir la secuencia de extraccion inicial.

Figura 6.6

EXTRACCION DE ACIDOS FULVICOS

RESINA XAD-8

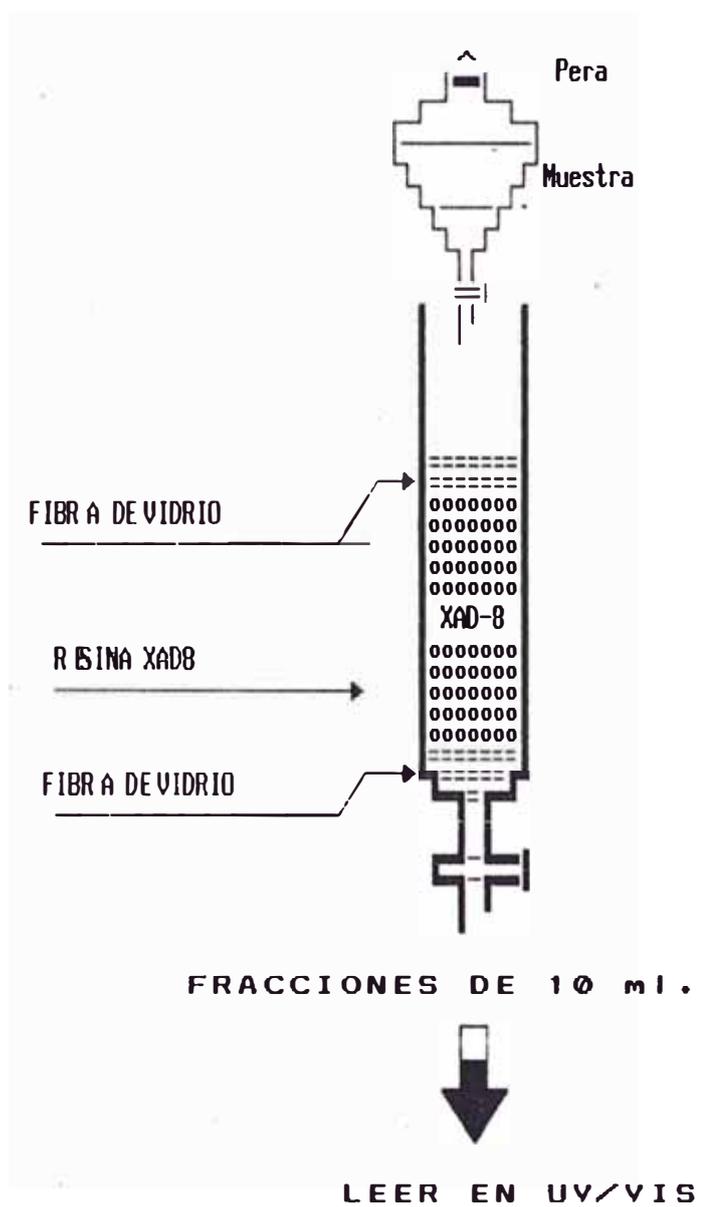


Figura 6.7

- de 1 ml/min.
- b) Las extracciones se reciben en fracciones de 10 ml. y se leen el valor de su absorbancia en el rango de 200-400 nm en UV/VIS.
 - c) Se eluye con 150 ml. de NaOH (0.1N) (ph=12) regulando el flujo a 0.5 ml/min, las absorbancias de las eluciones son leídas en UV/VIS, en el mismo rango anterior.
 - d) Medir el pH de las eluciones.
 - e) Acidificar las eluciones, y leer en UV/VISIBLE.

6.2.2.2 CARBON ORGANICO TOTAL

EQUIPO:

- ANALIZER TOTAL ORGANIC CARBON
TOC - 500 - SHIMADZU

MATERIALES:

- 2 Fiolas de 500 ml.
- 2 Fiolas de 50 ml.
- Pipetas de 10 ml y 0.1 ml.

PROCEDIMIENTO

- a) Preparar Agua libre de CO₂.
- b) Preparar 500 ml. de Solución Patrón de 400 ppm para el análisis de Carbón

Total (TC).

- c) Preparar 500 ml. de la Solución Patrón para el análisis de Carbón Inorgánico (IC).
- d) Determinar el rango de la muestra a leer.
- e) Preparar solución estándar de 40 ppm a partir de la solución patrón de TC.
- f) Preparar solución estándar de 40 ppm a partir de la solución patrón de IC.
- g) Encender el analizador de TOC, y esperar por 15 minutos.
- h) Abrir la llave del balón de gas de oxígeno a 1 Kg/cm de presión.
- i) Regular el flujo a 150 ml/min.
- j) Introducir los datos.
- k) Inyectar 40 ul. del estándar alto de 40 ppm de TC. y del agua libre de CO₂ como valor del blanco o testigo (0 ppm).
- l) Inyectar 40 ul. del estándar alto de 40 ppm de IC y del agua libre de CO₂ como valor del blanco testigo (0 ppm).
- m) Inyectar 40 ul. de la muestra a analizar en el orificio de TC.
Realiza 3 inyecciones por muestra.
- n) De igual manera inyectar 40 ul. de la muestra en el orificio de IC.

o) Obtener el valor de COT por diferencia:

$$\text{COT} = \text{CT} - \text{IC}$$

6.2.2.3 DEMANDA DE CLORO

APARATOS

- Erlenmeyer con tapa de 250 ml.

REACTIVOS

- Yoduro de potasio, cristales.
- Solución de tiosulfato de sodio 0,025N.
- Solución indicadora de almidón
- Acido sulfúrico concentrado
- Solución concentrada de cloro

PROCEDIMIENTO

- a) Vertir 250 ml. de muestra en cada uno de los erlenmeyeres.
- b) Agregar cantidades de la solución de cloro: 100, 200, 300 mg/l, etc.
- c) Dejar reposar a temperatura ambiente y en la oscuridad por 1 hora.
- d) Determinar el cloro residual por el método Yodométrico.
- e) Si el cloro residual en un erlenmeyer es menos que 1 mg/l repetir la determinación.
- f) Guardar las porciones de muestra res-

tante por 24 horas, y luego hacer las determinaciones.

CALCULOS

DEMANDA A UNA HORA

- a) Calcular el cloro en mg/lt añadido a cada una de las porciones.
- b) Restar el cloro residual determinado. El resultado es la demanda de cloro a 1 hora.

DEMANDA A LAS 24 HORAS

- a) Calcular el cloro residual de las porciones, por el método yodométrico.
- b) Restar el cloro residual determinado menos el valor del cloro añadido inicialmente.

6.2.2.4 DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO

METODO DE DICROMATO DE POTASIO

APARATOS

- Equipo de reflujo que consiste de frascos de 250 ml con cuello esmerilado 24/40 y condensadores de tipo Liebig
- Cocinilla que produzca por lo menos 1.4 W/cm² de superficie de calentamiento, para asegurar una ebullición adecuada para un frasco de reflujo.

REACTIVOS

- a) Solución Stándar de dicromato de potasio 0.25N
- b) Reactivo de Digestión: ácido sulfúrico y Sulfato de Plata.
- c) Titulante de sulfato amónico ferroso, 0.1 N
- d) Indicador Ferroína

PROCEDIMIENTO

- a) Poner 5 ml de muestra en un frasco de reflujo de 250 ml.
- b) Adicionar varias perlas de vidrio
- c) Se adicionan 10 ml. del Reactivo Digestor, muy lentamente para disolverlo bien. Se enfría mientras se produce la mezcla para evitar posibles pérdidas de materiales volátiles presentes en la muestra.
- d) Se adicionan 5 ml de la solución de dicromato de potasio 0.25N y se mezcla otra vez.
- e) Se coloca el condensador. Se asegura que la mezcla ha sido completa antes de aplicarle calor, porque podría ocurrir un calentamiento localizado en la base del frasco con proyección de la mezcla por el condensador.

DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO

Echar en un balon de 250 ml 5 ml de Muestra y agregar perlas de vidrio.

Agregar 5 ml de $K_2Cr_2O_7$ 0.250N y mezclar bien.

Agregar 10 ml de H_2SO_4 + Ag_2SO_4 , mezclar

Colocar el condensador y poner en reflujo durante 2 horas

Agregar 3 gotas del Indicador Ferroina.

Titular hasta vire de color verde a rojo-marron.

Preparar un blanco con agua destilada y someter a reflujo

Poner en balon Muestra y perlas de vidrio.

Agregar Solucion Standar de Dicromato de Potasio

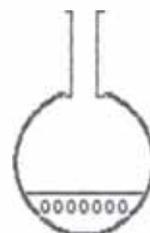
Agregar del Reactivo de Digestion

Colocar la mezcla en reflujo.

Agregar Indicador Ferroina.

Titular con Sulfato Amonico Ferroso 0.1 N

Colocar en reflujo el Blanco de Reactivo.



Balon de 250 ml con $K_2Cr_2O_7$ 0.250N y H_2SO_4 + Ag_2SO_4

Figura 6. 8

- f) Colocar la mezcla en reflujo durante 2 horas.
- g) Se enfría la muestra a la temperatura del ambiente y se titula el exceso de dicromato con la solución de sulfato amónico ferroso 0.1N, usando 2 a 3 gotas del indicador ferroína.
Usar como punto final el viraje del color verde a rojo-marrón.
- h) Someter a reflujo en la misma forma el blanco de reactivo que consiste de agua destilada, en igual volumen que la muestra, junto con los reactivos usados con la muestra.

6.2.2.5 SOLIDOS DISUELTOS VOLATILES

METODO GRAVIMETRICO

EQUIPOS:

- Mufla
- Equipo de radiación infrarrojo
- Balanza electrónica
- Desecador

MATERIALES

- Crisoles de porcelana
- Pinzas

- Guantes

PROCEDIMIENTO

- a) Encender la mufla y dejar que caliente hasta 550°C.
- b) Colocar los crisoles en la mufla durante 20 minutos.
- c) Colocar los crisoles en el desecador, para que se enfríen y, luego pesarlos.
- d) Colocar 30 ml. de muestra en los crisoles y ponerlos bajo los rayos Infrarrojos hasta que evapore el líquido.
- e) Colocar en desecador.
- f) Pesar en la Balanza.
- g) Colocar los crisoles en la mufla a 550° por 20 minutos.
- h) Colocar los crisoles en el desecador y pesarlos.
- i) Obtener el resultado por diferencia de los sólidos totales menos los sólidos fijos.

6.2.3 PRUEBAS PARA EVALUAR LA EFICIENCIA DE LA CAPACIDAD DE LOS GASES OXIDANTES

6.2.3.1 INYECCION DE GASES OXIDANTES

Para inyectar los Gases Oxidantes a la

Muestra coloreada, se realizaron pruebas de Tipo Batch, a nivel de Laboratorio.

EQUIPO

- Equipo de Desinfección MOGGOD - OZONE TECHNOLOGY CORP.
- Bomba Peristáltica 115 V 50/60Hz
- Cronómetro

MATERIALES:

- Big-Pringer de 250 ml con difusor poroso.
- Manguera de Teflón
- Muestra Sintética Coloreada.

PROCEDIMIENTO:

- a) Colocar en el Big-Pringer 250 ml. de muestra coloreada.
- b) Instalar el sistema de inyección, conectando una salida de la bomba al Big-Pringer.
- c) Poner en funcionamiento el Equipo MOGGOD, a 2 amperios, durante 15 minutos.
- d) Conectar la salida del Equipo MOGGOD a la Bomba peristáltica y encender la bomba.
- e) Simultáneamente poner en marcha el

cronómetro.

- f) Al término de los 3 minutos, detener simultáneamente el cronómetro, el Equipo MOGGOD y la bomba peristáltica.
- g) Inmediatamente después, realizar los análisis de laboratorio. En la siguiente sección se indican los parámetros evaluados.
- h) Repetir el procedimiento, sólo variando el tiempo de inyección a 6, 9, 12 y 15 minutos.

6.2.3.2 EVALUACION DE LA CAPACIDAD OXIDANTE

Para medir la capacidad oxidante, antes y luego de la inyección de los gases oxidantes a la muestra coloreada, se miden los siguientes parámetros:

- a) Acidos Fúlvicos: Método de Extracción por Resina Absorbente XAD-8.
- b) Color: Método Colorimétrico
- c) Demanda Química de Oxígeno: Método dicromato de Potasio.
- d) Sólidos Disueltos Volátiles: Método Gravimétrico.
- e) pH: Método Potenciométrico.

Con cada muestra, inmediatamente después

de la inyección de gases oxidantes, se efectuaron las mediciones antes indicadas.

6.2.4 MEDICION DE TRIHALOMETANOS EN EL AGUA TRATADA

METODO DE EXTRACCION POR SOLVENTE

MATERIALES

- Frascos de vidrio con tapa esmerilada
- Cilindros graduados a 10 ml. con tapa esmerilada o teflón.
- Matraces aforados a 100 ml. y 50 ml.
- Microjeringas de 1 ul. y 5 ul. (micro litros)
- Eter de petróleo de alta pureza con un rango de T° de 35 - 45°C exento de cloroformo, el cual debe ser chequeado antes de cada análisis.

EQUIPOS Y REACTIVOS

- Cromatógrafo de gases con detector de captura de electrones - Hewlett Packard 589U.
- Nitrógeno de 99.9999 % de pureza como gas de arrastre.
- Columna cromatográfica de 2 mt. de largo enrollado.
- Empaque de columna. Se pueden emplear cualquiera de los siguientes:
0.2 % carbowax TM 1500 en carbopack TM-C (80/-100 mesh).

3% OV-1 en cromosorb TM-W(60-80 mesh)

3% SP-1000 en cromosorb Waw (60-80 mesh)

LAVADO DEL MATERIAL DEL VIDRIO

El material a emplearse se debe someter a un riguroso lavado especial.

- Sumergir el material de vidrio en una solución de detergente neutro (Extrán).
- Enjuagar con abundante agua destilada y sumergir en solución sulfocrómica por unas horas.
- Poner a secar y pasar por solvente puro (éter de petróleo de alta pureza)
- Almacenar en lugar libre de contaminación.

MUESTREO

Medir el cloro residual libre de la muestra sintética tratada con los gases oxidantes.

ANALISIS

- a) Esperar que la muestra tome la temperatura ambiente
- b) Medir en el cilindro graduado 8 ml. de muestra.
- c) Agregar 2 ml. de éter de petróleo.
- d) Tapar y agitar por tres minutos.
- e) Esperar a que se separe la fase acuosa de la orgánica.
- f) Tomar 1 ul. de la fase orgánica e inyectarlo en el cromatógrafo de gases.

- g) Registrar las áreas (A_m) de cada pico del cromatograma que correspondan a cada compuesto organoclorado identificado por los estándares.
- h) En los matraces aforados preparar estándares, los cuales deben cubrir el rango posible de concentración de THMs en la muestra.

CALCULOS

P_1 = Promedio del área de los picos obtenidos de los estándares de THMs.

C_1 = Concentración del estándar.

A_m = Área de la muestra.

D_1 = Factor de concentración de la muestra.

C_m = Concentración de la muestra problema.

$$C_m = \frac{A_m * C_1}{P_1 * D_1}$$

CAPITULO 7

RESULTADOS

7.1 CUANTIFICACION DE LA PRODUCCION DE GASES OXIDANTES

7.1.1 MEDICION DE FLUJO DE GASES PRODUCIDOS

La medición del flujo de gases producidos por el equipo MOGGOD, tal como se menciona en la metodología, se realizó a través de un gasómetro colocado a la salida del equipo, provocando con éste la presión diferencial que genera la succión de los gases y captándose de esta forma en el gasómetro.

Los resultados obtenidos se presentan en los cuadros 7.1 y 7.2.

De los resultados se obtiene que el flujo de gases es afectado por la variación de corriente suministrada, en los gráficos 7.1 y 7.2 se observa el flujo de gases oxidantes obtenidos en lt/s, mientras que los gráficos 7.3 y 7.4 muestran la producción de gases en Kg/día.

CUADRO 7.1

MEDICION DEL FLUJO DE GASES OXIDANTES

AMPERAJE (amp.)	CLORO (lt/min)	OZONO (lt/min)	FLUJO (lt/min)
2	0.03	0.41	0.44
4	0.05	0.43	0.48
6	0.08	0.44	0.52
8	0.09	0.45	0.54
10	0.14	0.49	0.63

CUADRO 7.2

PRODUCCION DE GASES OXIDANTES

AMPERAJE (amp.)	CLORO (Kg/dia)	OZONO (Kg/dia)	FLUJO (Kg/dia)
2	0.14	1.27	1.41
4	0.23	1.33	1.56
6	0.37	1.36	1.73
8	0.42	1.39	1.81
10	0.65	1.51	2.16

MEDICION DE FLUJO DE GASES PRODUCIDOS

FLUJO DE GASES OXIDANTES vs. AMPERAJE

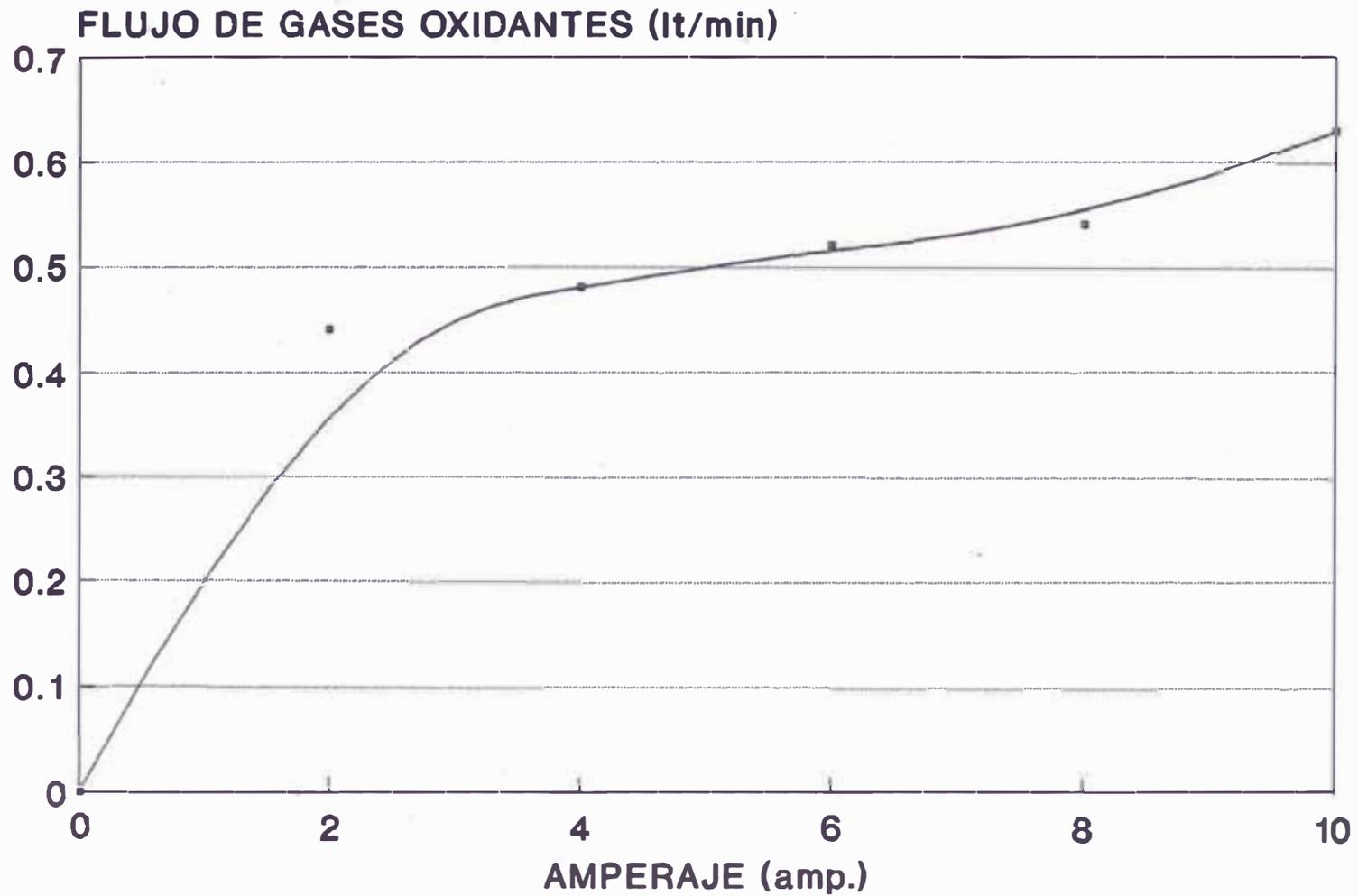


GRAFICO 7.1

MEDICION DEL FLUJO DE GASES PRODUCIDOS

FLUJO DE GASES OXIDANTES vs. AMPERAJE

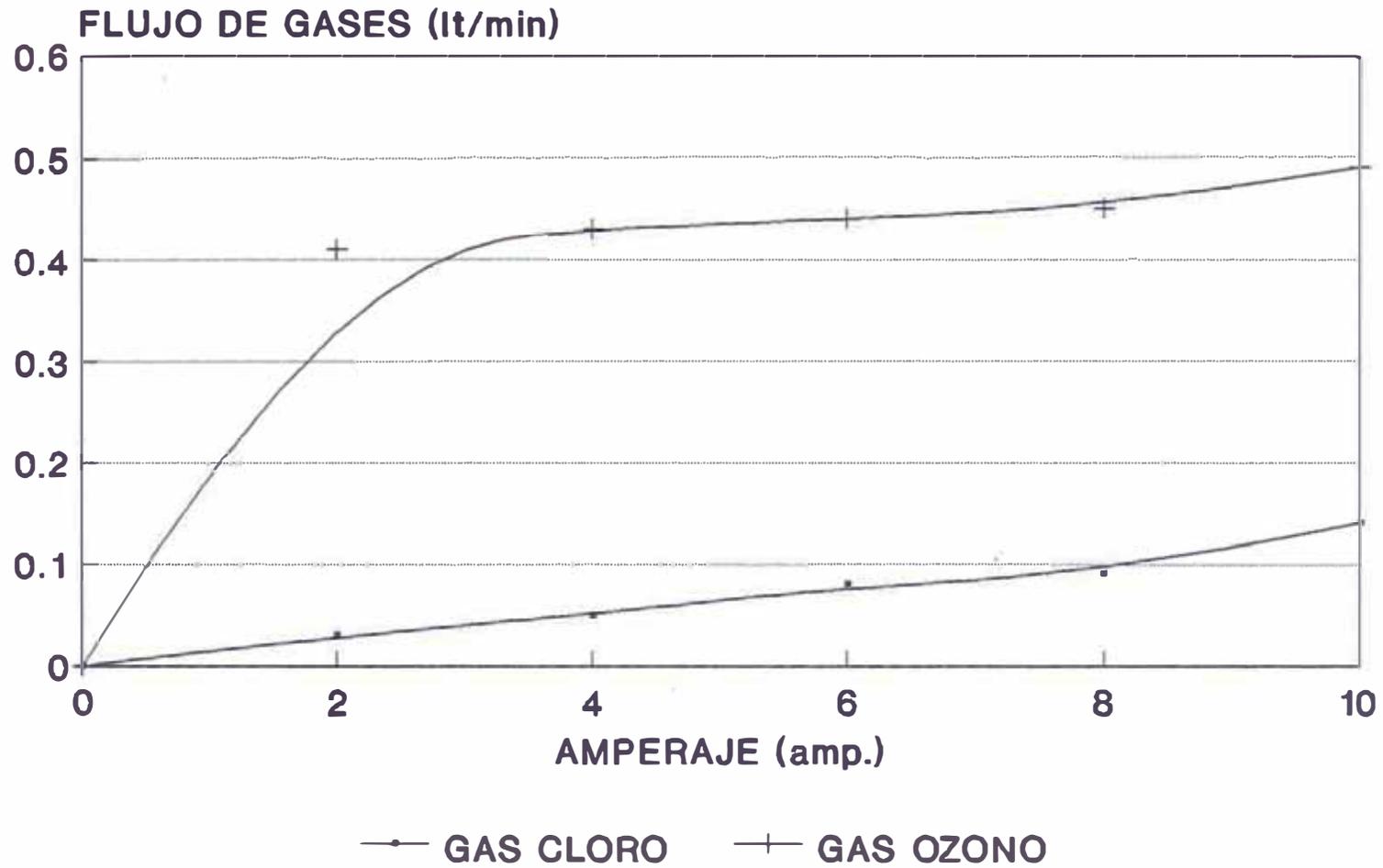


GRAFICO 7.2

PRODUCCION DE GASES OXIDANTES

FLUJO DE GASES OXIDANTES vs. AMPERAJE

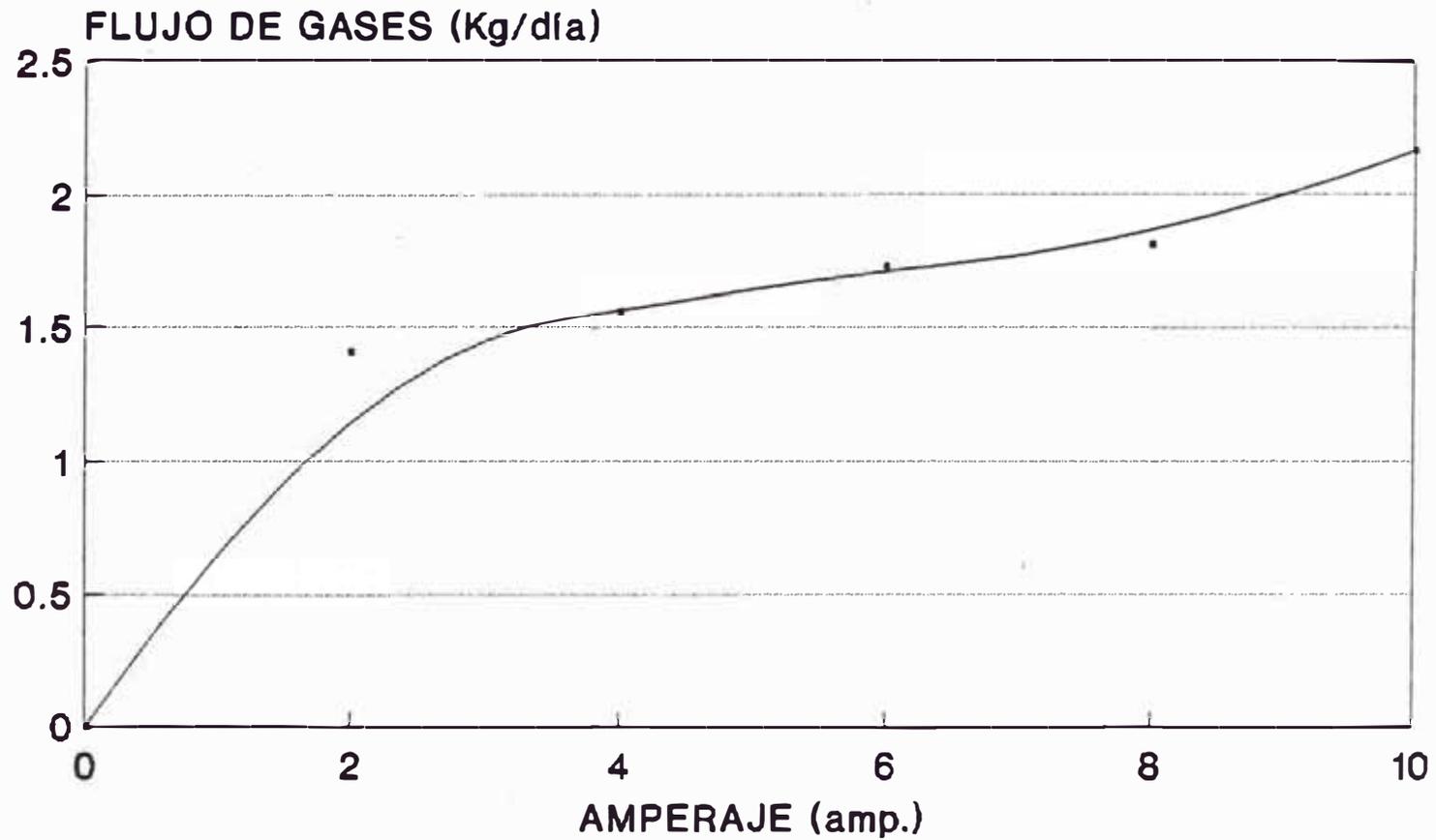


GRAFICO 7.3

PRODUCCION DE GASES OXIDANTES

FLUJO DE GASES OXIDANTES vs. AMPERAJE

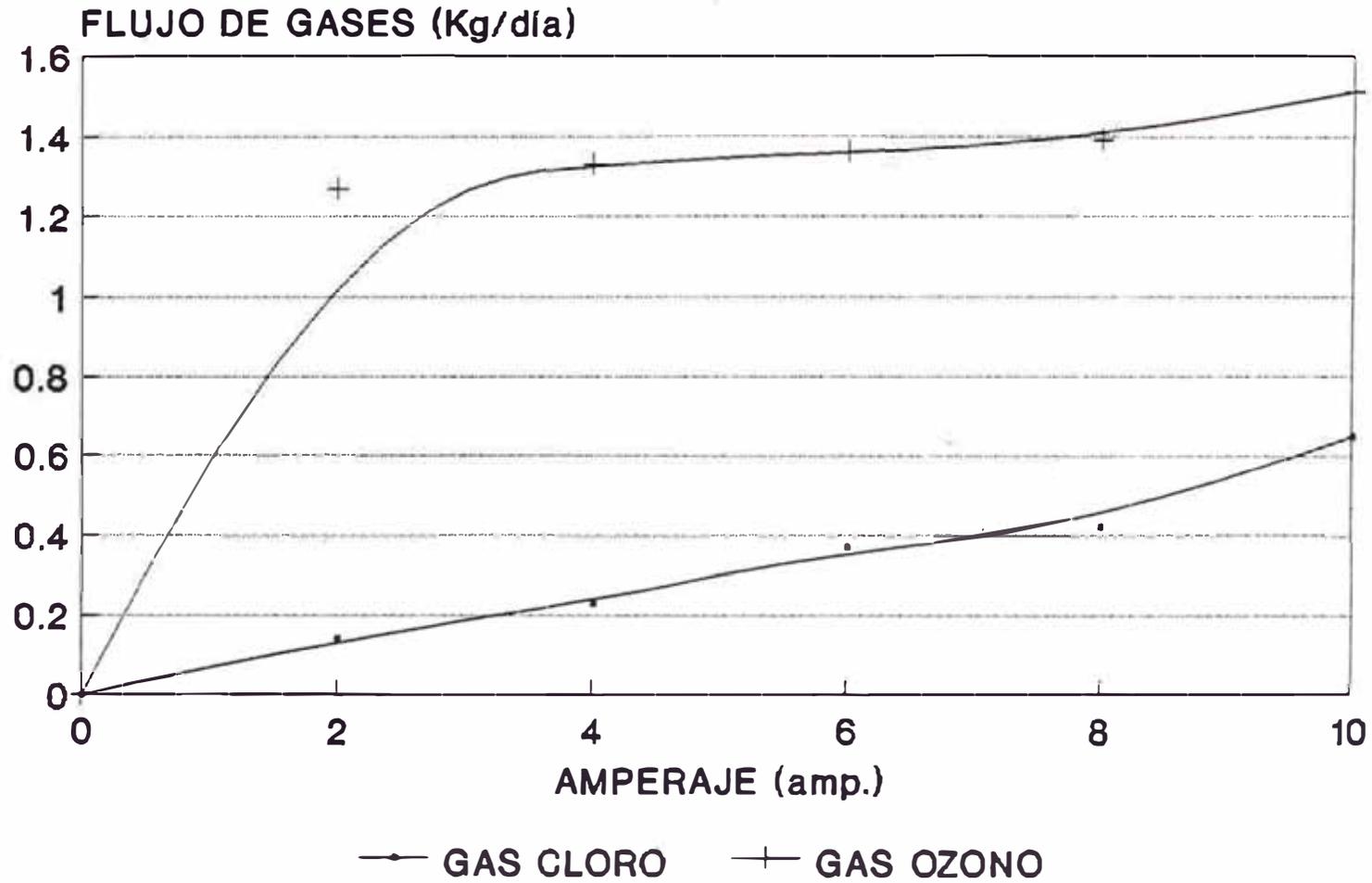


GRAFICO 7.4

7.1.2 TIPOS DE GASES PRODUCIDOS

Se realizó un análisis cuantitativo de la mezcla de gases generados, a fin de determinar la proporción existente entre el cloro y el ozono.

Como se menciona en la metodología del Capítulo anterior, se diseñó un sistema que capte los gases en una solución de NaOH 0.1N y luego, estequiométricamente se obtiene la cantidad de cloro y de ozono producidos.

7.1.2.1 CLORO

Al mezclar en la pera los gases oxidantes producidos por el equipo MOGGOD, y la solución de NaOH, se obtiene la sgte. reacción:



En la Cuantificación del Gas Cloro, expresado en el cuadro 7.3 se muestran los resultados de cloro como hipoclorito de sodio y como cloruros, obteniéndose finalmente el Cloro Total de la mezcla de gases.

La producción del gas cloro del equipo MOGGOD está relacionada en forma directa a la electrólisis del cloruro de sodio

que a la vez depende de la intensidad de corriente suministrada.

En el gráfico 7.6 se puede observar que los resultados coinciden con lo anterior, ya que a mayor cantidad de amperaje se incrementa la cantidad de gas cloro producido.

7.1.2.2 OZONO

La cantidad de gas de ozono producido por el equipo MOGGOD, se determinó indirectamente por diferencia del total de gases captados en la pera, siendo éste 50 ml, y del Total de gas Cloro obtenido anteriormente.

Volumen Pera= 167 ml.

Volumen de Gases Oxidantes captados=50ml.

Volumen de mezcla Solución NaOH= 117 ml.

Los resultados de la producción del gas ozono detallados en el cuadro 7.4, se obtuvieron siguiendo la secuencia sgte.:

Del cuadro 7.3, se obtiene la cantidad total de cloro en mg/lt formado en la pera a cada amperaje, a partir de estos datos calculamos la cantidad de gas cloro

en gramos, producido por el equipo MOGGOD.

$$\begin{aligned} (X) \text{ mg. Gas Cloro} & \text{-----} 1000 \text{ ml} \\ (X) \text{ mg. Cl}_2 & \text{-----} 117 \text{ ml} \\ (Y) \text{ gr. Cl}_2 & = \frac{X(\text{mg}) \text{ Cl}_2 \times 117 \text{ ml}}{1000 \text{ mg} \times 1000 \text{ ml}} \end{aligned}$$

Calculamos la cantidad de moles de gas cloro, a partir de los datos obtenidos en el paso anterior:

$$\begin{aligned} 1 \text{ mol Cl}_2 & \text{-----} 71 \text{ gr.} \\ (Z) \text{ mol Cl}_2 & \text{-----} (Y) \text{ gr. Cl}_2 \\ (Z) \text{ mol Cl}_2 & = \frac{1 \text{ mol Cl}_2 \times (Y) \text{ gr. Cl}_2}{71 \text{ gr.}} \end{aligned}$$

Calculamos el volumen de gas cloro producido por el MOGGOD, a condiciones normales:

$$\begin{aligned} 1 \text{ mol Cl}_2 & \text{-----} 22.4 \text{ lt.} \\ (Z) \text{ mol Cl}_2 & \text{-----} (V) \text{ lt. Cl}_2 \\ (V) \text{ ml Cl}_2 & = \frac{Z \text{ mol Cl}_2 \times 22.4 \text{ lt} \times 1000}{1 \text{ mol Cl}_2} \end{aligned}$$

El volumen del gas ozono, se obtiene por diferencia, siendo el total de gases

oxidantes captados= 50 ml.

$$(V) \text{ ml } O_3 = 50 \text{ ml} - (V) \text{ ml } Cl_2$$

Obteniéndose de esta forma, la cantidad de gas ozono producido por el equipo MOGGOD, dichos resultados se detallan en el cuadro 7.4.

La proporción en porcentaje de los gases cloro y ozono en relación al amperaje se muestran en los gráficos 7.7 y 7.8, obteniéndose para el máximo amperaje (10 amperios) el 22.4 % de gas cloro, y un 77.6 % de gas ozono y otros.

CUADRO 7.3

CUANTIFICACION DEL GAS CLORO

AMPERAJE (amperios)	CLORUROS (mg/lt)	CLORO COMO CLORUROS (mg/lt)	HIPOCLORITO DE SODIO (mg/lt)	CLORO TOTAL (mg/lt)
2	39.5	47.9	53.18	101.1
4	47.9	58.1	78.00	136.1
6	83.8	101.7	99.30	201.0
8	89.6	108.7	117.0	225.7
10	111.7	135.6	166.6	302.2

CUADRO 7.4

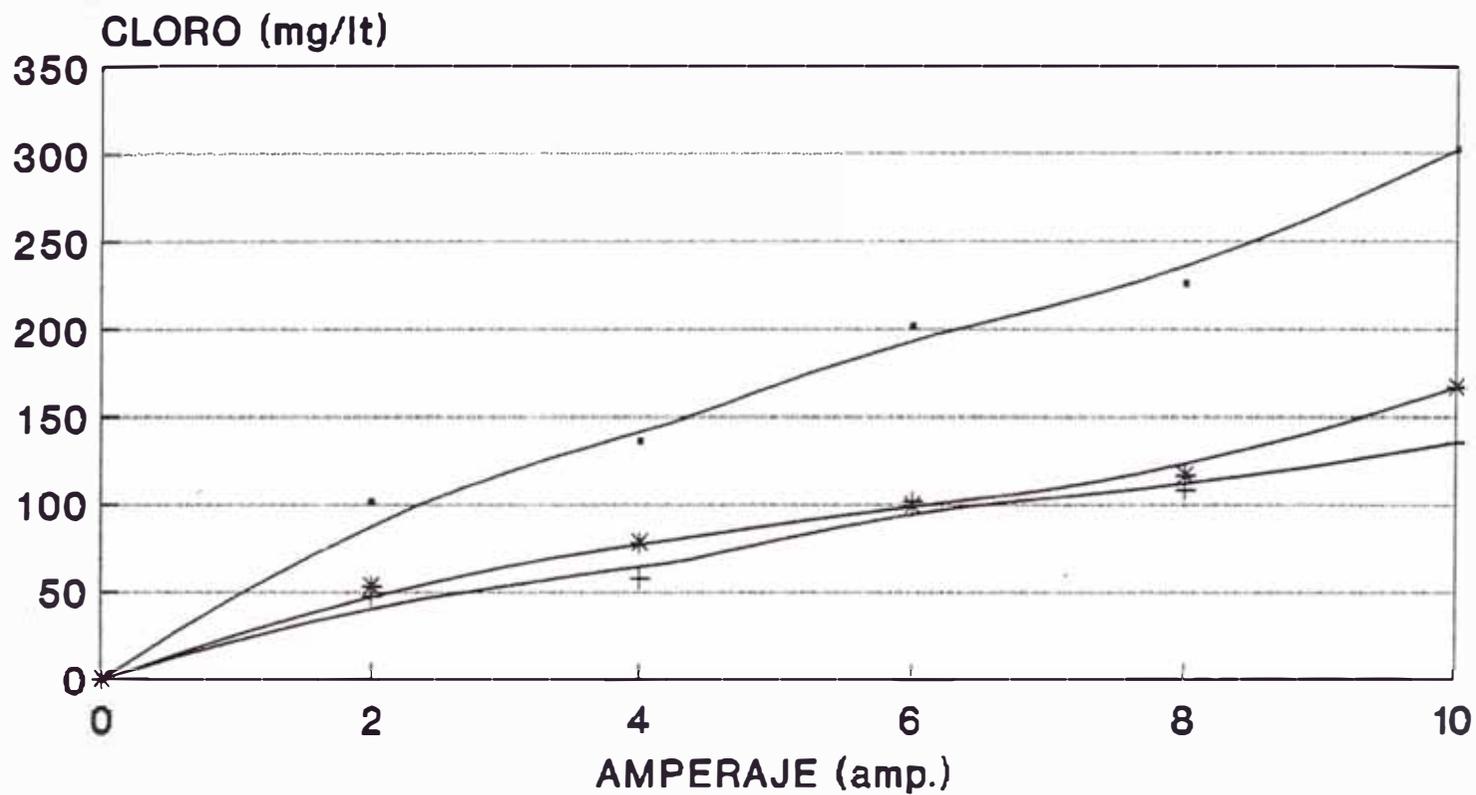
PRODUCCION DEL GAS OZONO

Volumen de Gases Oxidantes = 50 ml.

AMPERAJE (amperios)	CLORO (ml.)	OZONO (ml.)	CLORO (%)	OZONO (%)
2	3.7	46.3	7.4	92.6
4	5.0	45.0	10.0	90.0
6	7.4	42.6	14.8	85.2
8	8.3	41.7	16.6	83.4
10	11.2	38.8	22.4	77.6

CUANTIFICACION DEL GAS CLORO

CLORO vs. AMPERAJE



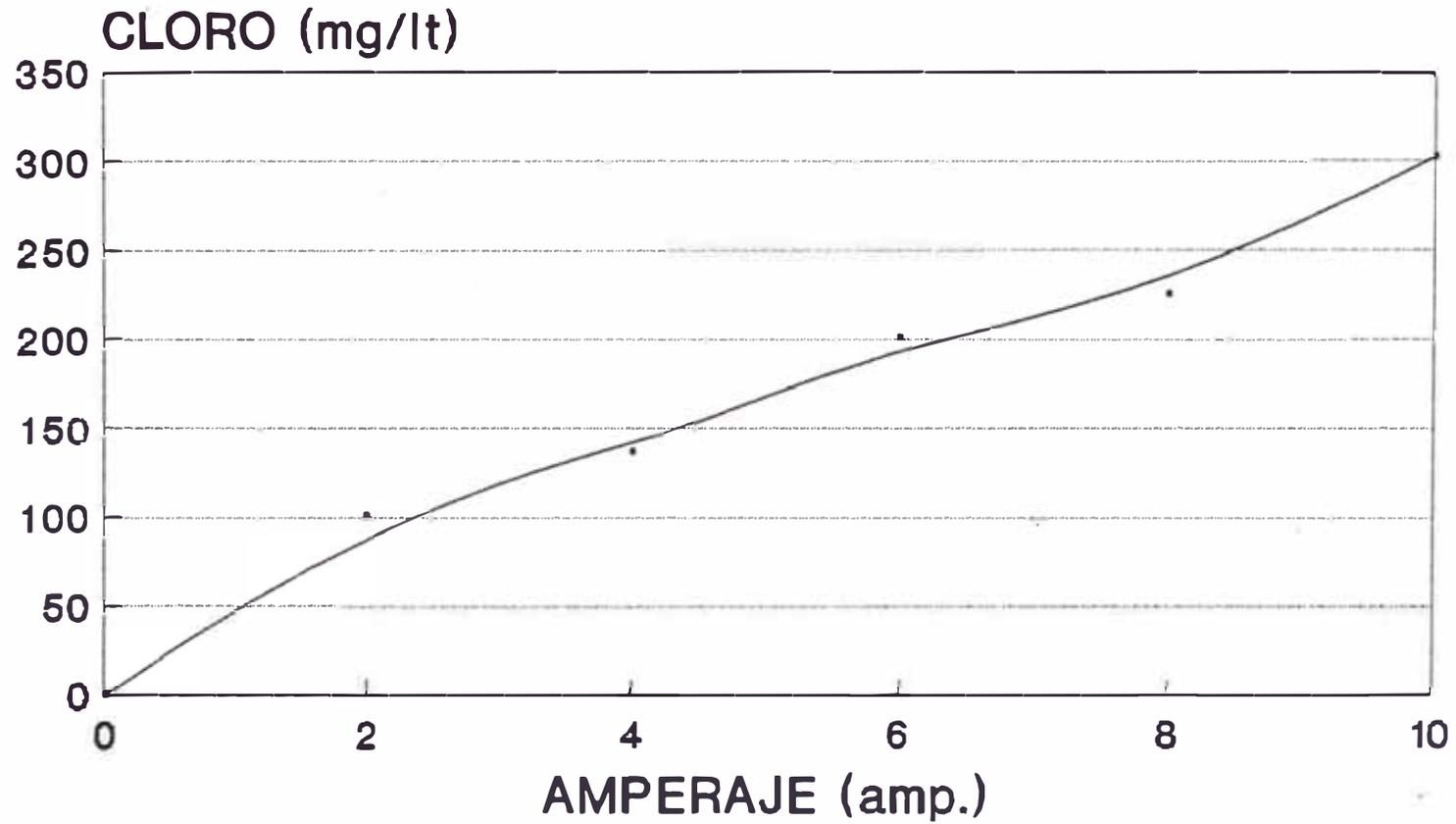
— GAS CLORO TOTAL
* HIPOCLOR. DE SODIO

+ CLORO COMO CLORUROS

GRAFICO 7.5

CUANTIFICACION DEL GAS CLORO

CLORO vs. AMPERAJE

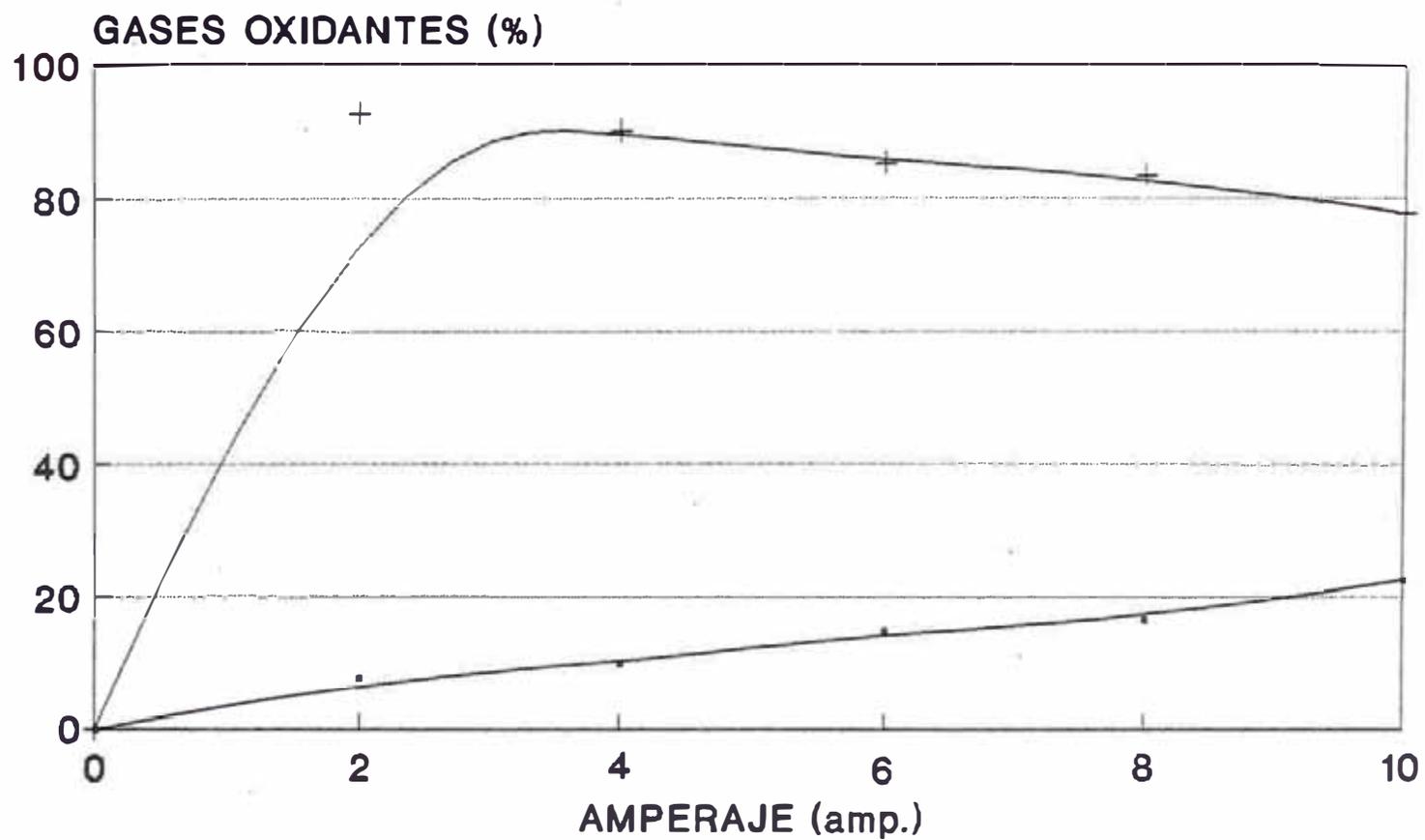


— GAS CLORO TOTAL

GRAFICO 7.6

CUANTIFICACION DE GASES OXIDANTES

GASES OXIDANTES vs. AMPERAJE



—●— GAS CLORO —+— GAS OZONO

GRAFICO 7.7

CUANTIFICACION DE GASES OXIDANTES

GASES OXIDANTES vs. AMPERAJE

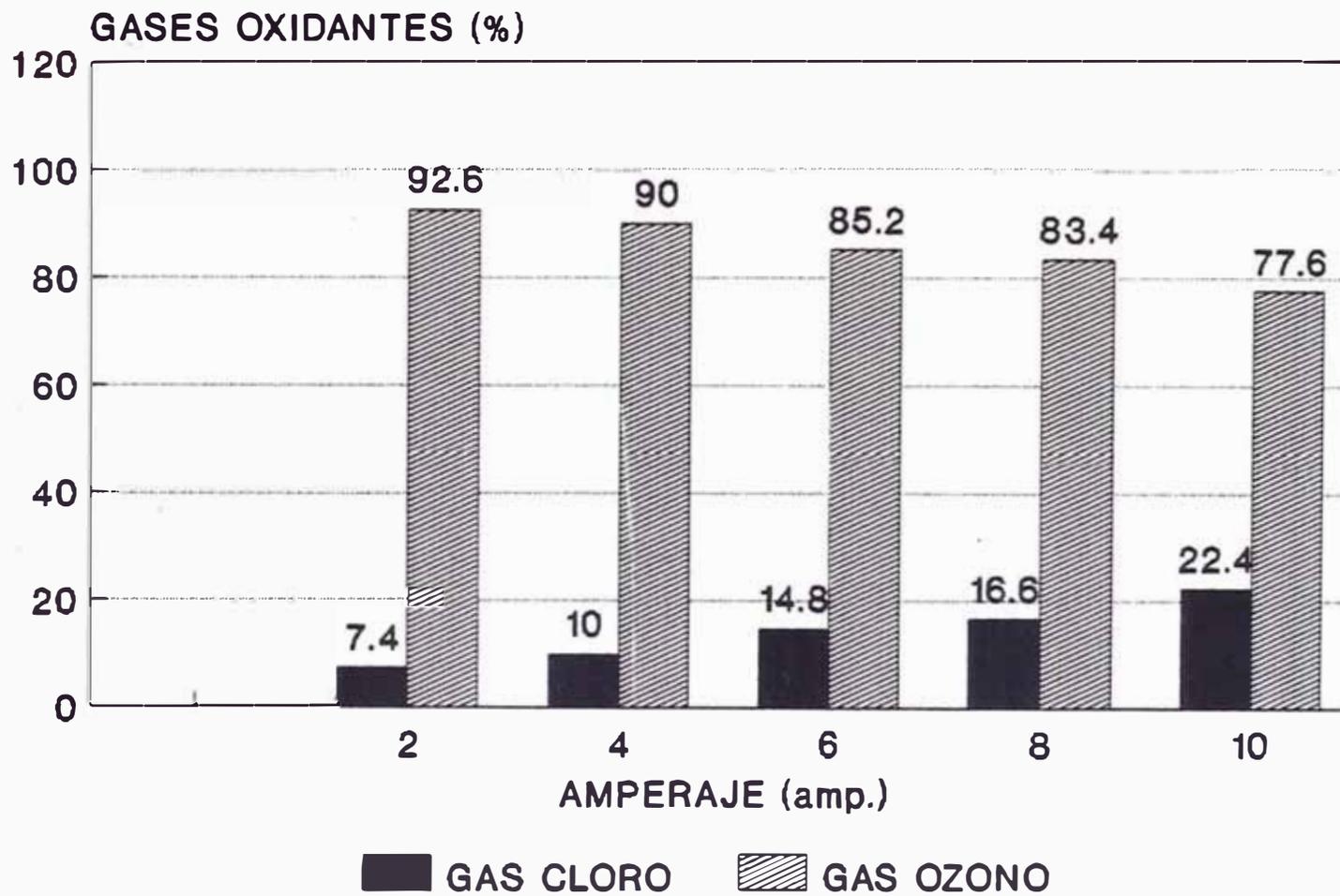


GRAFICO 7.8

7.2 EVALUACION DE LA EFICIENCIA DE LA CAPACIDAD OXIDANTE EN MUESTRA SINTETICA DE AGUA COLOREADA

La evaluación se efectuó mediante pruebas experimentales en Batch, a nivel de laboratorio; en aguas coloreadas artificialmente, elaboradas a partir de cortezas típicas de la Selva (Iquitos), las que le confieren color al agua esa región.

Las características de la muestra empleada se presentan en el cuadro 7.5.

CUADRO 7.5

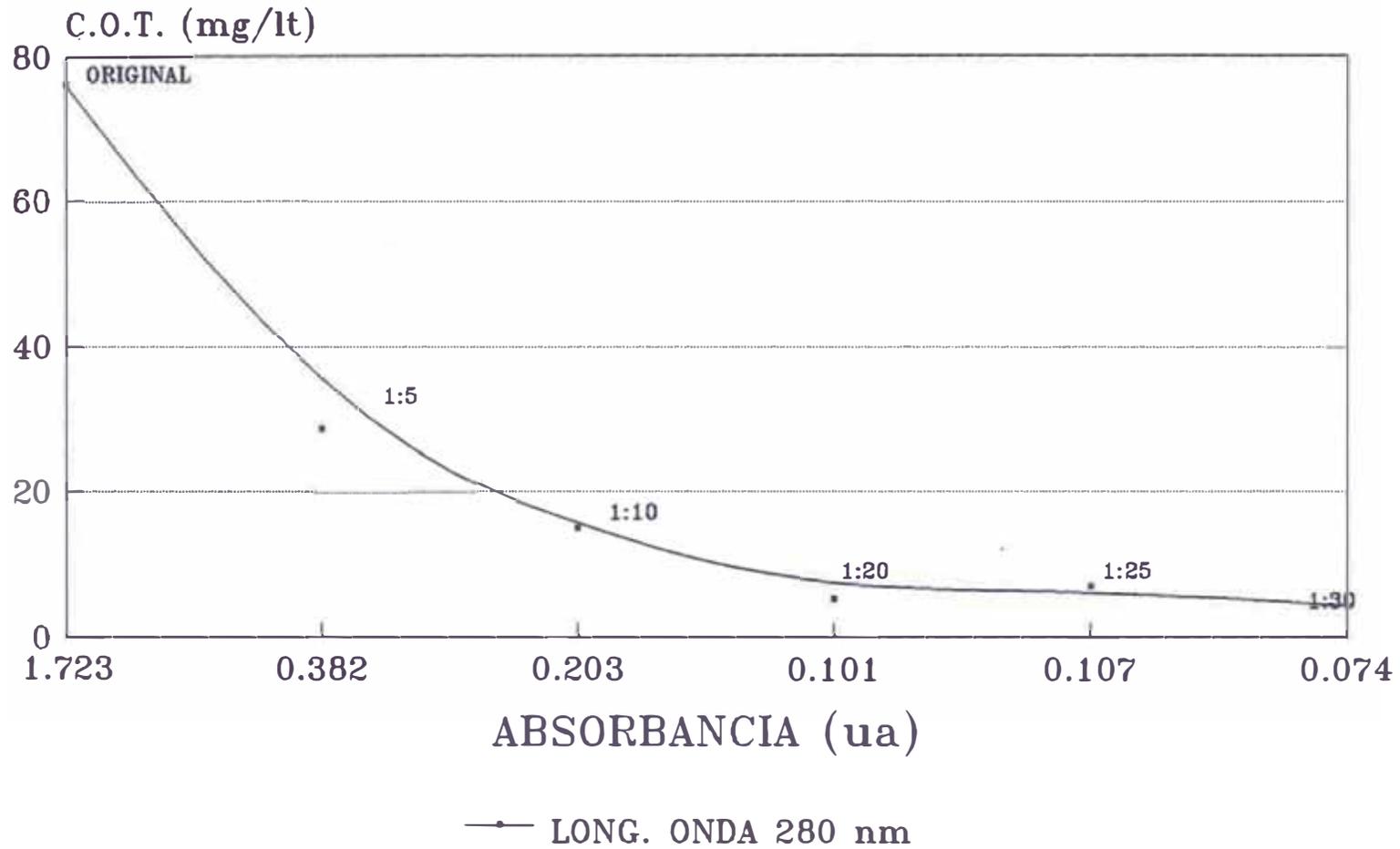
CARACTERISTICAS DE LA MUESTRA SINTETICA COLOREADA

	pH	DQO (mg/lt)	SOLIDOS DISUELTOS VOLATILES (mg/lt)	COLOR (UC)	C.O.T (mg/l)	DEMANDA DE CLORO (mg/lt)
Muestra Original	11.8	512	1522	1550	77.65	300

La demanda de cloro de la muestra se presentan en el cuadro 7.6, en la que se obtuvo una demanda de 300 mg/lt y en los gráficos 7.10 y 7.11.

En los cuadros 7.7 y 7.8, y gráficos 7.12 al 7.15 se presentan la cantidad de gases oxidantes, en litros y gramos respectivamente, que se inyectaron a 250 ml. de la muestra sintética para remover los compuestos orgánicos coloreados presentes en ella.

DILUCIONES DE MUESTRA SINTETICA C.O.T. vs. ABSORBANCIA



CUADRO 7.6

**DETERMINACION DE DEMANDA DE CLORO
DE LA MUESTRA DE AGUA COLOREADA SINTETICA**

DOSIS DE CLORO AÑADIDO A LA MUESTRA (mg/lt)	CLORO RESIDUAL (mg/lt)	DEMANDA DE CLORO (mg/lt)
80	74.76	5.64
120	81.44	38.56
200	35.41	164.56
240	17.70	223.00
360	35.41	325.00
400	331.57	68.43
500	368.26	132.73
1000	390.00	943.34

DEMANDA DE CLORO

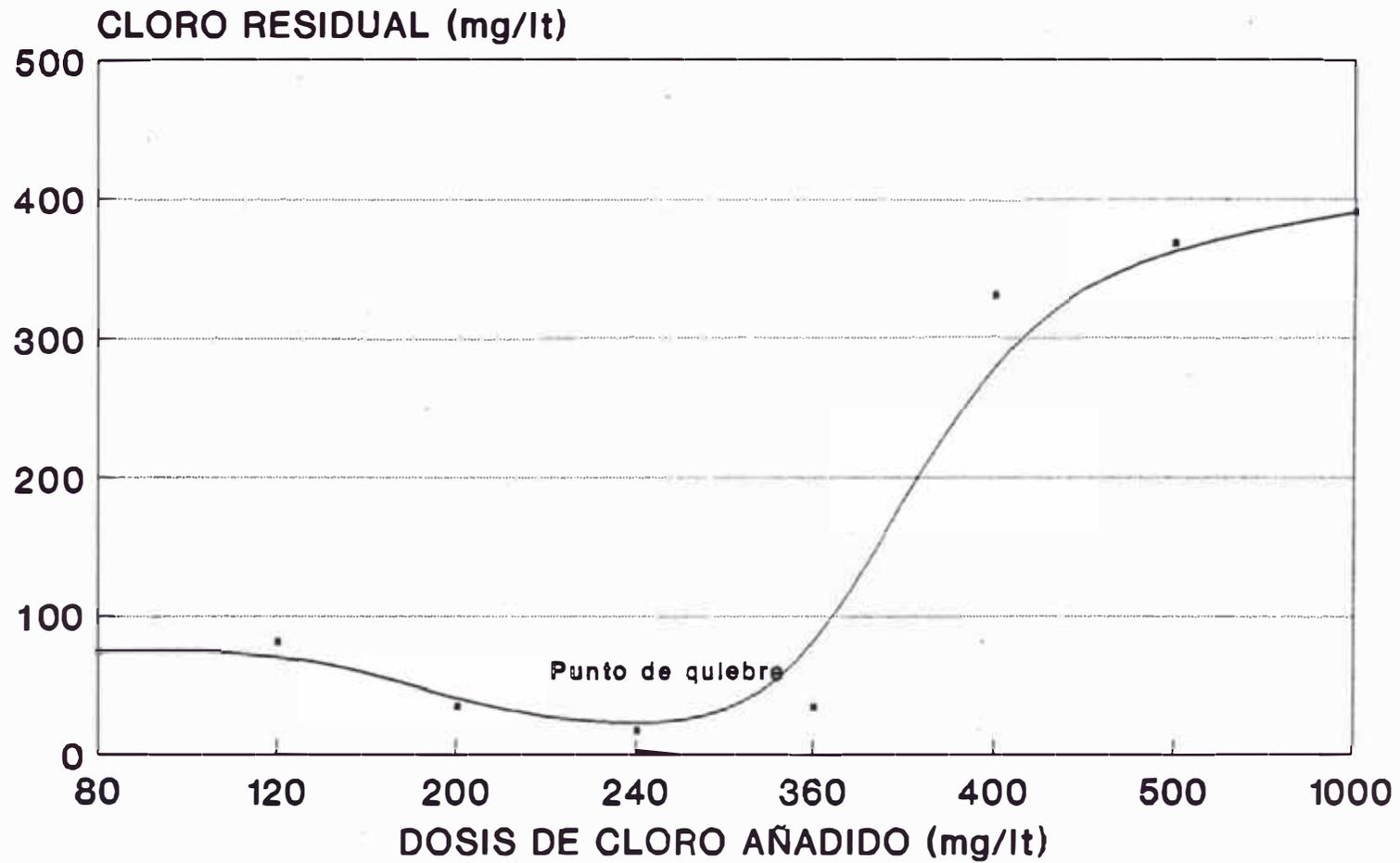


GRAFICO 7.10

DEMANDA DE CLORO

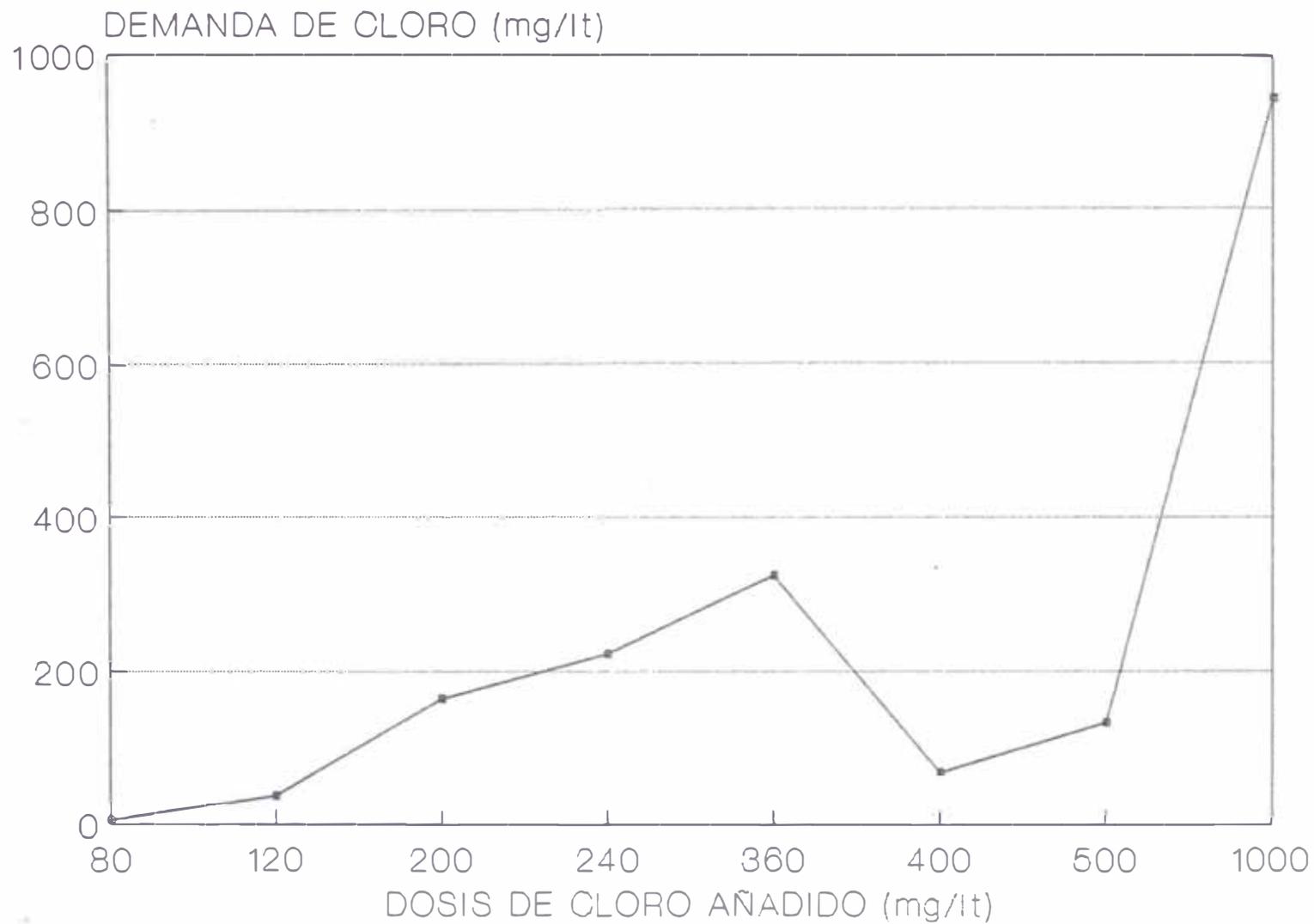


GRAFICO 7.11

CUADRO 7.7

GASES OXIDANTES INYECTADOS

(lt)

Amperaje = 2 amp.

Volumen Muestra = 250 ml

TIEMPO (min.)	COLORO (lt.)	OZONO (lt.)	GASES OXIDANTES (lt.)
3	0.09	1.23	1.32
6	0.18	2.46	2.64
9	0.27	3.69	3.96
12	0.36	4.92	5.28
15	0.45	6.15	6.60

CUADRO 7.8

GASES OXIDANTES INYECTADOS

(gr)

Amperaje = 2 amp.

Volumen Muestra = 250 ml.

TIEMPO (min.)	COLORO (gr.)	OZONO (gr.)	GASES OXIDANTES (gr.)
3	0.29	2.64	2.93
6	0.58	5.27	5.85
9	0.87	7.91	8.78
12	1.16	10.55	11.71
15	1.45	13.15	14.64

CANTIDAD DE GASES OXIDANTES INYECTADOS

VOLUMEN DE GAS vs. TIEMPO DE INYECCION

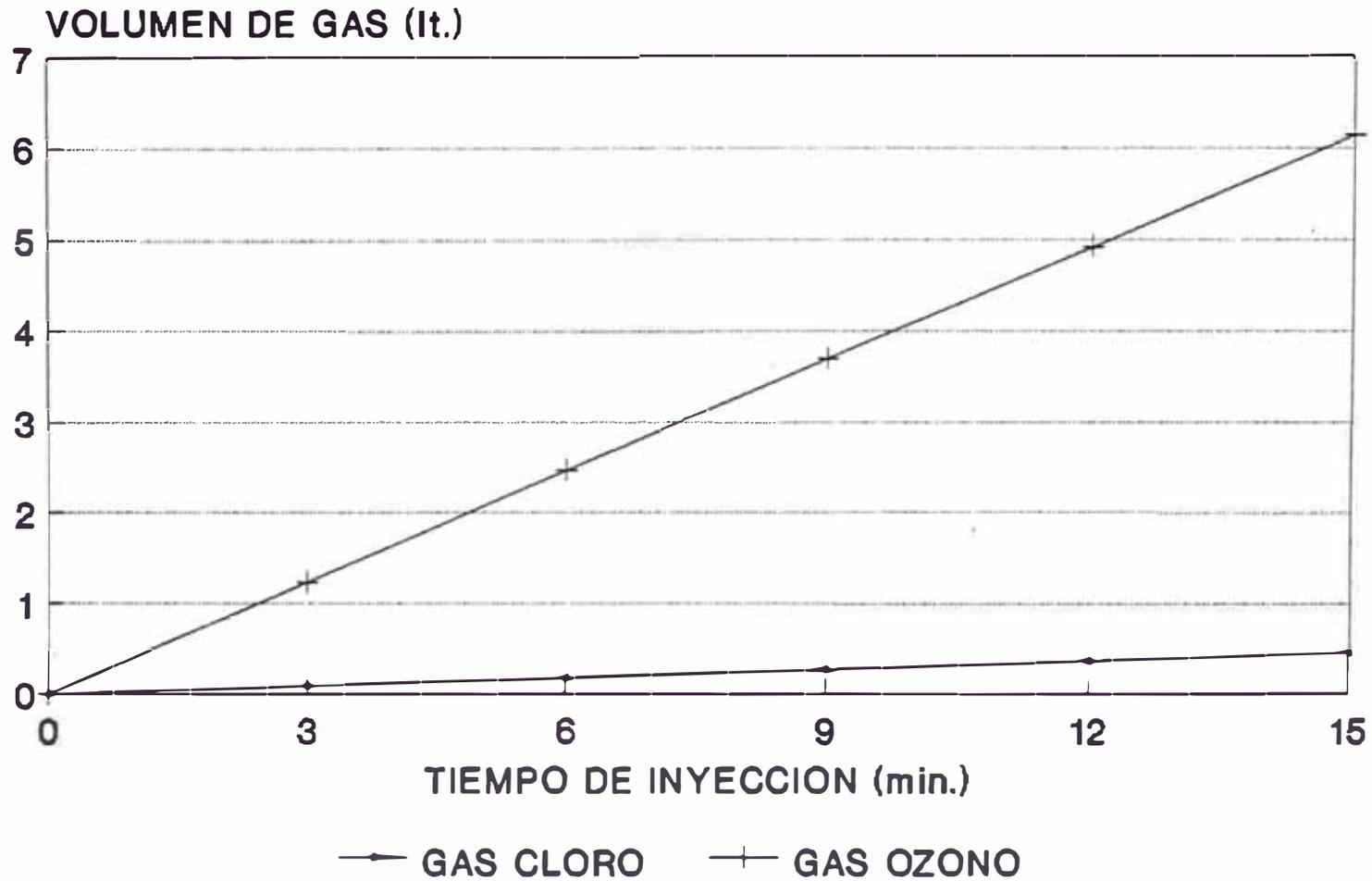


GRAFICO 7.12

TOTAL DE GASES OXIDANTES INYECTADOS VOLUMEN DE GASES vs. TIEMPO DE INYECCION

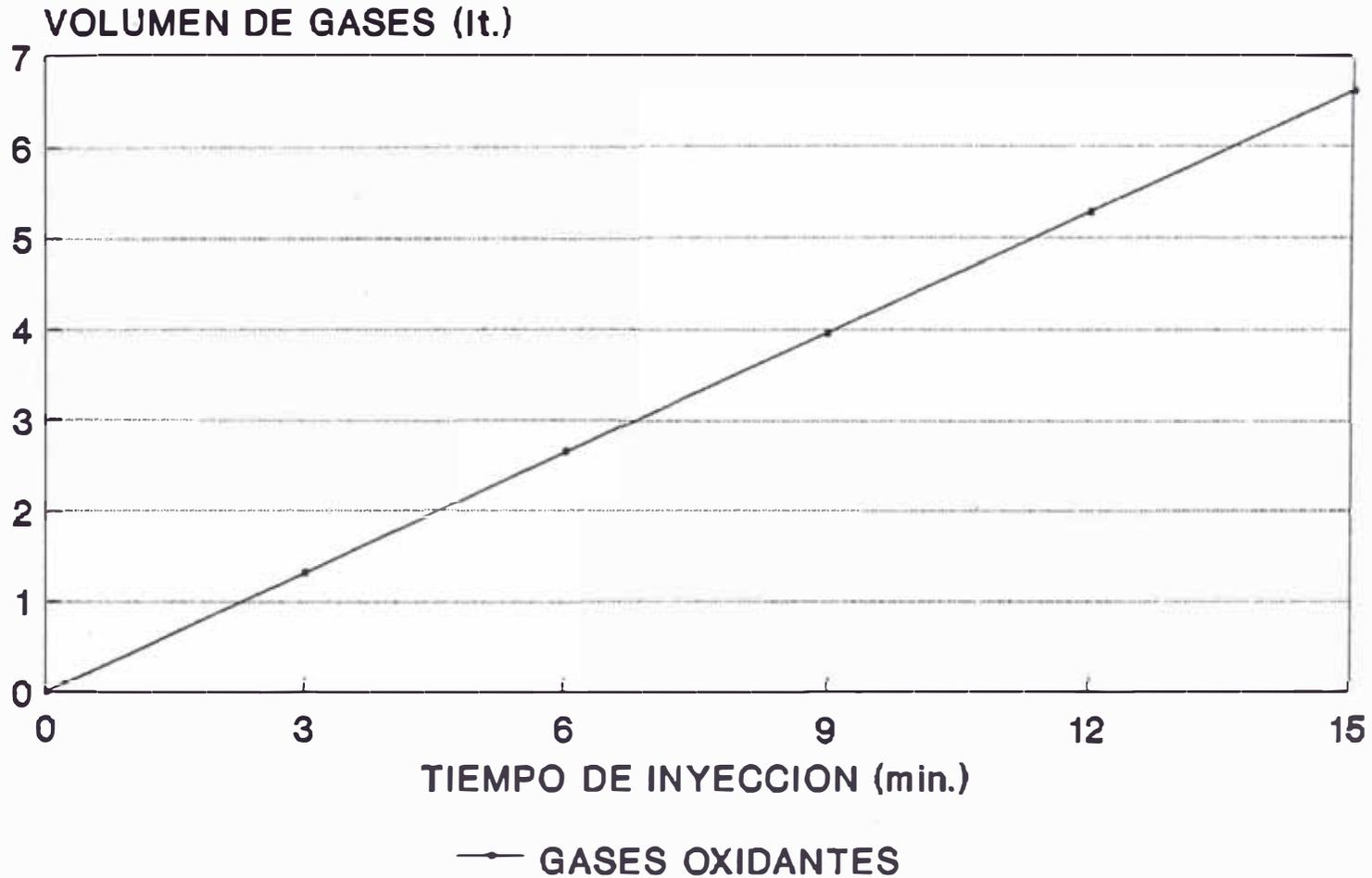


GRAFICO 7.13

CANTIDAD DE GASES OXIDANTES INYECTADOS PESO DE GAS vs. TIEMPO DE INYECCION

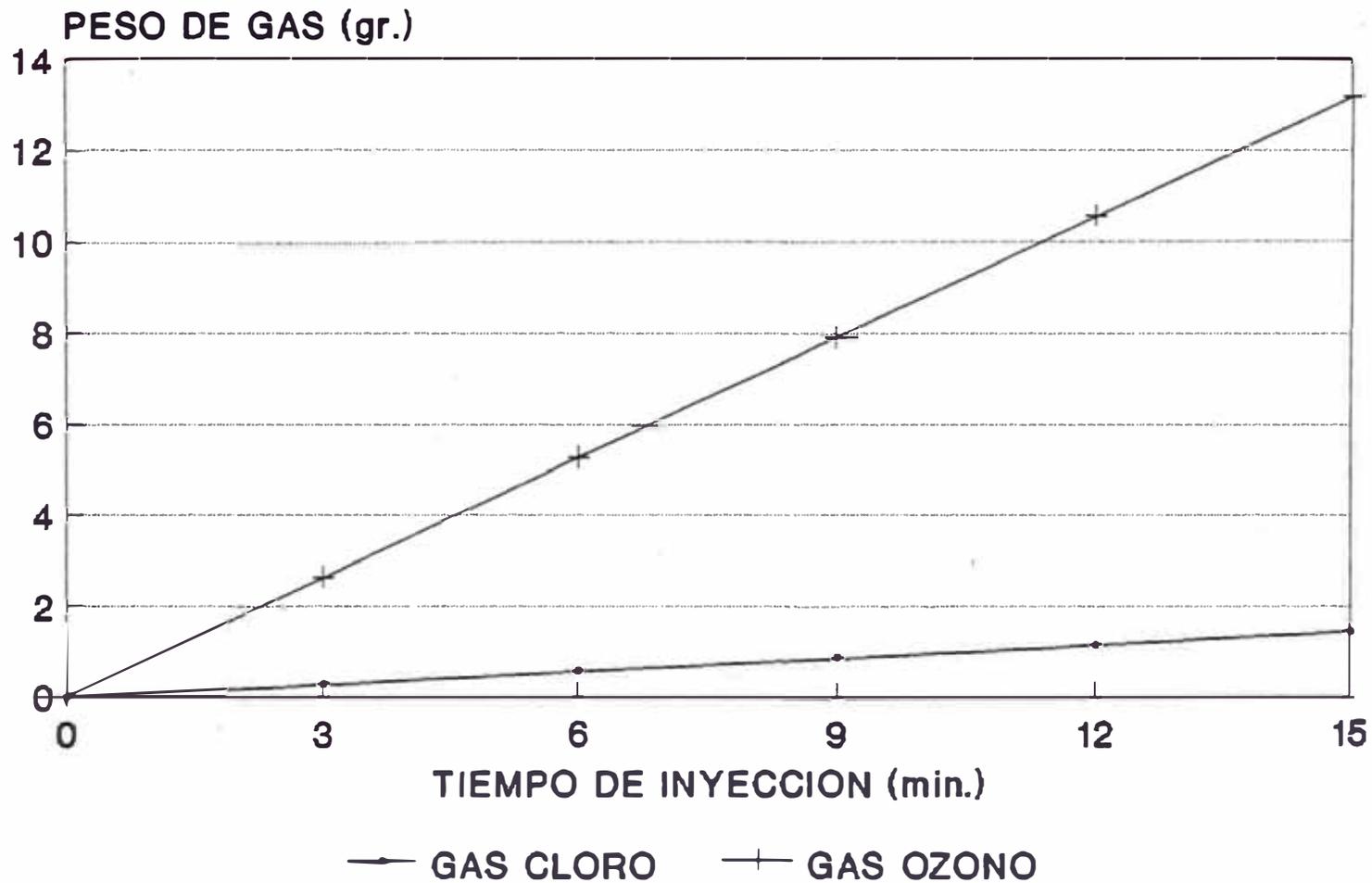


GRAFICO 7.14

TOTAL DE GASES OXIDANTES INYECTADOS

PESO DE GAS vs. TIEMPO DE INYECCION

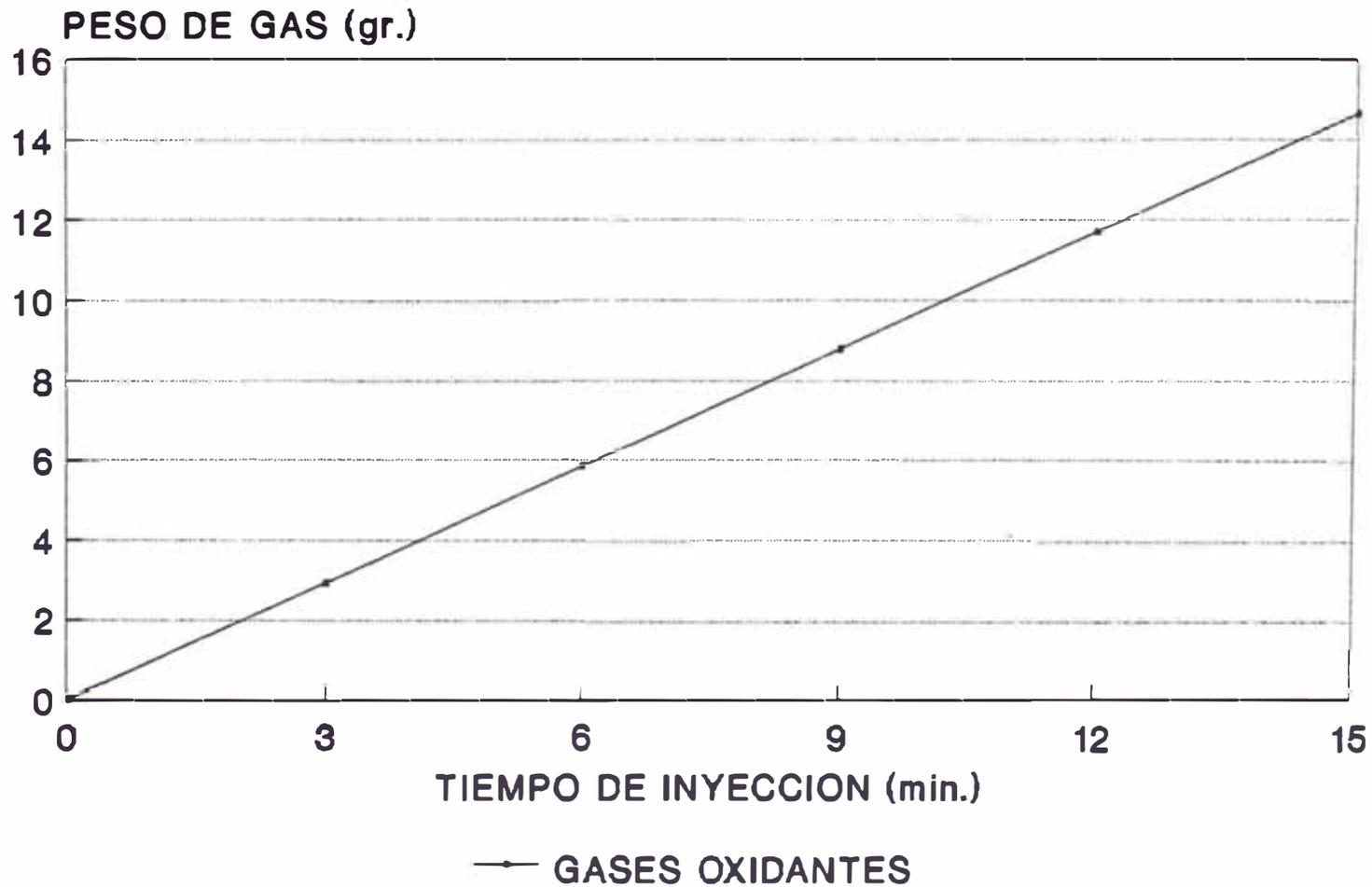


GRAFICO 7.15

Los parámetros que se usaron para evaluar el efecto oxidante de la mezcla de gases en la remoción de compuestos orgánicos coloreados fueron: color, ácidos fúlvicos, demanda química de oxígeno y sólidos disueltos volátiles; los cuáles fueron determinados utilizando la metodología mencionada en el ítem 6.2.3.

Después de la caracterización de la muestra, se inyectaron los gases oxidantes, variando el tiempo de inyección; el cuadro 7.9 muestra la eficiencia de remoción en relación directa con la cantidad de gases suministrados y regulados con el tiempo de inyección de éstos, manteniéndose constante la intensidad de corriente suministrada al equipo a 2 amperios.

En los gráficos 7.16 al 7.21 se muestra el cambio de las características del agua (COLOR, DQO, SÓLIDOS DISUELTOS VOLÁTILES) con relación al tiempo de inyección. En el gráfico 22, se observa que el pH disminuye a medida que se incrementa la mezcla de gases, lo que ayuda en algo al ajuste de este parámetro, debido a que en el pre-tratamiento se efectuó en medio alcalino (para eliminar los compuestos orgánicos no solubles a éste pH).

Uno de los principales compuestos orgánicos que imparten el color al agua, son los ácidos fúlvicos y para extraerlos se usó la resina absorbente XAD-8, lográndose un 90% de extracción de dichos compuestos.

La intensidad de corriente se mantiene constante a 2

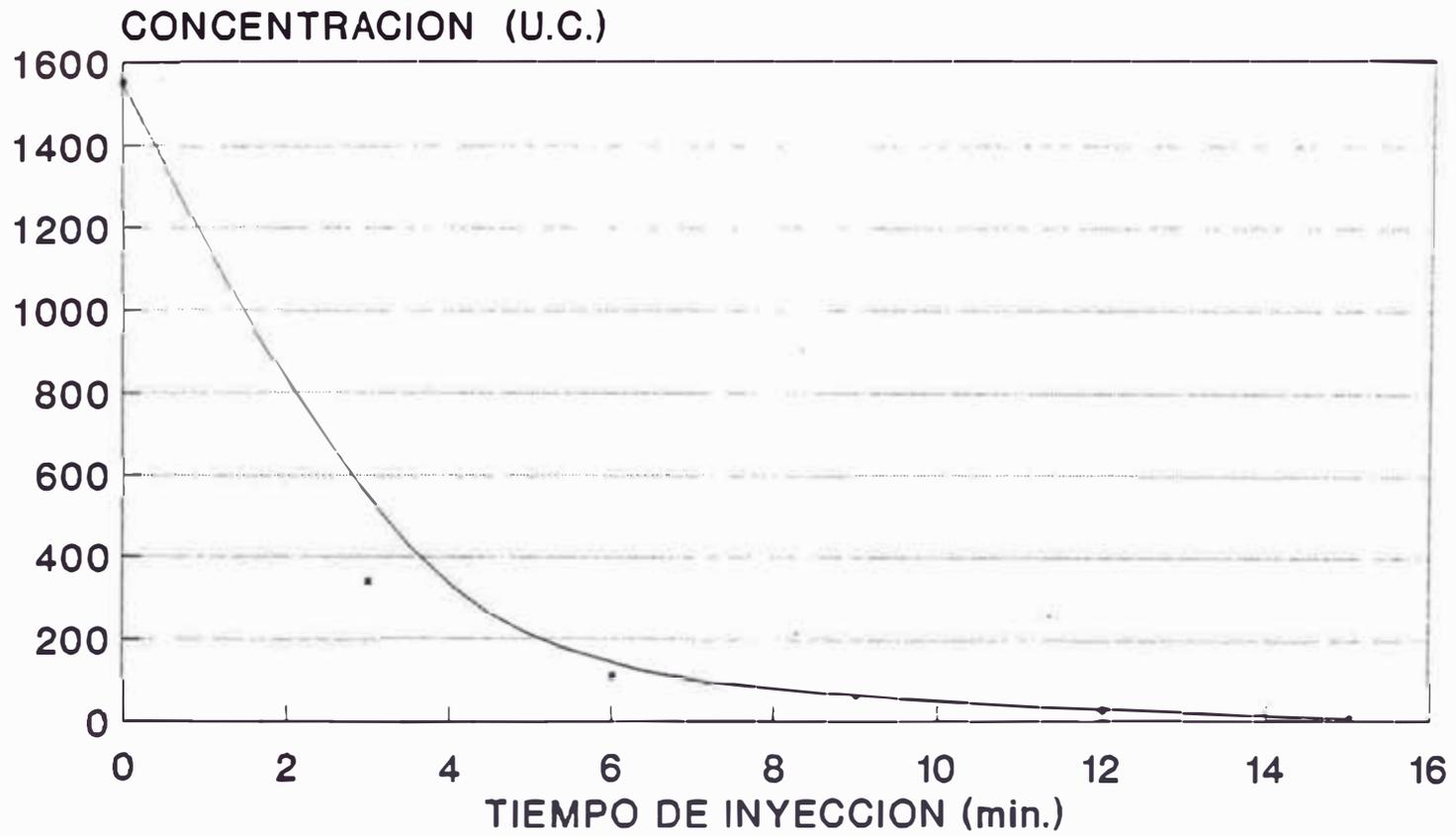
amperios, porque a este amperaje se obtiene la mayor cantidad de gas ozono que se produce, en mayor proporción y con mayor rapidez que el cloro, según lo obtenido en el gráfico 7.8, resultando a la vez conveniente para esta experiencia, debido a que el ozono por su alto potencial de oxido-reducción, reacciona primero con los compuestos orgánicos.

CUADRO 7.9

EVALUACION DE REMOCION DE COMPUESTOS ORGANICOS EN MUESTRA
SINTETICA COLOREADA USANDO EL EQUIPO MOGGOD

Tiempo de Inyección (min.)	DQO (mg/lt)		Sólidos Disueltos Volátiles (mg/lt)		Color (UC)	
	Orig	% Remoc	Orig	% Remoc	Orig	% Remoc
ORIGINAL	512		1522		1550	
3	456	10.9	1100	27.7	340	78.1
6	387	24.4	828	45.6	110	92.9
9	248	51.6	760	50.1	60	96.1
12	144	71.9	428	71.9	25	98.4
15	83	83.8	330	78.3	5	99.7

DETERMINACION DE COLOR CONCENTRACION vs. TIEMPO DE INYECCION



— Color

GRAFICO 7.16

DETERMINACION DE COLOR CONCENTRACION vs. TIEMPO DE INYECCION

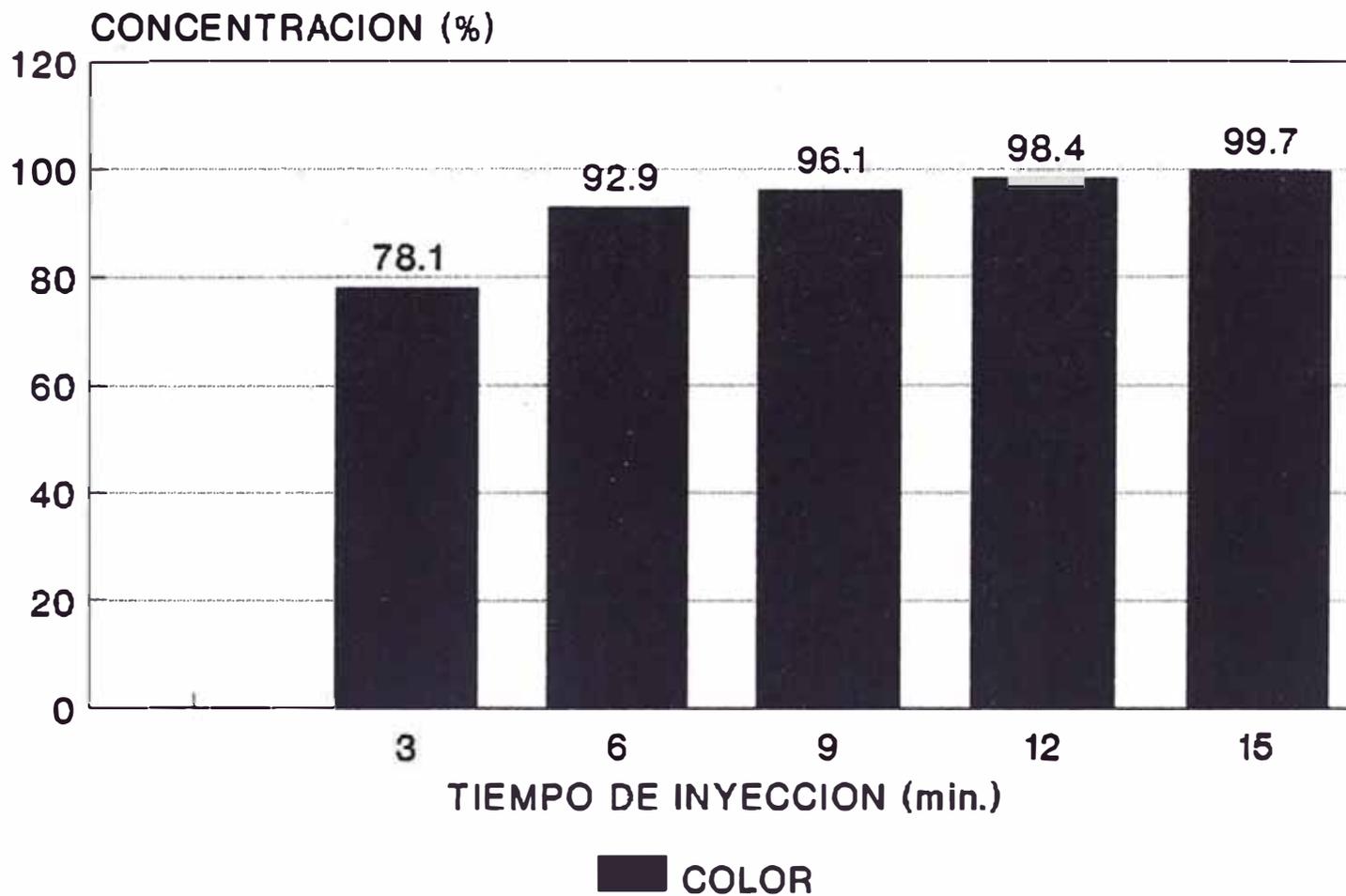


GRAFICO 7.17

DETERMINACION DE D.Q.O. CONCENTRACION vs. TIEMPO DE INYECCION

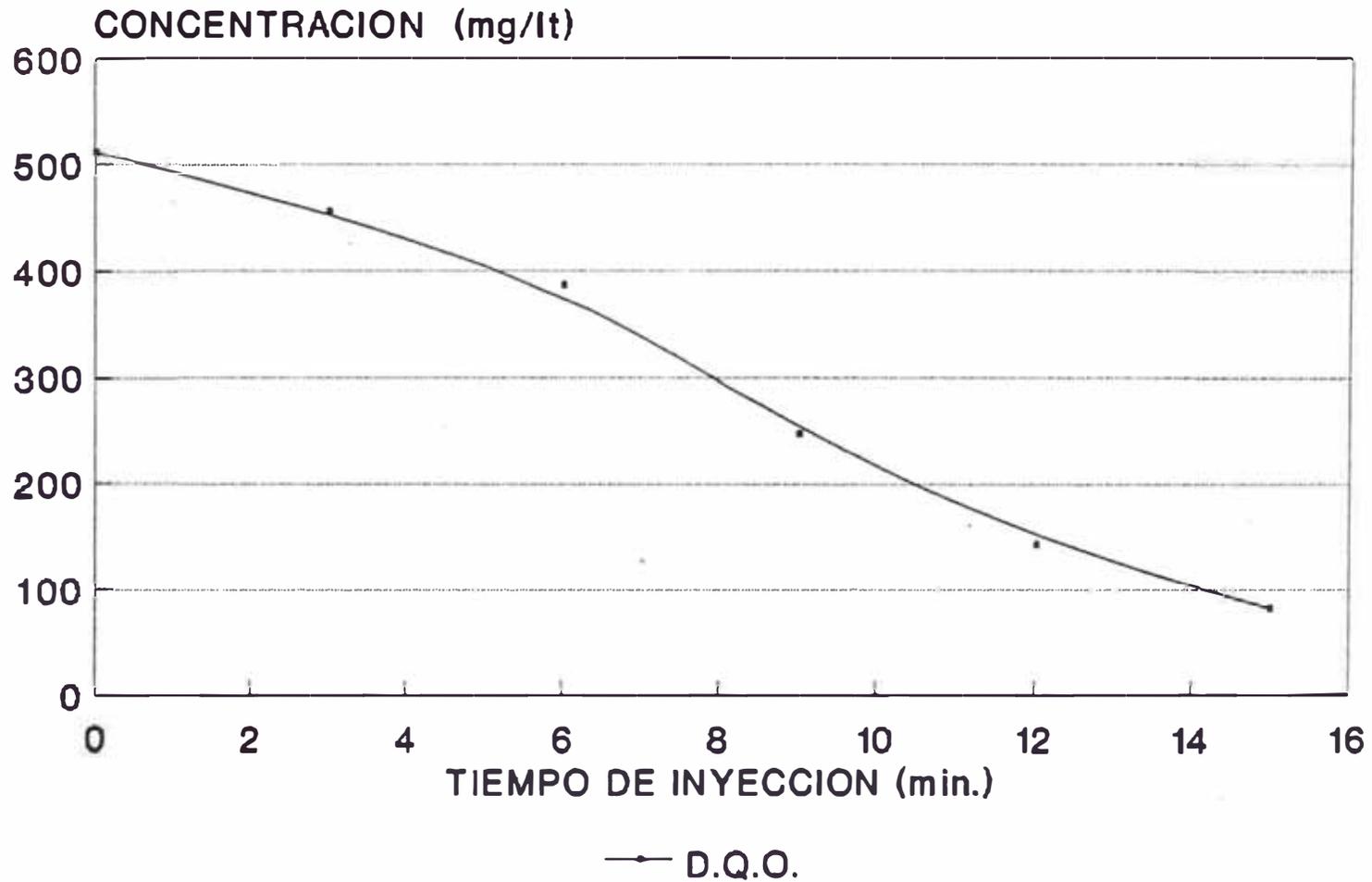


GRAFICO 7.18

DETERMINACION DE D.Q.O. CONCENTRACION vs. TIEMPO DE INYECCION

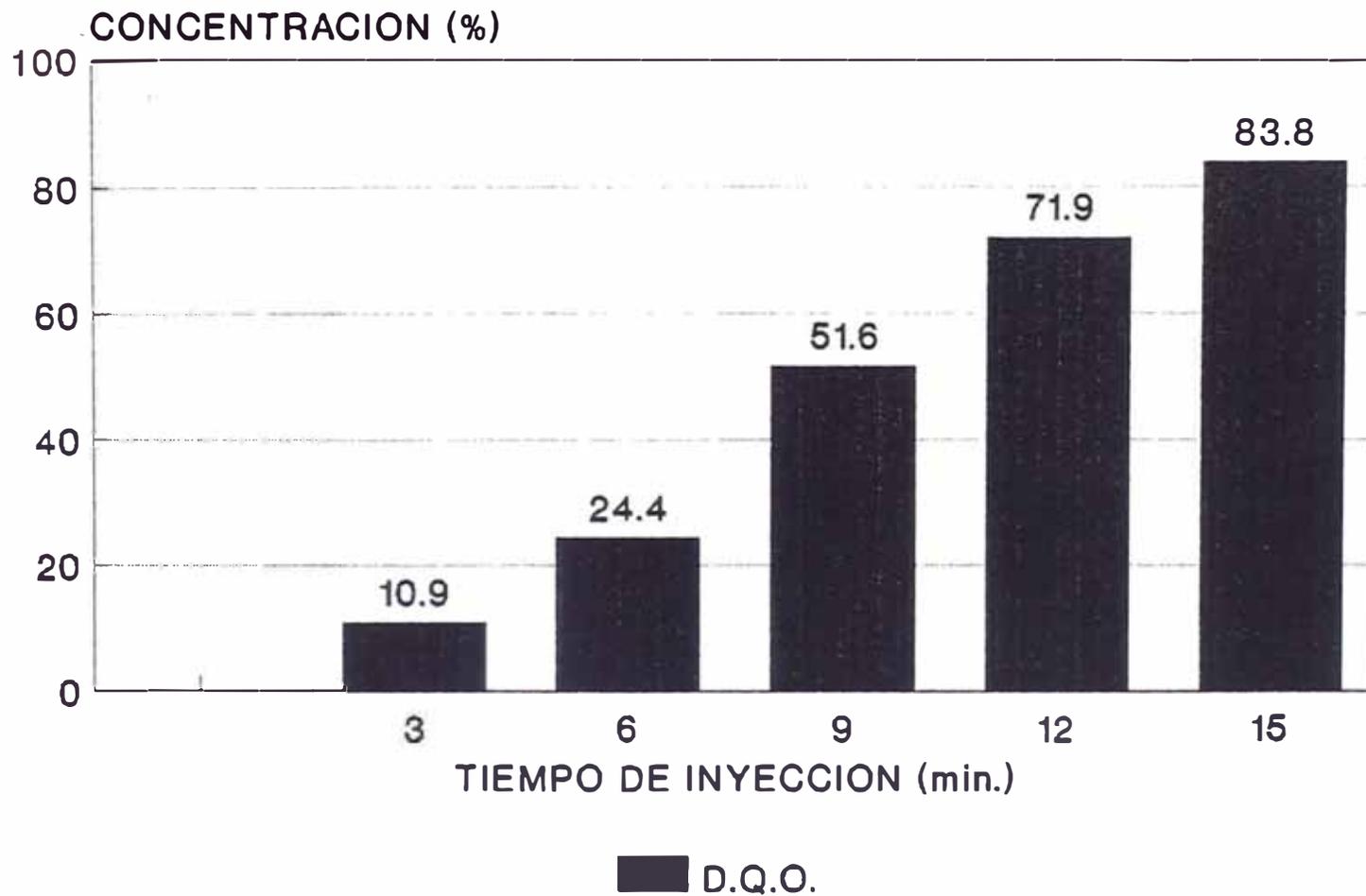
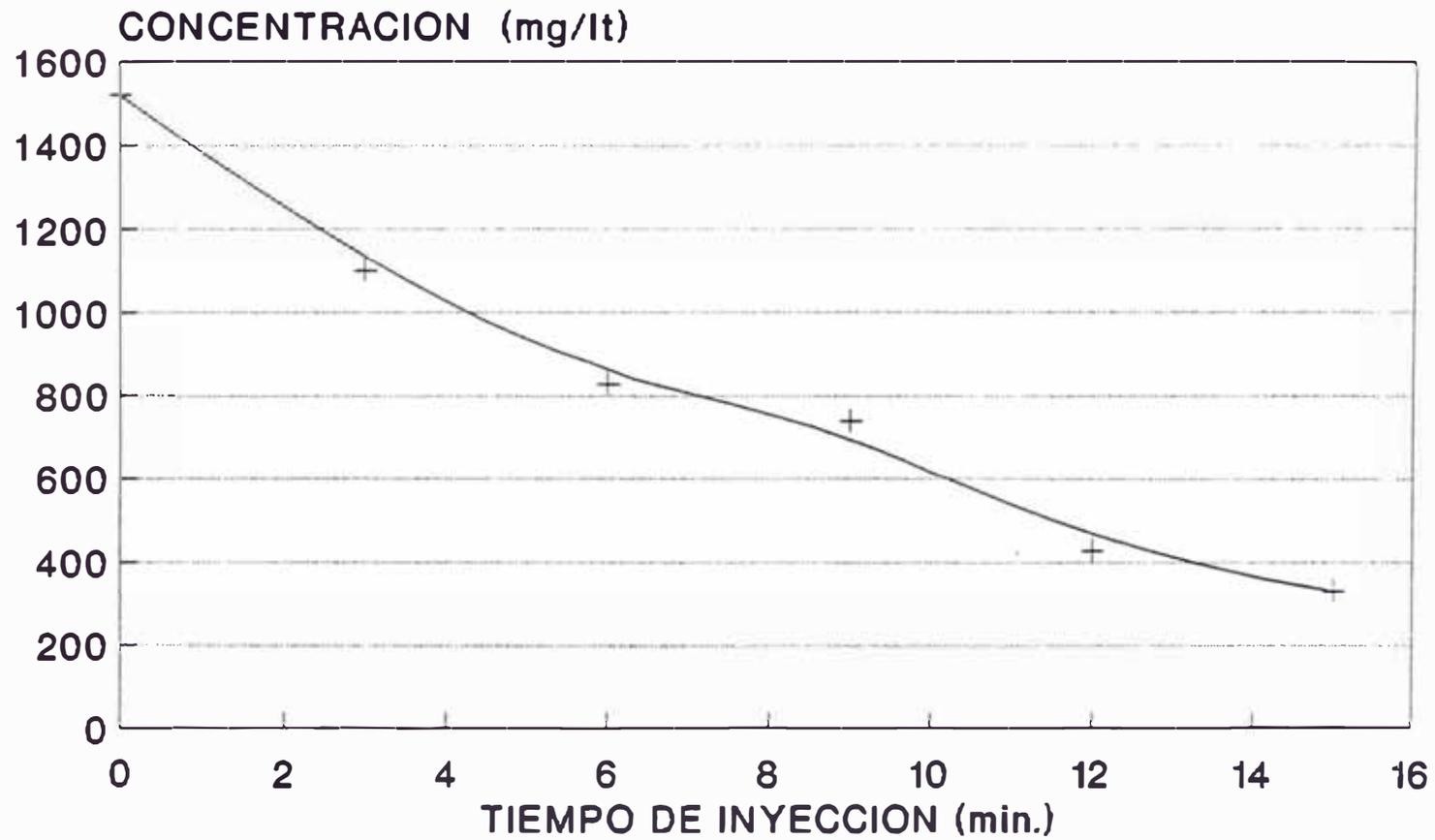


GRAFICO 7.19

DETERMINACION DE SOLIDOS VOLATILES CONCENTRACION vs. TIEMPO DE INYECCION



+ SOLIDOS VOLATILES

GRAFICO 7.20

DETERMINACION DE SOLIDOS VOLTAILES CONCENTRACION vs. TIEMPO DE INYECCION

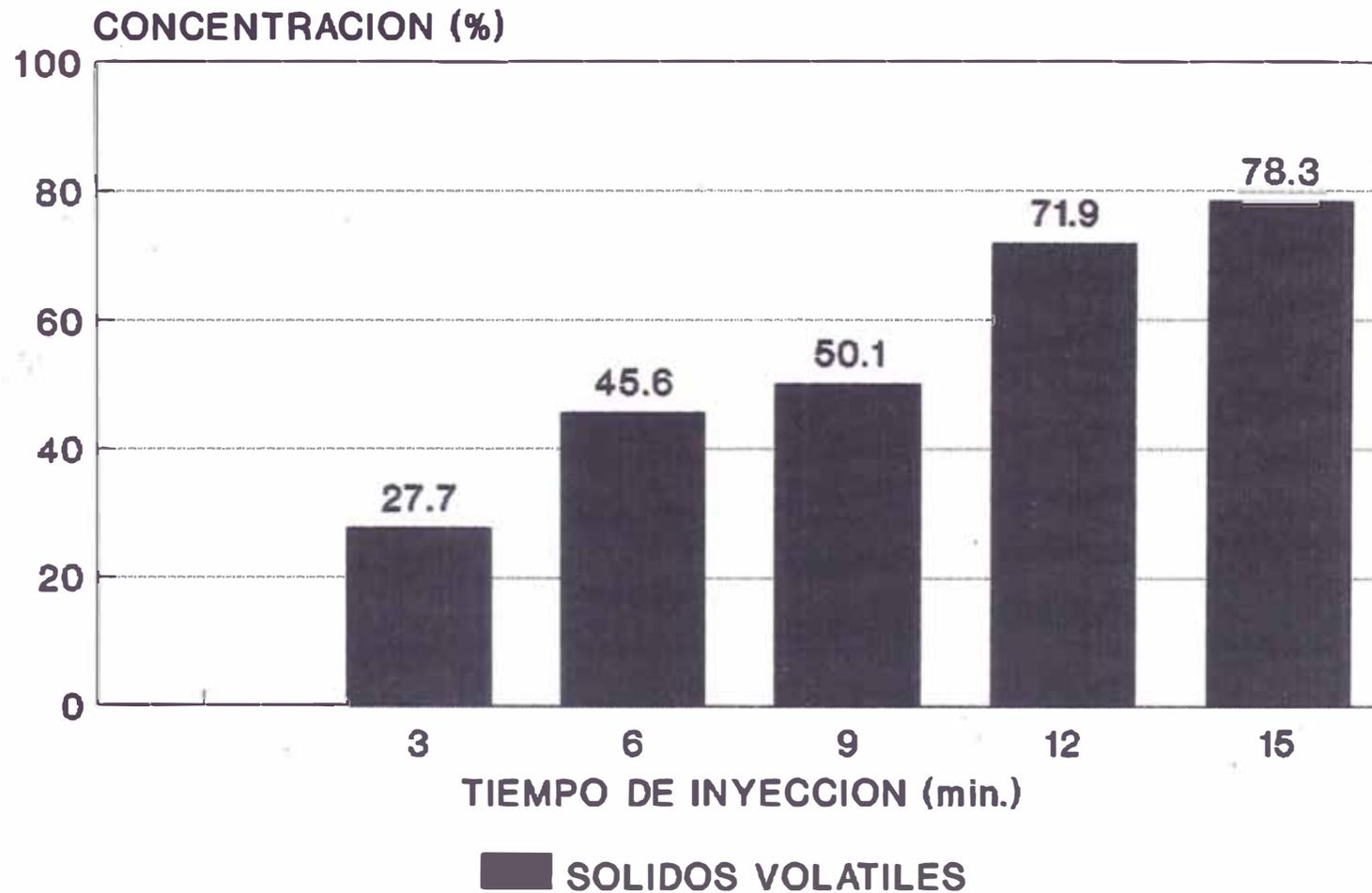
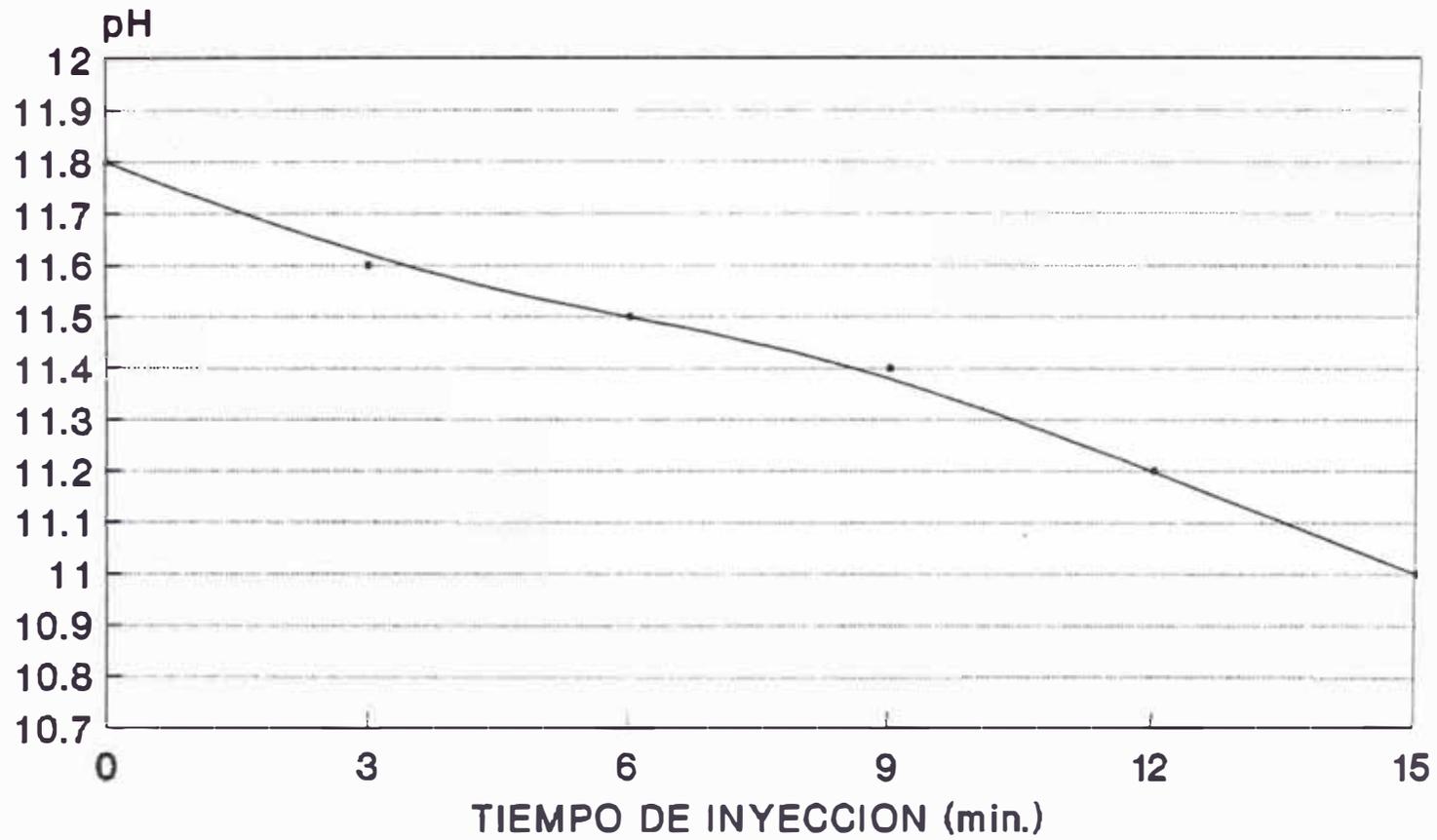


GRAFICO 7.21

DETERMINACION DE pH

pH vs. AMPERAJE



—●— pH

GRAFICO 7.22

CUADRO 7.10

**DETERMINACION DE LA EFICIENCIA DE EXTRACCION DE LOS ACIDOS
FULVICOS A TRAVES DE LA RESINA XAD-8**

Amperaje : 2 Amp.
Vol. de muestra : 250 ml.

Tiempo de Inyección de la Mezcla de Gases Oxidantes. (minutos)	Eficiencia de Extracción (%)
3	95.40
6	97.97
9	75.71
12	98.76
15	90.52

CUADRO 7.11

DETERMINACION DE CLORO RESIDUAL

Vol. de muestra : 250 ml.
Amperaje : 2 Amp.

Tiempo de Inyección de la Mezcla de Gases Oxidantes (minutos)	Cloro Residual (mg/lt)
3	53.17
6	70.90
9	939.42
12	1648.4
15	1676.7

EFICIENCIA DE EXTRACCION DE ACIDOS FULVICOS (RESINA XAD-8)

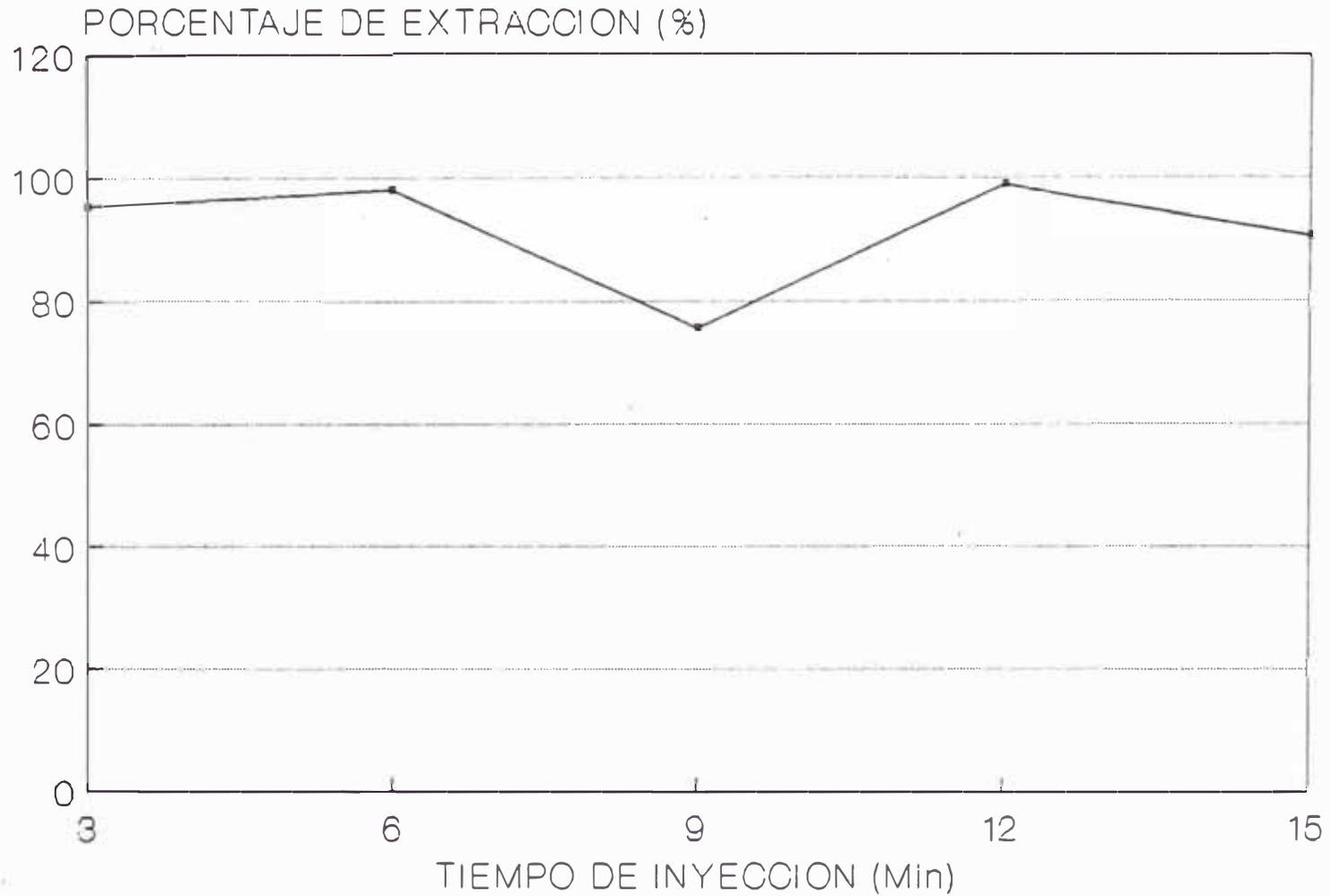


GRAFICO 7.23

EFICIENCIA DE EXTRACCION DE ACIDOS FULVICOS (RESINA XAD-8)

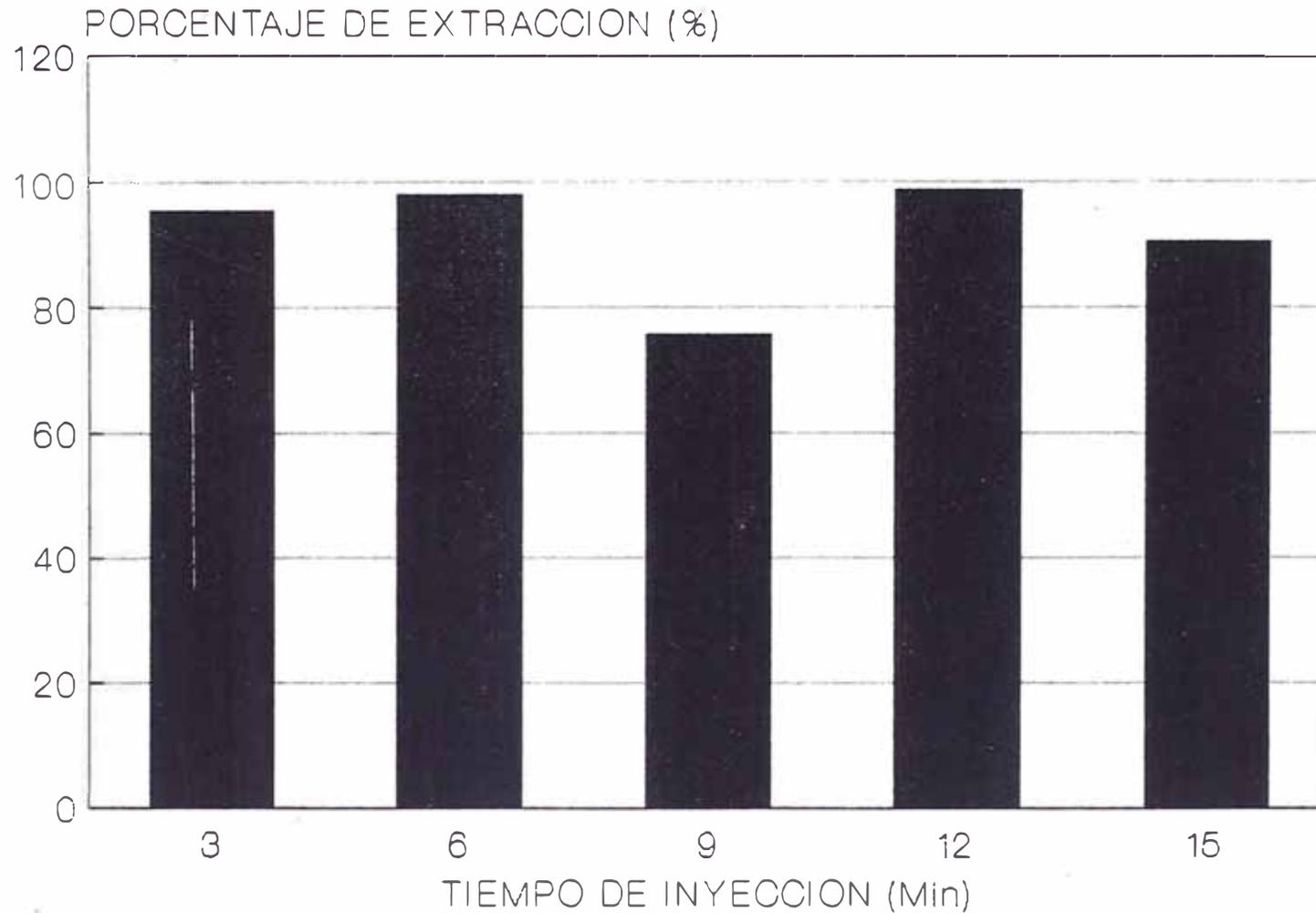


GRAFICO 7.24

DETERMINACION DE CLORO RESIDUAL

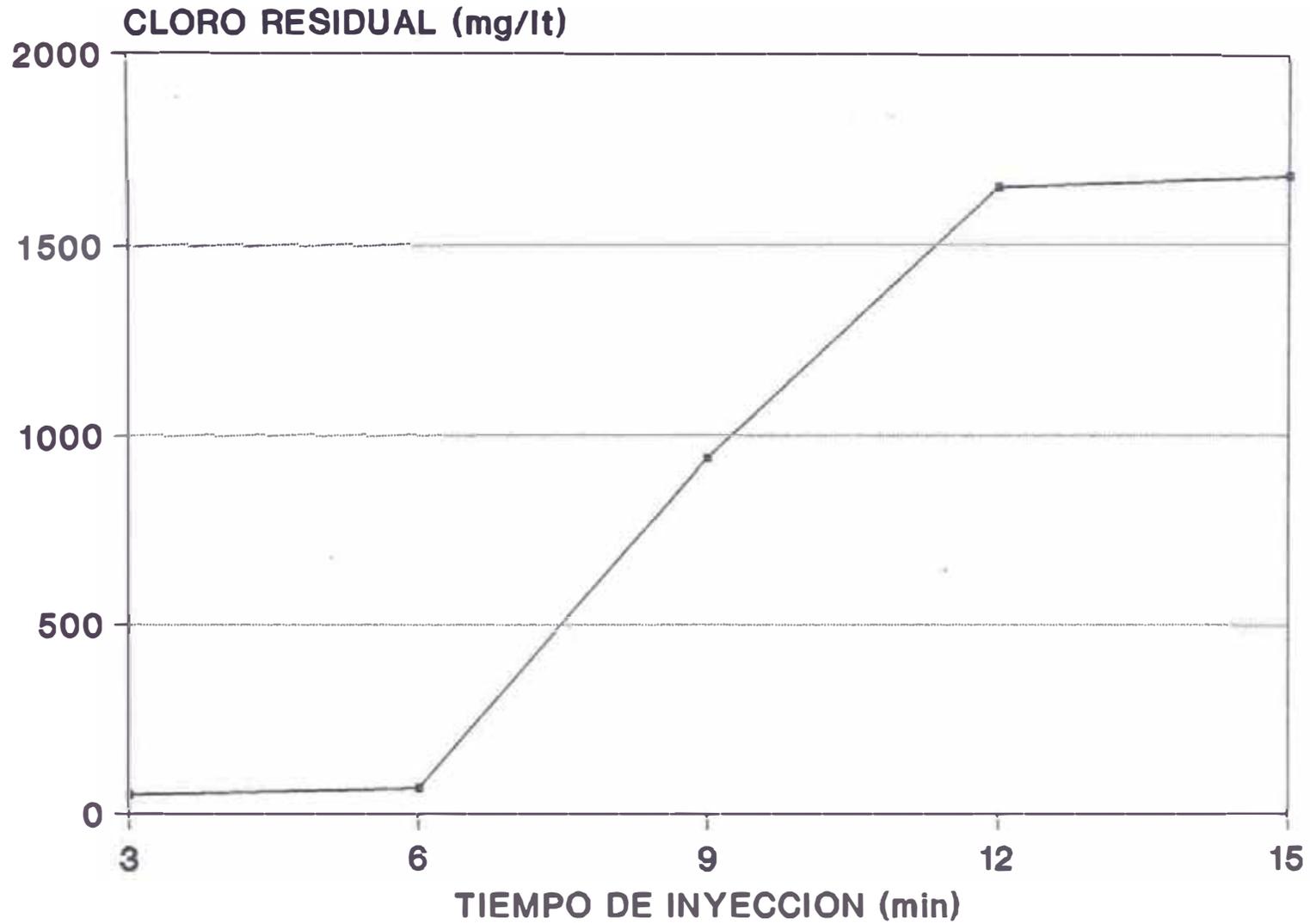


GRAFICO 7.25

DETERMINACION DE CLORO RESIDUAL

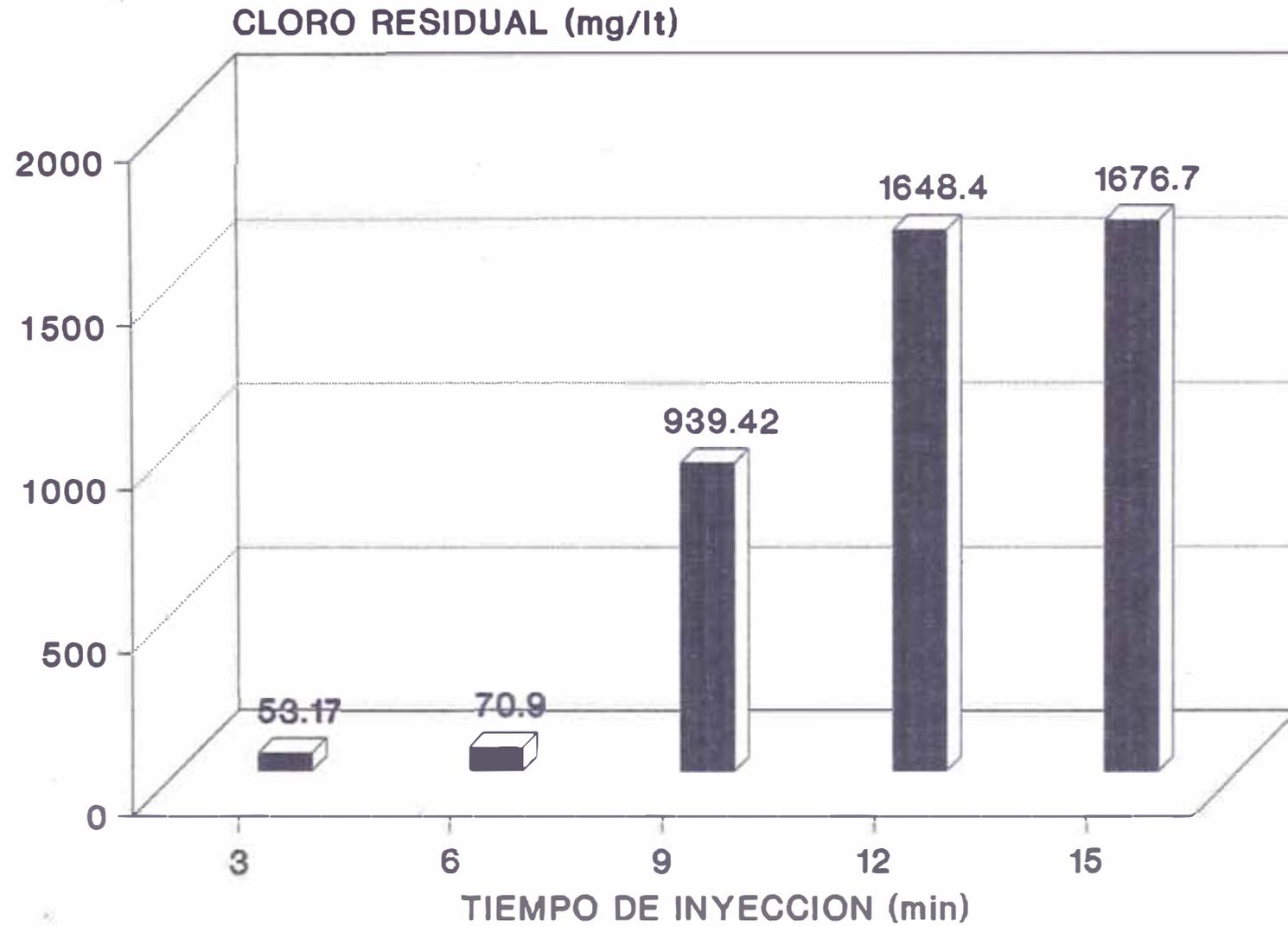


GRAFICO 7.26

7.3 EVALUACION DEL RIESGO POTENCIAL EN LA SALUD POR EL USO DE MEZCLA DE GASES OXIDANTES EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS COLOREADAS

Una significativa remoción de color orgánico se aprecia durante el proceso de inyección de gases. El Gráfico 7.17 muestra el porcentaje de remoción de color obtenido.

El máximo tiempo de inyección de la mezcla de gases oxidantes a la muestra coloreada fue de 15 minutos, luego se realizó la determinación de los THMs, encontrándose que mientras mayor sea la cantidad de gases oxidantes inyectados, hay una tendencia a disminuir la cantidad de THMs en razón a que en los minutos iniciales de inyección se produce una mayor cantidad de ozono, el cuál oxida gran parte de la materia orgánica presente en la muestra; reduciendo de este modo el principal componente para la formación de THMs como se aprecia en el cuadro 7.12 y en los gráficos 7.27 y 7.28.

Además se puede apreciar claramente la disminución en aproximadamente 50% de cloroformo, que es el que tiene mayor incidencia toxicológica para la salud humana, según la OMS, quien regula a 30 ppb.

Según estudios realizados, refieren que los precursores de THMs no necesariamente confieren color al agua.

Los resultados de los análisis, no indican un efecto

CUADRO 7.12

DETERMINACION DE TRIHALOMETANOS
(THMs)

THMs	TIEMPO DE INYECCION DE GASES OXIDANTES (minutos)				
	3	6	9	12	15
CLOROFORMO CL ₃ CH (ppb)	9.25	8.96	9.43	5.26	4.56
DICLOROBROMOMETANO CL ₂ BrCH (ppb)	0.11	0.11	0.13	1.45	1.88
DIBROMOCLOROMETANO Br ₂ CLCH (ppb)	0.18	0.23	0.22	1.0	0.85
BROMOFORMO Br ₃ CH (ppb)	1.93	2.03	2.34	2.80	3.03
THMs TOTALES (ppb)	11.47	11.33	12.12	10.52	10.32

DETERMINACION DE THMs

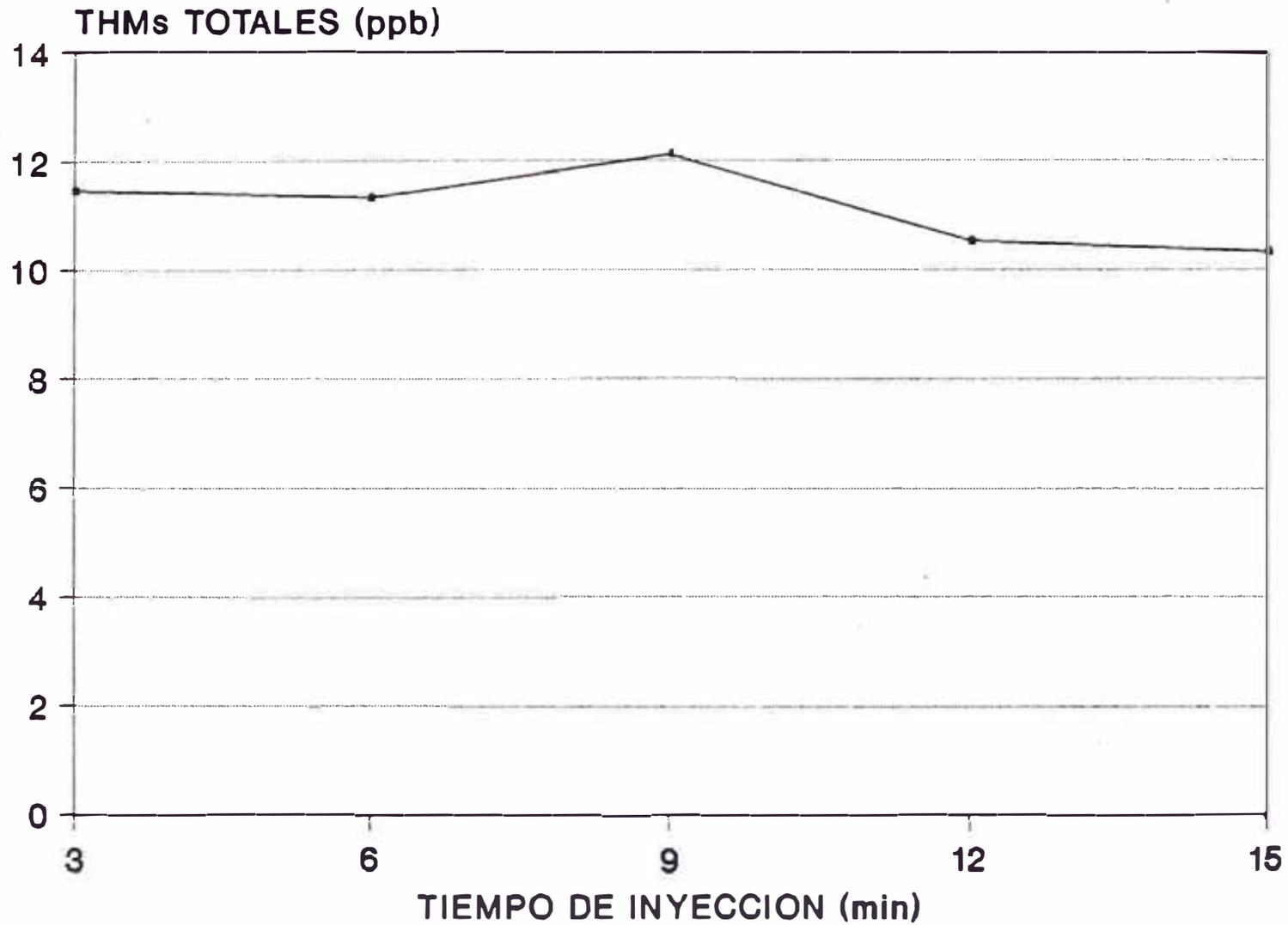


GRAFICO 7.27

DETERMINACION DE THMs TOTALES

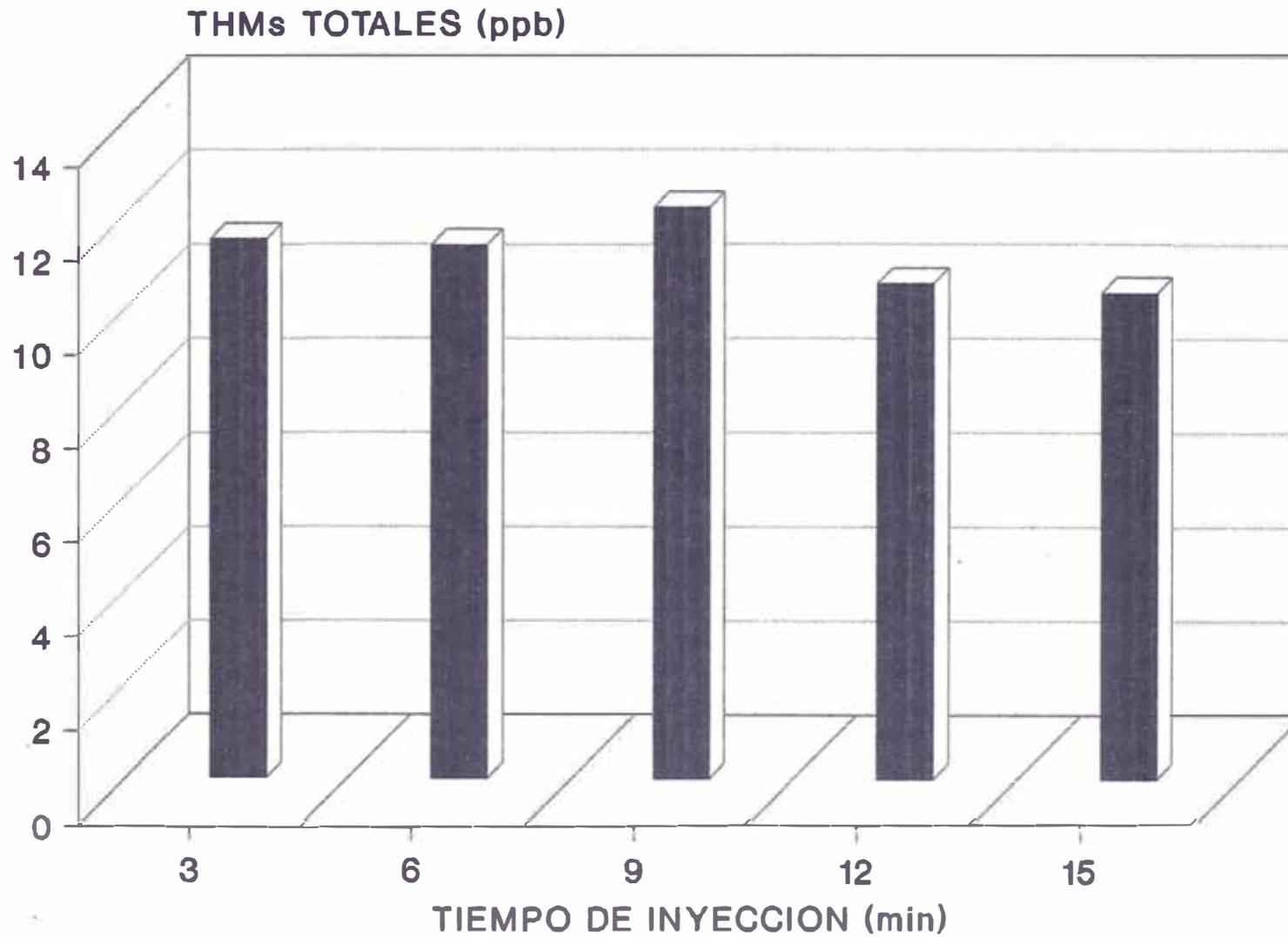


GRAFICO 7.28

FORMACION DE TRIHALOMETANOS CONCENTRACION vs. TIEMPO DE INYECCION

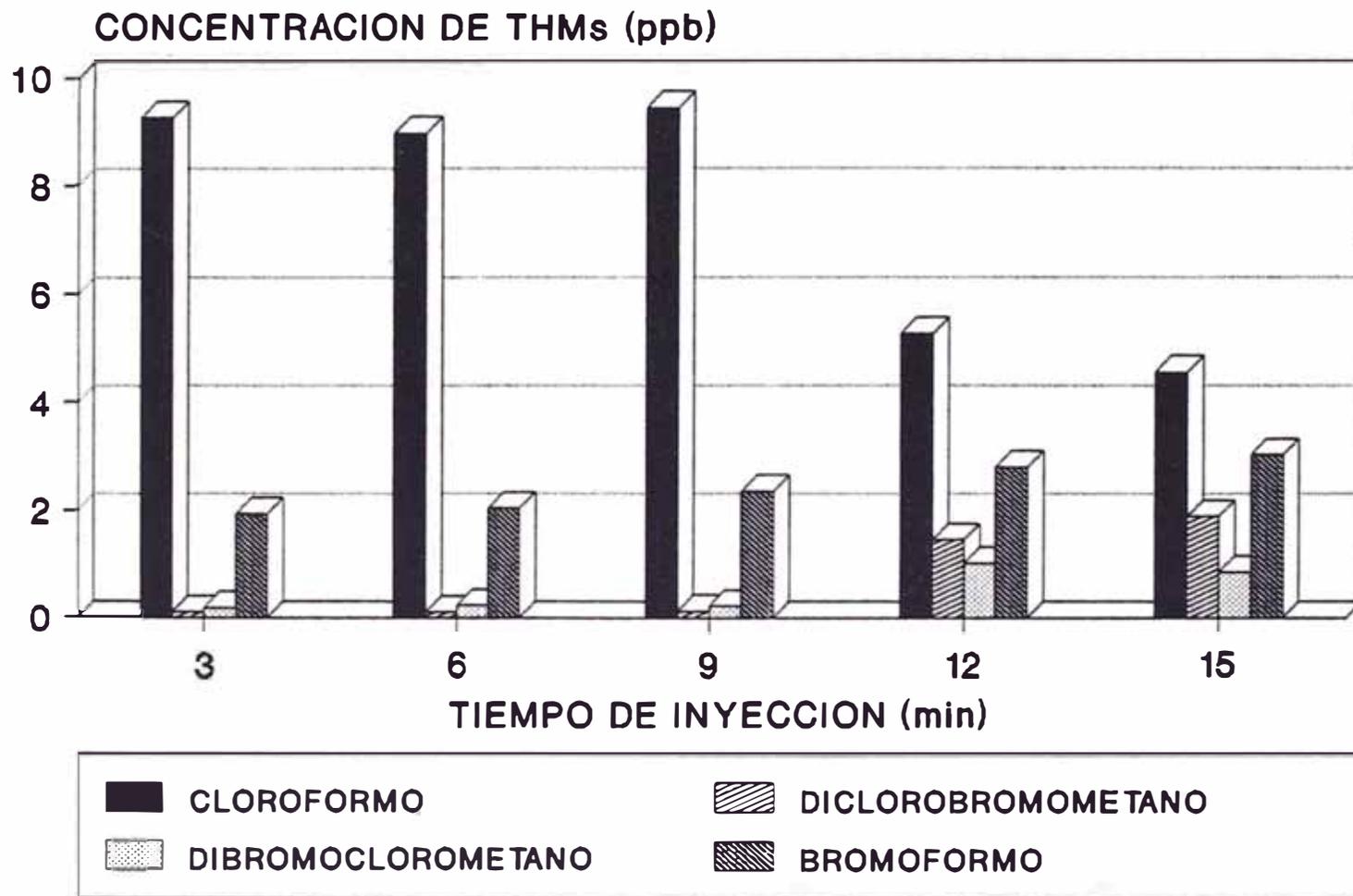


GRAFICO 7.29

claro en la producción de THMs, por el uso de mezcla de gases oxidantes. Esto puede deberse a que durante la oxidación de los compuestos orgánicos también se forman otros compuestos de degradación menores. Estos productos pueden no tener color, pero actúan como precursores de THMs.

Cuando se observa la concentración de especies de THMs en la Gráfico 7.29, se aprecia que la concentración del dibromoclorometano (CHClBr_2), se incrementa en relación directa al tiempo de inyección de los gases oxidantes, lo mismo sucede con el bromoformo y el diclorobrometano, pero hay que considerar la disminución significativa de cloroformo, que como ya se ha mencionado es el que está regulado por la guías de la OMS.

CAPITULO 8

VIABILIDAD TECNICA Y ECONOMICA

VIABILIDAD TECNICA

Hasta el presente, se han investigado un gran número de alternativas tecnológicas aplicables para remover los compuestos orgánicos de aguas coloreadas.

Como la materia orgánica que origina el color, es muy variada, también existen diferentes métodos de remoción del color orgánico. Para lograr con efectividad su eliminación, en algunos casos se aplica la coagulación por sulfato de alumbre o cloruro férrico; en otros casos se recurre a técnicas como, filtración ascendente, filtración con carbón activado; y ozonización en otros.

Estudios recientes informan que la aplicación de cloro para la remoción de color orgánico, puede dar origen a la formación de trihalometanos. Según estudios en EE.UU. estos compuestos tienen efectos cancerígenos en animales.

El tratamiento de aguas de la región de la selva está basado en métodos convencionales, usando cloro para la desinfección

final, produciendo de esta manera la formación de compuestos organoclorados, afectando potencialmente la salud del consumidor.

En general la ineficiencia de los métodos convencionales en remover color durante el tratamiento de aguas coloreadas en las zonas rurales, se debe a la complejidad y costos, si se considera la inversión del capital y los costos de operación.

Ante toda esta problemática, el uso del MOGGOD, representa una alternativa favorable para el tratamiento de aguas en las zonas rurales.

Esto se debe a que utiliza tecnología apropiada, que simplifica la operación y mantenimiento del sistema. Esta tecnología se ha experimentado en sistemas de abastecimiento de agua, con diversos propósitos tales como desinfección, oxidación de materias inorgánicas, y en el presente estudio se ha evaluado la oxidación de la materia orgánica.

Las razones que justifican el uso de esta técnica son:

- a) Relativa simplicidad en la operación y mantenimiento del sistema.
- b) Simplifica y evita cálculos químicos y matemáticos.
- c) Sustancias químicas empleadas de fácil obtención.
- d) Bajo consumo de energía.
- e) Equipo resistente, durable y de fácil reparación.
- f) Producción controlada de gases según los requerimientos, lo

que evita su almacenaje, ya que son gases fuertemente corrosivos.

g) Costo del equipo accesible a las comunidades.

Diversos prototipos de la unidad MOGGOD se han probado en el campo, para obtener información sobre necesidades y problemas en su operación y mantenimiento.

Además, la mezcla de gases oxidantes tiene la ventaja de que cada oxidante actúa eficazmente como desinfectante. El ozono es un oxidante más fuerte pero no deja residual. En cambio el cloro, actúa como desinfectante pero deja una cantidad disociada en el agua, que durante un efecto residual que garantiza la calidad sanitaria del agua.

Los equipos MOGGOD, a pesar de su fácil operación y mantenimiento, requieren atención de por lo menos una vez por semana, para la adición de cristales de cloruro de sodio y agua, en el compartimiento del ánodo.

La instalación del equipo se debe de realizar en una caseta bien ventilada, de material poco corrosivo y de preferencia existente en la zona.

En resumen, las ventajas de la técnica MOGGOD, frente a los métodos convencionales de remoción de color orgánico, hacen que se constituya como alternativa viable, capaz de ser aplicada en las zonas rurales que carecen de sistemas de tratamiento, y que se abastecen de aguas superficiales coloreadas.

Las unidades MOGGOD, se pueden adquirir con facilidad. Su comercialización está vigente, y las firmas comerciales que las expenden son:

OZONE TECHNOLOGY CORP.	USA
OXIDIZERS, INC.	USA
FENAR	ARGENTINA

VIABILIDAD ECONOMICA

Para evaluar la viabilidad económica del uso del MOGGOD, como alternativa para remoción de compuestos orgánicos en aguas superficiales coloreadas de zonas rurales, se realizó los siguientes análisis de costos:

8.1 Gastos de Instalación y Montaje

La instalación del equipo requiere de diferentes actividades e inversiones, que se indican a continuación:

CUADRO 8.1
CONSTRUCCION DE CASETA

MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO
Bolsas de cemento	Bolsa	1	4.30
Bolsas de cal	Bolsa	1	3.10
Fierro 3/8"	Varilla	8	22.80
Alambre para estribos	Kg	6	4.50
Arena gruesa	m ³	1	9.60
Arena fina	m ³	1	7.20
Piedra chancada	m ³	1	25.00
Puerta	U	1	15.00
Puerta	U	1	10.00
Bisagras 3"	U	4	2.20
Armellas	U	4	2.00
Candado	U	2	13.00
Clavos 3"	Kg	1	1.00
TOTAL		\$	119.7

CUADRO 8.2

INSTALACION DEL EQUIPO

MATERIALES Y ACCESORIOS	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO
Válvula de compuerta de 2"	U	1	11.40
Codos de PVC 90 -1/2"	U	2	0.80
2 llaves de paso de 1/2"	U	2	7.00
Adaptadores macho PVC 1/2"	U	2	0.70
Adaptadores macho PVC 2"	U	2	1.40
Tee reductora PVC de 2" a 1/2"	U	2	3.40
Tubo PVC 2"	U	1	2.50
Tubo PVC de 1/2"	U	1	2.80
Cinta aislante	U	1	0.80
Cinta teflón	U	1	0.40
Toma corriente	U	1	2.40
Pegamento PVC (rígido)	Galón	1	4.80
Alambre #10	mt	1	20.00
TOTAL		\$	58.48

CUADRO 8.3

EQUIPOS Y REACTIVOS

EQUIPOS Y REACTIVOS	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO
Equipo MOGGOD	U	1	950.00
Medidor de corriente	U	1	150.00
Transformador	U	1	20.00
Comparador de cloro	U	1	5.00
DPD (pastillas)	Tableta	20	88.40
Yoduro de potasio	gr.	50	17.50
H ₂ SO ₄ (concentrado)	lt.	1	12.20
Soda cáustica	Kg.	1	32.00
Tiosulfato de sodio	gr.	100	4.21
Agua destilada	lt.	3	5.00
Cloruro de sodio	Kg.	2	10.00
Almidón	gr.	50	6.83
TOTAL		\$	1301.14

CUADRO 8.4

MANO DE OBRA

DESCRIPCION	UNIDAD	C.UNIT	COSTO
Instalación 3 Operarios/5 días	J/día	10.00	50.00
Seguimiento de control de muestras 1 Técnico/5 días	J/día	15.00	75.00
Operación de equipo 1 Persona/15 días	J/día	5.00	75.00
TOTAL		\$	200.00

CUADRO 8.5

RESUMEN GENERAL DE COSTOS

ITEM	DESCRIPCION	COSTO
1.00	CONSTRUCCION DE CASETA Materiales	119.7
2.00	INSTALACION DEL EQUIPO Materiales y accesorios	58.48
3.00	EQUIPOS Y REACTIVOS	1301.14
4.00	MANO DE OBRA	200.00
5.00	SUBTOTAL	1679.32
6.00	IMPREVISTOS 10%	167.93
TOTAL		\$1847.25

En el Cuadro 8.5, se observan los costos que demandaría la instalación, operación y mantenimiento del equipo MOGGOD.

8.2 Costos de Gases Producidos por el MOGGOD

Se realizó un análisis de costos en base a los insumos utilizados:

Energía Eléctrica

El consumo de energía eléctrica en kilowatts hora entre el ánodo y cátodo del equipo MOGGOD, se calculó con la siguiente fórmula:

$$KWH = \frac{I \times V \times f.p \times 2 \times 24}{1000}$$

donde:

I= Intensidad de corriente

V= Voltaje (3-10 voltios)

f.p= 0.9

Cloruro de Sodio

El equipo MOGGOD requiere el uso de una sal pura, para reducir al mínimo los problemas de operación y mantenimiento.

CUADRO 8.6

DETERMINACION DE COSTOS POR Kg/día DE GASES PRODUCIDOS PARA DIFERENTES VALORES DE AMPERIOS SUMINISTRADOS

INSUMOS	NaCl (Kg)	ENERGIA (KWH)
(\$)	5.00	0.05

AMPERIOS (amp.)	PRODUCCION	INSUMOS		COSTOS		COSTO TOTAL	COSTO TOTAL/KG DE GASES
	GASES OXIDANTES (Kg/día)	ENERGIA (KWH)	NaCl (Kg)	ENERGIA (\$)	NaCl (\$)	(\$)	\$/Kg de GASES
2	1.41	0.432	0.3	0.022	1.5	1.52	1.08
4	1.56	0.864	0.3	0.043	1.5	1.54	0.99
6	1.73	1.296	0.3	0.065	1.5	1.57	0.91
8	1.81	1.728	0.3	0.086	1.5	1.59	0.88
10	2.16	2.160	0.3	0.108	1.5	1.61	0.75

Costos de Marzo de 1992.

CUADRO 8.7
 COMPARACION DE COSTOS ENTRE EL TECNICA MOGGOD
 Y EL HIPOCLORITO DE SODIO

Costo Kg. de Gases Oxidantes= \$ 1.08

Costo Kg. de Hipoclorito de Sodio= \$ 9.00

CANTIDAD REQUERIDA PARA REMOCION DE COLOR ORGANICO			COSTOS (\$)	
APLICACION	GASES OXIDANTES (gr)	HIPOCLORITO DE SODIO (1%) (gr)	GASES OXIDANTES	HIPOCLORITO DE SODIO
MUESTRA SINTE- TICA (250 ml)	14.64	200	0.0158	0.018

Costos de Marzo de 1992.

Se recomienda no usar sal comercial (sal del mar), pues el uso de sal impura, obtura la membrana y genera más problemas que cualquier otro factor.

El uso de sal común representa un costo bajo sin embargo puede causar problemas de operación por obstrucción de la membrana a causa de las impurezas.

Los resultados obtenidos se muestran en el cuadro 8.6, en el que se presenta el costo total de energía y de cloruro de sodio por Kg.de gases producidos.

8.3 Costos comparativos entre el uso de la Técnica MOGGOD y el Método Convencional

En el Cuadro 8.7, se observan los costos para la remoción de compuestos orgánicos coloreados de la muestra (1550 UC), usando Hipoclorito de Sodio y la mezcla de gases oxidantes.

De este cuadro podemos concluir, que los equipos generadores de gases oxidantes, son una alternativa económica para el tratamiento de las aguas coloreadas naturales, y por ello el uso del MOGGOD representa una alternativa favorable para las zonas rurales.

CAPITULO 9

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- Los resultados obtenidos en esta investigación, demostraron que la mezcla de gases oxidantes, actúa eficientemente en la remoción de compuestos orgánicos en una muestra de agua coloreada sintética, tal como se muestra en los resultados de los ensayos experimentales efectuados a nivel de laboratorio.

En las Pruebas para cuantificar la producción de Gases Oxidantes, se llegó a las siguientes conclusiones:

El flujo de gases producidos por el equipo MOGGOD, tiene relación directa con la intensidad de corriente suministrada.

La producción del gas ozono es inversamente proporcional a la intensidad de corriente suministrada al el equipo, mientras que el gas cloro es directamente proporcional a la misma.

Inicialmente a 2 amperios, el equipo produce 7% de gas cloro y 93% de gas ozono y otros, pero a medida que se incrementa la intensidad de corriente a 10 amperios, el porcentaje de

cloro aumenta a 22.4% y el del ozono disminuye a 77.6%.

- Al evaluar la eficiencia de la capacidad oxidante de los gases producidos por la unidad MOGGOD; se observa que la remoción de color orgánico se incrementa en un gran porcentaje a medida que aumenta el tiempo de inyección de la mezcla de gases (cantidad de gas aplicada).

Como consecuencia de esto, se observa una reducción en los parámetros seleccionados para la evaluación del efecto de los gases oxidantes en la calidad del agua, tales como la Demanda Química de Oxígeno (reducción en un 83.8 %), los Sólidos Disueltos Volátiles (en 78.3 %), el color (en un 99.7%); por lo tanto obteniendo un agua de mejor calidad.

Las resinas XAD-8 tienen una gran capacidad de extracción de ácidos fúlvicos (se logró extraer hasta un 90%).

Al evaluar el riesgo potencial en la salud en la relación por la formación de compuestos organoclorados por el uso de mezcla de gases oxidantes, se determinó que su uso es ventajoso frente a desinfectantes convencionales. Se observó una reducción de aproximadamente en 50% de precursores de cloroformo, compuestos de importancia toxicológica en la salud humana.

Se logró una disminución significativa en la formación de compuestos organoclorados a medida que se incrementó el tiempo de la inyección de gases. Probablemente debido a que es el ozono quién oxida primero a los precursores de THMs, y

luego el cloro actúa en el material remanente.

La técnica MOGGOD, puede ser usada en zonas rurales por su fácil operación y mantenimiento.

La técnica MOGGOD es una alternativa técnico-económico, frente a los métodos convencionales (cloro, hipoclorito de sodio) para la remoción de color orgánico, representando una opción favorable para los pobladores de las zonas rurales.

RECOMENDACIONES

- Como este trabajo se realizó con muestras coloreadas sintéticas, se recomienda continuar los ensayos con muestras naturales para validar la información obtenida.
- Se recomienda continuar las investigaciones en lo que se refiere a un pre-tratamiento adecuado para la muestra coloreada, a fin de reducir la mayor cantidad posible de compuestos orgánicos, de preferencia mediante coagulación, ablandamiento, regulación de pH, etc.
- En las pruebas en la que se realiza la inyección de gases, se recomienda estudiar el uso de difusores adecuados que amplíen la superficie de inyección.
- Se recomienda ajustar la metodología en la medición de los ácidos fúlvicos, mediante el uso de diferentes resinas que tengan mayor eficiencia de extracción, a fin de tener un parámetro indicador de la eficiencia de remoción, cuantificando la cantidad inicial y final de los precursores. Conviene estudiar metodologías más sensibles para la medición de los ácidos fúlvicos y húmicos.

En el mantenimiento del equipo MOGGOD, se recomienda no usar sal comercial (sal de mar), debido a que produce obturación en la membrana.

CAPITULO 10

BIBLIOGRAFIA

1. American Public Health Association (Washington, D.C.,US),
American Water Works Association (New York, US), Water
Pollution Control Federation (Washington, D.C., US),
Standard methods for the examination of water and waster-
water. Washington, D.C., APHA, 1985. 1327 p.
2. American Water Work Association (Denver, US),
Agua: su calidad y su tratamiento. México, AID, 1968.
564 p.
3. Arboleda Valencia, J. A. ;
Manual de Tratamiento de Aguas potables, Caracas(VE), s.1,
1969, 353 p.
4. Asociación Colombiana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental
(Cali, CO),
Memorias de Taller Internacional sobre Actualización en
Desinfección de Aguas. Cali, ACODAl, 1989. 563 p.
5. Azevedo Netto, José Martiniano de;

- Critérios de desinfecção de água utilizando o cloro.
Lima, CEPIS, 1977. p. 1-14.
6. Babcock, D.B.; Singer, P.C.;
Chlorination and Coagulation of humic and fulvic acids.
Journal of the American Water Works Association, 71(3).
Denver, Mar. 1979. p. 149-152.
7. Bollyky, L.J.;
Reactions of ozone with trace organics in water and waste-
water. Ann. Arbor, Ann Arbor Science, 1977 p. 87-
108.
8. Cáceres López, Oscar;
Desinfección del Agua, Lima, Ministerio de Salud, 1990.
369 p.
9. Canepa de Vargas, Lidia;
Evaluación del Proceso de Desinfección por Cloración,
Santo Domingo, CAASD, 1986. 20 p.
10. Castro de Esparza, María Luisa; Benavides, Lidia;
Aspectos Químicos en la Cloración de Aguas Residuales,
CEPIS, Hoja de Divulgación Técnica, Nº 39, 1987.
11. Castro de Esparza, María Luisa;
Uso del cloro para la desinfección de agua para consumo:
Efectos sobre la desinfección humana, CEPIS, Hoja de

Divulgação Técnica, Nº 49, 1992

12. Christman, R.F.; Ghassemi, Massod;
Chemical Nature of the Organic Color in Water. EN:
Journal of the American Water Work Association, 58(6).
Denver, Jun. 1966. p. 723-741.

13. Consorcio Nacional de Engenheiros Consultores S.A. (São
Paulo, BR),
Usos do cloro na engenharia sanitária e ambiental; novas
tecnologias de aplicação e quantificação dos impactos
associados. s.1, CNEC, 1981. p. 1-45.

14. Chang, S. David; Singer, Philips, C.;
The Impact of Ozonation on Particle Stability and the
Removal of TOC and THM Precursors. EN: Journal of the
American Water Works Association, 71(3). Denver, Mar.
1991. p. 71-78.

15. Edwards, Gerald A.; Amirtharaj, A.;
Removing color caused by humic acids EN: Journal of
the American Water Works Association, 77(3). Denver,
Mar. 1985. p. 50-57.

16. El-Khordagui, H.K.; Mancy, K.H.;
Formation of trihalometanes during disinfections of drink-
ing water. Denver, AWWA, 1980. p. 425-442.

17. Evans, Francis L.;
Ozone in water and wastewater treatment. Ann Arbor,
Ann Arbor Science, 1972. 195 p.
18. EUA. Public Health Service (Washington, D.C.,US), National
Air Pollution Control Administration (Washington, D.C.,
US),
Air quality criteria for photochemical oxidants.
Washington, D.C., Public Health Service, 1970. s.p.
19. Fair, G.M.; Geyer, J.C.; Okun, D.A.;
Purificación de Aguas y Tratamiento y Remoción de Aguas
Residuales, Editorial Limusa, México, 1987.
20. Federation of Associations on the Canadian Environment
(Ottawa, CA),
Chlorination disinfection. s.1, F.A.C.E., 1985. 80 p.
21. Fleishacker, S.J.; Randtke, Stephen J.;
Formation of organic chlorine in public water supplies.
EN: Journal of the American Water Works Association,
75(33). Denver, Mar. 1983. p. 132- 138.
22. Glaze, William H.;
Chemistry of ozone, by-products and their health effects.
Los Angeles, University of California, s.d. 11 p.

23. Glaze, William H.; Koga, Minoru; Cancilla, Devon; Wang, Kaixiong; McGuire, Michael J.; Liang, Sun; Davis, Marshall K.; Tate, Carol H.; Aieta, E. Marco;
Evaluation of ozonation by-product from two California surface waters. EN: Journal of the American Water Works Association, 81(8). Denver, ago. 1989. p. 66-73.
24. Gordon, Gilbert; Cooper, William J.; Rice, Rip G.; Pacey, Gilbert E.;
Methods of Measuring Disinfectant Residual.
EN: Journal of the American Water Work Association, 57(9)
Denver, Set. 1965. p. 1167-1194.
25. Hall, Eric S.; Packman, Ronald F.;
Coagulation of Organic Color with Hidrolyzing Coagulants.
EN: Journal of the American Water Works Association,
67(3). Denver, Mar. 1975. p. 134-139.
26. Hespnahol, Ivanildo;
Remocção de Compostos Orgânicos e águas de Consumo Humano.
EN: Revista DAE, 40(123). São Paulo, 1980. p. 34-44.
27. Jakubowki, Walter;
Wasterwater aerosol health effects studies and the need for disinfection. EN: Enviromental Protec- tion Agency (Cincinnati, US). Municipal Environmental Research Laboratory, EPA, 1983. p. 68-82

28. Johnson, J. Donald; Qualls, Robert G.; Aldrich, Kent. H.; Flynn, Michael P.;
UV disinfection.
Cincinnati (US), EPA 1983. p. 184-202.

29. Junkins, Randy;
Effects of operation and maintenance practices on selected ozone and ultraviolet disinfection systems.
EN: Environmental Protection Agency (Cincinnati, US).
Municipal Environmental Research Laboratory, EPA, 1983.
p. 359-371.

30. Kimes, J.K.; Taylor, James s.;
Effects of ozone on trihalometane precursors in a highly colored surface water. Denver, AWWA, 1980. p. 663-682.

31. Kunin, R.; Suffet, Irwin H.;
Removal of humic material from drinking water by anion exchange resins. Ann Arbor, Ann Arbor Science, 1980.
p. 425-442.

32. Lacy, W.J.; Rice, Rip G.; Miller, G. Wade;
Ozone. s.1, BIRF, 1978. 99 p.

33. Machuca, Gerardo Nava;
Equipo MOGGOD, Evaluación Técnico-Económico, Oficina de Potabilización de la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica, México D.F., 1987.

34. Novak, John T.; Goodman, Alan S.; King, Darrell L.;
Aquatic - Weed Decay and Color Production
EN: Journal of the American Water Works Association,
67(3). Denver, Mar. 1975. p. 134-139.
35. Oficina Nacional de Recursos Naturales
Inventario, Evaluación Integral de los Recursos Naturales
de la zona Iquitos y Nauta, ONERN, Lima, 1976.
36. Oldman, W.K.; Gloyna, Earnest F.;
Interaction of iron with soil organic acids.
Austin (US), The University of Texas, 1965. 85 p.
37. Oliveira, Walter Engracia de; Azevedo Netto, José Marti-
niano de; Branco, Samuel Murgel;
Desinfecção de águas. São Paulo, CETESB, 1974. 210 p.
38. Organización Panamericana de la Salud
Guías de Operación y Mantenimiento para el MOGGOD, OPS,
Junio, 1989.
39. Packman, R. F.;
Studies of organic colour in natural water; proceedings.
EN: Proceedings of the Society for Water Treatment and
Examination, 13. s.1., 1964. p. 316-334.
40. Reiff, M. Freid;
Desinfección del Agua Potable. EN: Boletín de la

Oficina Sanitaria Panamericana, Vol 105, 1988. p. 372-389.

41. Reiff, M. Freid
Desinfección usando Mezcla de Gases Oxidantes,
CEPIS, Hoja de Divulgación Técnica, N° 32, 1986.
42. Rice, Rip G.; Robson, C. Michael; Miller, G. Wade; Hill, Archibald G.;
Uses of ozone in drinking water treatment. EN:
Journal of the American Water Works Association, 73(1).
Denver, Jan. 1981. p. 44-57.
43. Rook, Johannes J.;
Chlorination reactions of fulvic acids in natural waters.
EN: Environmental Science Technology, 11(5).
May. 1977. p. 478-482.
44. Santamaría, Leonardo;
Trihalometanos: Una Investigación Util.
EN: Revista ACODAL N° 120, Set-Oct, 1984. p. 28.
45. Shapiro, J.;
Chemical and biological studies on the yellow organic acids of lake water.
EN: Limnology and oceanography, 2(3). s.1., Jul. 1957.
p. 161-179.

46. Trusell, R. Rhodes; Umphres, Mark D.;
THM precursors in the environment. EN: Journal of
the American Water Association, 76(6). Denver, Jun.
1984. p. 102-106.
47. Uden, P.C.; Joyce, W.S.;
THM precursors in the environment. EN: Journal of the
American Water Works Association, 76(6). Denver, Jun.
1984. p. 102-106.
48. Vargas Bejarano, Carlos; Sánchez Triana, Ernesto;
Naturaleza y significancia de las sustancias húmicas en
sistemas de abastecimientos de agua potable.
EN: Revista AINSA, 5(2). Medellín, Jul-Dic. 1985. p.
69-74.
49. White, C.;
Handbook of chlorination. 2 ed. New York (US), Van
Nostrand Reinhold Company, 1986. 1078 p.
50. Wilson, A.L.;
Determination of fulvic acids in water. EN:
Proceedings of the Society for Water Treatment and Exami-
nation, 13. s.1., 1964. p. 316-334.
51. Witherell, Linden E.; Solomon, R.L.; Stone, Kenneth M;
Environmental Protection Agency (Cincinnati, US),
Ozone and Ultraviolet radiation disinfection for small

community water systems.

Cincinnati(US), EPA, 1979,

46 p.