



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Facultad de Estudios Superiores Zaragoza

**CUANTIFICACIÓN Y ELIMINACIÓN CON OZONO DE LA CAUSA DE
OLOR Y SABOR EN AGUA SUPERFICIAL TRATADA PARA
ABASTECIMIENTO POTABLE**

TESIS

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO QUÍMICO

P R E S E N T A:

JOSÉ ISMAEL CORREA GONZÁLEZ

DIRECTORA: DRA. MA. TERESA ORTA LEDESMA

ASESOR TECNICO: IGNACIO MONJE RAMIREZ



MÉXICO, D.F. 2007



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

AGRADECIMEINTOS

- ❖ *A la Universidad Nacional Autónoma de México la mejor universidad del mundo, me siento orgulloso de ser parte de ella.*
- ❖ *A la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, lugar donde lleve mi acabo mi formación profesional.*
- ❖ *Al Instituto de Ingeniería de la UNAM, lugar donde me manufacture y le di fin al cumplimiento de esta meta.*
- ❖ *A la Doctora Ma. Teresa Orta Ledesma responsable de este proyecto, por brindarme todas las facilidades, por soportarme y por todo el apoyo que me brindo en la realización de este trabajo. “Gracias Doc.”*
- ❖ *Gracias, y muy en especial al Doctor Ignacio Monje Ramírez, por su gran apoyo, su tolerancia, por su amistad y sobre todo gracias por su gran paciencia que me tuvo en la realización de este trabajo, “Gracias por todo Doc”.*
- ❖ *A la M. en C. Isaura Yáñez Gómez por su apoyo, comprensión, por su amistad y por brindarme sus conocimientos en la realización de este trabajo. “Gracias Isaura”.*
- ❖ *Gracias a todos mis profesores de mi facultad, gracias por haber compartido sus conocimientos y su experiencia en el transcurso de mi formación profesional, “Muchas gracias”.*
- ❖ *A mis compañeros de trabajo, Alberto y Raúl por brindarme un granito de arena en la realización de este trabajo, por compartir cosas, risas y momentos agradables. “Gracias muñekos”.*
- ❖ *Gracias a todas aquellas personas que es su momento me brindaron su apoyo y compartieron parte de su conocimiento durante el desarrollo de este trabajo. “Gracias”*

Agradezco los comentarios y sugerencias de:

M. en I. PABLO EDUARDO VALERO TEJEDA

I.Q. RAFAEL COELLO GARCÍA

I.Q. ADA JOSEFA MEZA MEZA

I.Q. MARÍA ESTELA DE LA TORRE GÓMEZ TAGLE

DEDICATORIAS

A MIS PADRES:

ISMAEL CORREA PAZ y PETRA GLORIA GONZÁLEZ BADILLO

Que me obsequiaron la vida, que me brindaron todo el apoyo necesario en mi formación académica y personal, que siempre están conmigo cuando mas los necesito, “esto es de ustedes”, gracias tan solo por ser mis padres, gracias por todo, los AMO.

A MIS HERMANOS:

JAVIER CORREA GONZALEZ
DULCE JAZMIN CORREA GONZÁLEZ
KARENT IVONNE CORREA GONZÁLEZ
JAIRO GILBERTO CORREA GONZÁLEZ
BRENDA LUCERO CORREA GONZÁLEZ
ROBERTO CARLOS CORREA GONZÁLEZ

Gracias por su apoyo, su comprensión y su paciencia, “Gracias tan solo por existir”.

A MI ABUELA:

JUANA CARMONA GARCIA, gracias “MA” por el amor que me brindo, y por convertirse en mi segunda madre. “Gracias”.

A MIS AMIGOS:

A TODOS Y CADA UNO DE MIS AMIGOS DE LA UNIVERSIDAD: *Con quienes compartí y comparto momentos maravillosos, que además de ser mis amigos, son como unos hermanos. “Gracias Muñekos”.*

A TODAS AQUELLAS MUJERES:

Gracias por enseñarme que es el verdadero amor y que es el verdadero desprecio, gracias por esos momentos maravillosos y esos momentos tan desagradables, gracias por que son parte de mi vida.

A MIS TIOS:

EL RUSO, CUCO, CHUCHO, MARGARITA, gracias por el apoyo, gracias por sus consejos, gracias tan solo **por** ser como son. “Gracias”.

A TODA MI FAMILIA:

Gracias a todos los integrantes de mi familia, saben que cuentan conmigo y que esto, también es para ustedes.

“GRACIAS SOBRE TODO A LA VIDA”

ÍNDICE DE CONTENIDO	Pág.
<i>CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES</i>	1
1.1 EL AGUA	1
1.2 ENFERMEDADES RELACIONADAS CON EL USO DE AGUA	2
1.3 RECURSOS HIDROLOGICOS EN MEXICO	7
1.4 SITUACIÓN ACTUAL EN MÉXICO	10
1.5 MÉXICO EN EL MUNDO	12
1.6 LA CUENCA DEL RÍO LERMA Y SISTEMA CUTZAMALA, EN EL CONTEXTO NACIONAL	13
1.7 SERVICIO DE AGUA POTABLE EN MÉXICO	15
1.8 ASPECTOS DE LA EVOLUCIÓN AMBIENTAL EN MÉXICO	17
1.9 PLANTA POTABILIZADORA "LOS BERROS"	18
1.9.1 Descripción del proceso de potabilización	21
1.10 PROBLEMAS DE OLOR Y SABOR	24
1.10.1 Normatividad en los niveles de algas, olor y sabor para agua potable	25
1.10.2 Olor y sabor, niveles permisibles de acuerdo a la norma NOM-127-SSA1-1994 para agua potable	25
1.10.3 ALGAS (clorofilas y metabolitos), niveles permisible de acuerdo a la NOM-127-SSA1-1994 para agua potable	25
 <i>CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO</i>	 28
2.1 OLOR Y SABOR EN AGUAS SUPERFICIALES	28
2.2 TIPOS DE ALGAS	31
2.2.1 Cianofitas (algas verdes- azules)	31
2.2.1.1 Origen y evolución	32
2.2.1.2 Morfología	32
2.2.1.3 Fisiología	32
2.2.1.4 Relación con el hombre	33
2.2.1.5 Género Representativo	33
2.2.1.6 Ecología	33
2.2.2 Algas verdes	34
2.2.2.1 Algas verdes flageladas y filamentosas	34
2.2.3 Algas rojas	34
2.2.3.1 Algas rojas (Rodofíceas)	34
2.2.4 Algas pardas	35
2.2.4.1 Algas pardas (Feofíceas)	35
2.3 CUANTIFICACIÓN DE CLOROFILAS	37
2.4 OZONO	40
2.4.1 Historia	40
2.4.2 Química del ozono	43
2.4.3 Propiedades del ozono	43
2.4.4 Formación de ozono	45
2.4.5 Más de ozono	46

2.4.6	Uso del ozono	46
2.4.7	Ozono en la eliminación de toxinas provenientes de algas	48
2.4.8	Mecanismos de la desinfección con ozono	49
2.4.9	Subproductos en la aplicación del ozono en potabilización	51
2.4.10	Consideraciones de seguridad	53
2.4.11	Ventajas del uso de ozono	54
2.4.12	Desventajas del uso de ozono	56
2.4.13	Ventajas y desventajas de 3 métodos utilizados en la eliminación de algas.	57

CAPÍTULO 3. MÉTODOS EXPERIMENTALES **59**

3.1	CUANTIFICACIÓN DE CLOROFILAS	59
3.1.1	Material y equipo	59
3.1.2	Procedimiento y análisis	61
3.3	MÉTODO OZONO	64
3.3.1	Efecto del ozono en la remoción de algas	64
3.3.2	Los principales componentes del sistema	64
3.3.3	Determinación de ozono fase gas	69
3.3.4	Ozono fase acuosa	71
3.4	DETERMINACIÓN DE OLOR Y SABOR (GUSTO)	75
3.4.1	Prueba umbral del olor y sabor	76

CAPÍTULO 4. RESULTADOS **80**

4.1	CUANTIFICACIÓN DE CLOROFILAS EN AGUA DE LA PLANTA POTABILIZADORA “LOS BERROS”	80
4.2	REMOCIÓN DE ALGAS MEDIANTE OXIDACIÓN QUÍMICA CON OZONO	81
4.2.1	Remoción de algas en el influente de la planta potabilizadora “Los Berros”	81
4.2.2	Remoción de algas en efluente de la planta potabilizadora “Los Berros”	87
4.2.3	Efecto de la calidad del agua en la remoción de clorofila “a”	90
4.2.4	Consumo de ozono, dosis y tiempos de contacto estimados para la remoción de clorofila “a” en influente y efluente de la planta potabilizadora “Los Berros”	92
4.3	UMBRALES DE OLOR Y SABOR EN AGUA TRATADA CON OZONO	94
4.3.1	Umbrales de olor y sabor en influente y efluente de la planta	94
4.3.2	Efecto del ozono en la eliminación de olor y sabor en el influente de la planta	97
4.3.3	Efecto del ozono en la eliminación de olor y sabor en el efluente de la planta	98

CAPÍTULO 5. COSTO DE TRATAMIENTO **100**

5.1	Cálculos para estimar el costo de tratamiento del efluente de la planta potabilizadora	104
5.2	Costo de aplicación de ozono por cada m ³ de agua potable, para la eliminación de las algas en la planta potabilizadora “Los Berros”	106

CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES **107**

6.1	Limitaciones	108
-----	--------------	-----

<i>ANEXOS 1. EQUIPO Y ESQUEMA GENERAL DEL PROCESO DE OZONACIÓN EN EL INSTITUTO DE INGENIERIA (UNAM)</i>	109
<i>ANEXOS 2. DIRECTRICES DE LA OMS PARA LA CALIDAD DEL AGUA POTABLE</i>	114
<i>ANEXOS 3. ESTÁNDARES DE LA NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-127-SSA1-1994</i>	122
<i>BIBLIOGRAFÍA</i>	124

ÍNDICE DE GRÁFICAS

	Pág.
Gráfica 1. Curva de demanda de ozono del influente de la planta potabilizadora “Los Berros”	82
Gráfica 2. Efecto de la dosis de ozono y el tiempo de contacto en la disminución de clorofila “a” en el influente de la planta de tratamiento “Los Berros”	86
Gráfica 3. Comportamiento de la concentración de ozono residual en el influente de la planta potabilizadora “Los Berros”, durante y después de la aplicación de diferentes dosis de ozono	86
Gráfica 4. Curva de demanda de O₃ que presenta el efluente de la planta potabilizadora “Los Berros”	87
Gráfica 5. Efecto del ozono en la disminución de clorofila “a” en el efluente a diferentes tiempos de contacto y diferentes dosis de ozono	89
Gráfica 6. Comportamiento de la concentración de ozono residual en el efluente de la planta potabilizadora “Los Berros”, durante y después de la aplicación de diferentes dosis de ozono	89
Gráfica 7. Eliminación de clorofila “a” en el influente de la planta potabilizadora	90
Gráfica 8. Eliminación de clorofila “a” en el efluente de la planta potabilizadora	90
Gráfica 9. Determinación de la constante de remoción aparente de clorofila “a”	92

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Fig. 1) Tasa poblacional de enfermos de diarrea por Estado	5
Fig. 2) Distribución geográfica de las aguas superficiales ríos de México	9
Fig. 3) Planta potabilizadora los “Berros”	18
Fig. 4) Canales Parshall “Berros”	19
Fig. 5) Esquema general del proceso de potabilización de la planta potabilizadora “Los Berros”	20
Fig. 6) Canales de floculación “Berros”	22
Fig. 7) Esquema general, Planta potabilizadora los “Berros”	23
Fig. 8) Ducto en el cual es enviada el agua a la ciudad de México	23
Fig. 9) Floración algal (Cortesía de Dr. Dietrick)	29
Fig. 10) a) Anabaena, b) Oscillatoria	30
Fig. 11) Microcistis	31
Fig. 12) Algas verde-azules	32
Fig. 13) Anabena	33
Fig. 14) Esquema general de las clorofilas a, b.	38
Fig. 15) Estructura de la clorofila a, 3D	39
Fig. 16) Espectrofotómetro UV/Vis Lambda 3B	63
Fig. 17) Arreglo experimental del sistema de oxidación con O₃	66
Fig. 18) Diagrama de flujo de proceso O₃	66
Fig. 19) Procedimiento general de ozonación	68
Fig. 20) Gráfica para estimar costos de capital	102
Figuras de ANEXOS 1. Imágenes sobre el proceso de ozonación llevado a cabo en laboratorio, determinación de los números umbrales de olor y sabor, agua muestra antes y después de haberla sometido al proceso, partes del equipo y esquema general del laboratorio.	109

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Distribución del volumen de agua dulce en México	10
Tabla 2. Características de los elementos que componen al Sistema Cutzamala	14
Tabla 3. Volumen suministrado anualmente por el Sistema Cutzamala	15
Tabla 4. Niveles de alerta según la OMS	27
Tabla 5. Diferentes tipos de Algas	36
Tabla 6. Algunos pigmentos y su grupo algal	38
Tabla 7. Costo de varios tipos de desinfectantes	42
Tabla 8. Subproductos de la Ozonación de aminos ácidos	52
Tabla 9. Límites permisibles de exposición a O ₃ de acuerdo a la OSHA	53
Tabla I. Ventajas y desventajas de 3 métodos utilizados en la eliminación de algas	57
Tabla 10. Número Umbral de Sabor u Olor	77
Tabla 11. Reporte del número umbral de olor	77
Tabla 12. Reporte del número umbral del sabor	78
Tabla 13. Parámetros de importancia y técnicas analíticas para su determinación	79
Tabla 14. Concentración de clorofilas presentes en el influente de la planta "Los Berros" (24/03/06)	80
Tabla 15. Concentración de Clorofilas presentes en el efluente de la planta "Los Berros" (10/04/06)	81
Tabla 16. Remoción de clorofilas con diferentes dosis de ozono y tiempos de contacto	84
Tabla 17. Efecto de la dosis de ozono y el tiempo de contacto en la remoción de clorofila	88
Tabla 18. Efecto de la concentración de ozono en la eliminación de metabolitos relacionados con el olor y color de aguas naturales	91
Tabla 19. Resultados del balance de masa obtenido durante la oxidación del influente de la planta de tratamiento "Los Berros"	93
Tabla 20. Resultados del balance de masa obtenido durante la oxidación para el efluente de la Planta potabilizadora "Los Berros"	93
Tabla 21. Resultados en la determinación del número umbral de olor en el influente	94
Tabla 22. Resultados en la determinación del número umbral de sabor en el influente	95
Tabla 23. Resultados en la determinación del número umbral de olor en el efluente	96
Tabla 24. Resultados en la determinación del número umbral de sabor en el efluente	96
Tabla 25. Resultados en la determinación del número umbral de olor en el influente con una dosis de ozono 13.2 mg/L	97
Tabla 26. Resultados en la determinación del número umbral de sabor en el Influente con una dosis de ozono de 13.2mg/L	97
Tabla 27. Resultados de la determinación del número umbral de sabor en el Efluente a una dosis de ozono 2.295 mg/L	98
Tabla 28. Resultados en la determinación del número umbral de olor en el Efluente a una dosis de ozono de 2.295 mg/L	98

Tablas Cap.5). Tablas de diferentes tipos de costos	100
Tablas ANEXOS 2. Parámetros según las normas de OMS y las Europeas para agua potable	114
Tablas ANEXOS 3. Parámetros según la norma NOM-SSA1-127 para agua potable	122

RESUMEN

Estudios realizados han demostrado que el ozono con su alto poder oxidante aplicado en el tratamiento de diferentes tipos de aguas es una alternativa viable en la eliminación de microorganismos patógenos, como: virus, bacterias, protozoarios y los diferentes metabolitos provenientes de algas que son la causa del olor y el sabor en el agua, a parte de ser cancerígenos por su consumo. Esta investigación tuvo como objetivo eliminar con ozono las causas que originan olor y sabor en el influente y efluente de la planta potabilizadora “Los Berros” ubicada en Villa Vicente municipio del Estado de México, de tal forma que se encuentre dentro de lo especificado por la NOM-127-SSA1-1994 en materia de agua potable y la Organización Mundial de la Salud (OMS).

La determinación de la presencia de algas en cada tipo de agua analizada, fue realizada con base al método de Jeffrey y Humphrey (1975) sobre la cuantificación de clorofilas “a”, “b”, y “c1+c2”, fue asignada la clorofila “a” como precursor de la presencia de algas, además de ser uno de sus principales constituyentes.

En la eliminación de clorofila “a” con ozono en el influente y efluente de la planta fueron determinadas sus curvas de demanda y paralelamente los balances generales de masa; en relación al balance y a la curva de demanda se fijaron las dosis y tiempos de contacto a aplicar. Con una dosis de 13.2 mg/L y un tiempo de contacto total de 30 minutos es posible remover hasta un 95 % la concentración de clorofila “a” en el influente, lo que equivale a tener un residual de clorofila “a” de 1.23 µg/L. Con respecto al efluente con una dosis de 2.3 mg/L y un tiempo de contacto de 6 minutos es removida totalmente.

En relación a la presencia de olor (NUO) y sabor (NUS) en el influente y efluente de la planta, el ozono fue capaz de eliminarlos, reduciendo los niveles hasta llegar a obtener valores entre 0 y 1, además de mejorar notablemente su apariencia y obtener un sabor y olor agradable.

El ozono resultó ser una alternativa eficaz en la remoción de los causantes de olor y sabor presentes en el agua, el costo estimado para la eliminación de algas presentes en el efluente de la planta es de $0.1017 \text{ \$/m}^3$ y del influente es de $1.1241 \text{ \$/m}^3$

INTRODUCCIÓN

El agua es un elemento importante para la vida, no sólo para los seres humanos si no para todos los seres vivos existentes alrededor del mundo. Este vital líquido está presente desde mucho tiempo antes de que la humanidad existiera, somos y seremos siempre dependientes de él. Por ello, es de primordial importancia cuidarla, es necesario moderar su uso, así como desarrollar estudios de investigación para encontrar, diseñar y aplicar métodos para el control de contaminantes, de tal forma que el agua se vuelva a integrar a los reservorios naturales conservando sus características.

En la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), la explotación anual de los mantos acuíferos en esta región se estima del orden de 27.9 m³/s. Esta cifra de extracción equivale a una pérdida de agua subterránea que oscila entre 3.45 y 5.59 billones de m³ anuales. Aproximadamente 43 m³/s, casi el 72 % del agua utilizada, se obtiene de distintas baterías de pozos que se encuentran explotando el acuífero de la Cuenca de México.

Fuentes de abastecimiento relativamente menores, pero importantes a nivel local, se derivan de las aguas superficiales de la cuenca, en gran medida represas de pequeños ríos y manantiales superficiales. El agua que se trae de las cuencas del Cutzamala y el Lerma contribuye con alrededor de un 26 % al abastecimiento total. El agua superficial de la Cuenca del Valle de México contribuye sólo con alrededor del 2 % (1.4 m³/s) al abastecimiento de agua de la Zona Metropolitana del valle de México (ZMVM).

Dos plantas potabilizadoras procesan las fuentes de agua superficial en la Cuenca de México antes de enviarla a la ZMVM. En el Distrito Federal opera la planta del Río Magdalena, la cual aplica un proceso de coagulación/floculación (a base de sulfato de aluminio), sedimentación por gravedad, filtración de arenas rápidas y desinfección con cloro. La Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) opera una planta de aguas superficiales en la presa Madin, que abastece al área de servicio del Estado de México y emplea un proceso de tratamiento similar al de la planta Magdalena.

La Comisión Nacional del Agua se encarga de dar tratamiento al agua obtenida del río Cutzamala en la planta llamada “Los Berros”. Esta planta distribuye la mayor cantidad de agua potable a la ciudad de México, esta agua proviene de las presas como: Valle de Bravo, El Bosque, Colorines etc. para después de ser sometidas a un proceso de potabilización. El proceso consiste en precoloración, coagulación/floculación, sedimentación por gravedad y filtración de arenas rápidas.

Por lo general, dicha planta trata 10.6 m³/s de agua pero fue diseñada para tratar 24 m³/s. Los tratamientos se efectúan cerca de la fuente de extracción, antes de que el agua entre al sistema Lerma-Cutzamala para ser transportada a la Zona Metropolitana del valle de México (ZMVM).

En la planta potabilizadora “Los Berros”, el agua después de ser sometida al proceso de potabilización, presenta concentraciones de clorofila “a” que oscilan entre 1 y 1.5 µg/L, un pigmento que se encuentra en la mayoría de las algas y, que son una de las causas de producción de olores y sabores, al segregar sustancias conocidas como metabolitos (Geosmin y Metilisoborneol MIB). Para eliminarlas, frecuentemente se utiliza algún tipo de alguicida, con el cual se remuevan las especies de algas responsables de producir los metabolitos que generan el olor y sabor en el agua superficial.

Durante la época de lluvias el crecimiento de algas en los cuerpos de agua llega a ser incontrolable, debido a que las condiciones climáticas son óptimas para su rápido desarrollo. Estas algas, son frecuentemente eliminadas por flotación, sin embargo, durante el tratamiento, liberan una serie de sustancias propias de su metabolismo celular, conocidas como Endotoxinas (Geosmina y Metilisoborneol), las cuales son causa de los olores y sabores producidos en el agua, (Buffin,1992). En grandes cantidades son tóxicas para el ser humano, (Elustondo 2004 y Rashash et. al., 1994), por lo que resulta indispensable eliminarlas, (Sommerfeld et al., 2002).

Una alternativa es el uso del ozono cuya principal ventaja es su gran poder oxidante que destruye no sólo bacterias, sino que también es eficaz contra virus y otros microorganismos resistentes a la desinfección con cloro.

Además, gracias al tratamiento del agua con ozono se consiguen mayores beneficios para la salud, ya que es un germicida efectivo contra bacterias, protozoarios y simultáneamente oxida materia orgánica influyendo en el mejoramiento de la calidad del agua.

Estudios reportados en la bibliografía indican que el ozono, es capaz de eliminar por completo, cualquier tipo de alga y sus metabolitos, dependiendo de la calidad del agua a tratar, (Rositano et al. 2000).

Por lo anteriormente expuesto, este trabajo propone el uso del ozono como una alternativa viable para la remoción de algas presentes en agua superficial que se utiliza como fuente de consumo humano.

OBJETIVOS

Objetivo general

Eliminar el olor y el sabor producidos por las algas en un agua superficial tratada, mediante oxidación con ozono, de tal forma que se cumplan los lineamientos especificados por la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 y la Organización Mundial de la Salud (OMS).

Objetivo particulares:

Determinar las curvas de demanda de ozono (O_3) para el influente y efluente de la planta potabilizadora “Los Berros”.

Determinar las condiciones óptimas de dosis de ozono y tiempo de contacto, para eliminar la presencia de algas en el influente y efluente de la planta potabilizadora “Los Berros”, utilizando como parámetro de control el contenido de clorofila “a”, empleando un reactor semicontinuo con capacidad de un litro.

Determinar los números umbrales de olor y sabor en el agua de la planta los “Berros” tratada con ozono.

Estimar el costo de tratamiento con ozono para remover el contenido de algas en el efluente de la planta potabilizadora “Los Berros”.

HIPÓTESIS

Considerando que el ozono es uno de los oxidantes con mayor potencial de óxido-reducción aplicado en el tratamiento de aguas, en esta tesis se asume que el ozono abatirá considerablemente o en su totalidad la concentración de algas, indirectamente determinada por la presencia de clorofila “a”, presente en el influente y el efluente de la planta potabilizadora “Los Berros” como una alternativa para la eliminación del problema de olor y sabor del agua.

CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES

1.1 EL AGUA

El agua puede parecer como la cosa más simple del mundo. El agua pura no tiene color u olor y tampoco tiene sabor. Sin embargo es vital para toda la vida en la Tierra. En donde hay agua, se encuentra vida y en donde el agua escasea, la vida tiene que luchar para sobrevivir.

Los seres humanos, como todos los demás organismos vivos, somos absolutamente dependientes del agua. Nuestros sistemas fisiológicos necesitan un medio acuoso, tanto para las actividades metabólicas como las reproductoras celulares y específicas.

Pero el agua no sólo se requiere para el desarrollo de los procesos metabólicos internos y de reproducción celular. Su presencia es también indispensable para que sobrevivan las plantas y otros animales que sirven de alimentación y sustento a las sociedades humanas, (Díaz y Antón, 2003).

El agua es potable cuando está libre de gérmenes y de sustancias químicas dañinas. Una de las mayores preocupaciones de la humanidad ha sido, el proveer de agua pura a los seres humanos. Algunas veces proviene de aguas superficiales como lagos, ríos, embalses y otras de aguas subterráneas. De eso depende de la calidad y de la cantidad de agua disponible para el futuro.

Las grandes ciudades se abastecen de las aguas superficiales, porque poseen mayor cantidad de agua y fácilmente se llega a ellas. Sin embargo, el hombre ha contaminado tanto estas fuentes, que sus aguas deben someterse a estrictos tratamientos de purificación antes de ser utilizadas, con el objeto de:

- Eliminar los microorganismos y sustancias químicas dañinas, que causan serias enfermedades en los seres humanos.
- Evitar que tenga color, olor y sabor desagradables.

- Disminuir el efecto corrosivo que daña los utensilios de cocina, bloquea las tuberías y hace que las cañerías se dañen muy rápidamente.

Todo individuo tiene derecho al agua. El reconocimiento de este derecho implica el compromiso por posibilitar las condiciones para el acceso a la cantidad mínima de agua necesaria para satisfacer las necesidades básicas. Valdría preguntarse si, de la misma manera que se asevera el derecho por el aprovechamiento de un recurso natural, puede decirse que cada individuo tiene también derecho a la salud. La salud está definida como la condición del organismo de los seres vivos, o de alguna de sus partes, en que su vida se desarrolla y funciona normalmente, (OMS, 2005).

1.2 ENFERMEDADES RELACIONADAS CON EL USO DE AGUA

Se entiende por agua potable la que es apta para beber y para los demás usos domésticos. Esta debe ser límpida e inodora, fresca y agradable. Debe contener algunos gases, especialmente oxígeno y sales disueltas en pequeñas cantidades. No debe poseer materia orgánica, gérmenes patógenos, ni sustancias químicas.

El agua contaminada sirve de vehículo en la transmisión de numerosas enfermedades, entre las que podemos mencionar: el cólera y la fiebre tifoidea, causadas por bacterias; la hepatitis infecciosa, causada por virus; y la disentería amibiana, causada por parásitos. Las enfermedades relacionadas con el uso de agua incluyen aquellas causadas por microorganismos y sustancias químicas presentes en el agua potable; enfermedades como la esquistosomiasis, que tiene parte de su ciclo de vida en el agua; la malaria, cuyos vectores están relacionados con el agua, (Seoanez et al., 2003).

La existencia de una relación entre el agua y la presencia de factores que alteran el estado de salud de los organismos, produciendo enfermedades, ha sido reconocida desde la antigüedad.

Pero fue a raíz de una epidemia de cólera, en la ciudad de Londres, que pudo comprobarse cómo es que el agua contiene agentes que causan enfermedades, situación que se agrava en la medida que aumenta la contaminación de las fuentes de agua. Estos hechos motivaron la preocupación y los intentos, de parte de las autoridades gubernamentales, por purificar el agua para el consumo humano, (OMS, 2005).

Actualmente, según la Organización Mundial de la Salud (OMS), sólo 41% de la población mundial consume agua lo suficientemente tratada y desinfectada como para ser considerada “segura”. Más aún: el 80% de las enfermedades infecciosas y parasitarias gastrointestinales, así como una tercera parte de las defunciones causadas por éstas en el mundo, se deben al consumo de agua insalubre.

Una importante fracción de la carga de enfermedades relacionadas con el agua se atribuye a la manera como se desarrollan y manejan los recursos hídricos. De ahí la afirmación de que el agua y el saneamiento son uno de los principales motores de la salud pública. En cuanto se pueda garantizar el acceso al agua salubre y a instalaciones sanitarias adecuadas para todos, independientemente de las diferentes condiciones de vida, se habrá ganado una importante batalla contra todo tipo de enfermedades.

En muchas partes del mundo, los impactos adversos a la salud originados por la construcción de represas, las obras de irrigación y el control de inundaciones, se hacen evidentes en una mayor incidencia de malaria, encefalitis japonesa, esquistosomiasis, filariosis linfática y otras dolencias. Otros aspectos de salud indirectamente relacionados con el desarrollo de los recursos hídricos incluyen el estado nutricional, la exposición a los plaguicidas agrícolas y a sus residuos, los accidentes y las lesiones; si a esto se suma la falta de higiene y la carencia o el mal funcionamiento de los servicios sanitarios, podrá entenderse el por qué de la incidencia de diversos problemas de salud, especialmente en el caso de los países en desarrollo, (OMS 2005).

De ahí que, el progreso para lograr mejoras en los servicios de abastecimiento de agua en todo el mundo está relacionado con beneficios significativos para la salud, siendo éste uno de los principales intereses en las iniciativas de política internacional a través de los

objetivos de la Declaración del Milenio y de las actividades de monitoreo a través del Programa Conjunto de Monitoreo de la OMS y de la UNICEF.

En muchos casos, los brotes de estas enfermedades entran en las casas por los conductos del agua que no han sido desinfectados. El agua embotellada y los programas de tratamiento en las casas soluciones a corto plazo, son la única alternativa en este momento. La mayoría de las personas que viven en las ciudades, beben agua de la llave que contiene en ocasiones una cantidad muy alta de cloro. Añadir cloro al agua evita que las bacterias la contaminen. Sin embargo, el cloro está considerado como dañino para los humanos porque puede aumentar los niveles de colesterol.

La combinación de cloro y compuestos orgánicos en el agua, puede provocar cáncer, produciendo sustancias químicas conocidas como trihalometanos. Normalmente la cantidad de cloro presente en el agua de consumo público es de una parte por millón (1 ppm), casi tanto como lo que hay en una piscina.

El aluminio, que también se ha utilizado en procesos de tratamiento del agua en forma de sulfato aluminio, es otro contaminante. El sulfato de aluminio o el aluminio se une con los desechos orgánicos en el agua y se asienta como un metal pesado. Esta agua contiene cantidades altas de aluminio, que se asocia con un aumento del riesgo de contraer Alzheimer, (Seoanez, et al., 2003).

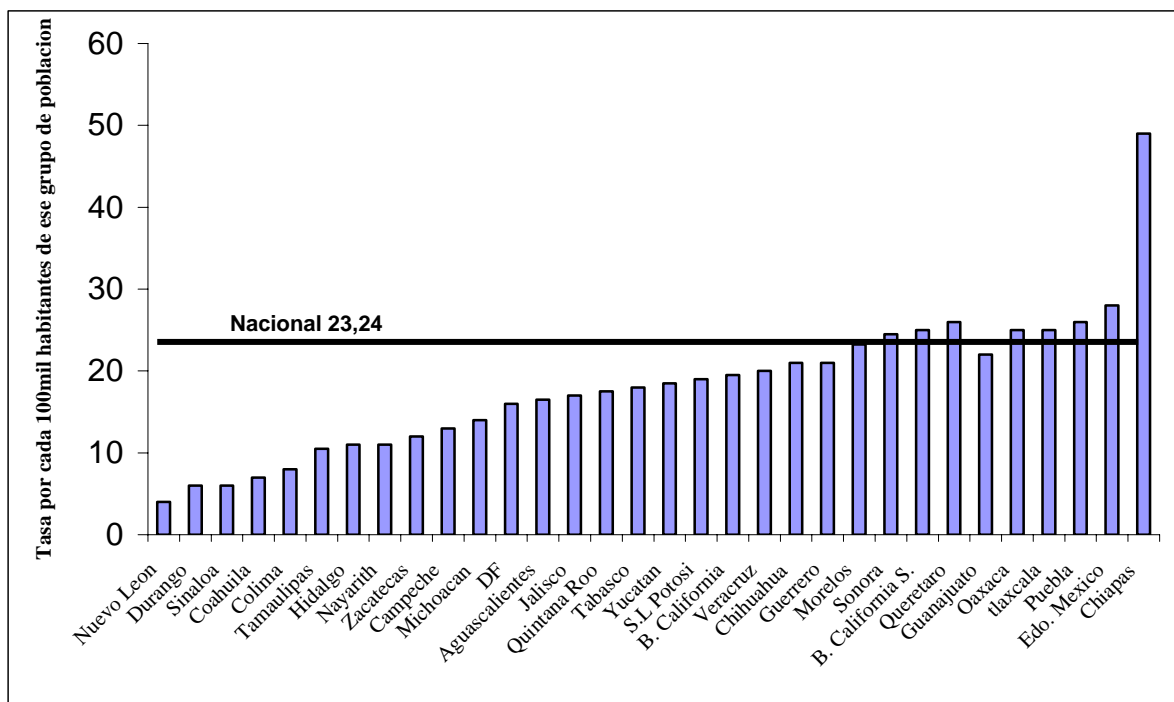
Otro de los contaminantes es el plomo. En las casas con más de 30 años, comprobar la presencia de plomo es importante. El gobierno no había prohibido el uso del plomo en las tuberías hasta 1986 y la prohibición no cubría los fregadores, la mayoría hechos de latón que contiene un 8% de plomo. Incluso aunque tengamos tuberías o fregaderos sin plomo, hay bastantes posibilidades de que los grifos contengan algo de plomo ya que es utilizado en los sistemas de distribución de agua públicos y pueden pasar al agua.

El plomo en pequeñas cantidades puede causar enfermedades del corazón, hipertensión arterial, daños neurológicos, problemas de aprendizaje y hasta infertilidad.

Algunos investigadores piensan que no existe un nivel en el que el plomo es un metal seguro para niños ni adultos. Un estudio conducido por la Universidad Carolina del Norte (USA), demostró que el agua que está en el fregadero durante tan solo unas horas, concentraba de 2 a 100 veces la cantidad diaria de plomo que es clasificada como perjudicial para la salud, (Seoanez, et al. 2003).

En México, un ejemplo claro de las enfermedades provocadas por el agua es la diarrea producida por pequeños microorganismos como: Salmonella, Shigela, Campylobacter foetus, Yersinia enterocolitica y E. coli, Acantamoeba Balantidium coli, Naegleria fowleri Giardia y la Entamoeba histolitica Aeromonas, Campylobacter jejuni, Escherichia coli Plesiomonas shigelloides, Salmonella sp, Streptococcus, Vibrio El Tor, Cryptosporidium presentes en el agua. (Lenntech, 2006; Avery y Lemley 2003) Figura. 1)

Fig. 1 Tasa poblacional de enfermos de diarrea por Estado.



Fuente: Instituto Nacional de Salud Pública, y SSA, 2000.

En la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), al igual que en el resto del país, las enfermedades infecciosas gastrointestinales son el principal problema de salud.

Los niños son especialmente vulnerables a este tipo de padecimientos, que a menudo provocan diarrea aguda y en ocasiones, la muerte por deshidratación. En 1991, la tasa de diarrea aguda en México era de 3,233 casos por cada 100,000 habitantes; 46 % de estos casos ocurrieron en niños menores de 5 años. La tasa de enfermedad en el Distrito Federal es más baja que la del Estado de México y que la del país en general. En 1991, los datos del censo reportaron que las enfermedades infecciosas intestinales son la segunda causa principal de mortalidad infantil en toda la nación (con una tasa de 278.4 por cada 100,000 habitantes), la tercera en el Estado de México (450 por 100,000 habitantes) y la cuarta en el Distrito Federal (156.7 por 100,000 habitantes) (INEGI, 1991). La diarrea aguda prevalece en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), donde algunas áreas muestran una mayor incidencia y mortalidad que otras.

Los parásitos protozoarios, como la Giardia y la Entamoeba histolítica, son agentes prominentes causales de diarrea. La disentería amibiana, endémica en México (Organización Panamericana de la Salud, 1990), se transmite bajo la forma de quistes de Entamoeba histolítica, a menudo a través de agua de beber contaminada por heces (McFadzean y Pugh, 1976). El nivel normal de cloro tiene poco o ningún efecto en la amiba enquistada (Rose et al., 1991). Las infecciones de Giardia en niños pequeños representan igualmente un problema y prevalecen con promedios elevados en las áreas pobres de la Ciudad de México (Marrow et al., 1992). Otros parásitos protozoarios dañinos para la salud documentados en la Ciudad de México son el Balantidium coli, Naegleria fowleri, así como algunas especies de Acanthamoeba (Rivera et al., 1978, 1983, 1984, 1986). La exposición a las especies patógenas de Naegleria y Acanthamoeba puede provocar desórdenes en el sistema nervioso central e incluso la muerte, especialmente en niños pequeños. Se cree que los patógenos se adquieren por la nariz al nadar. Los niños que acostumbran jugar en el agua están especialmente en riesgo. Por esta razón, las autoridades deben poner especial cuidado en que las aguas destinadas al uso recreativo reciban los tratamientos adecuados.

Una gran variedad de virus entéricos pueden ser ingeridos en el agua no potable, incluidos algunos subgrupos de poliovirus, virus coxsackie, ecovirus, así como virus de hepatitis infecciosas.

Estos virus pueden provocar desórdenes respiratorios, gastrointestinales y del sistema nervioso central. La hepatitis infecciosa produce enfermedades del hígado; la hepatitis A es, probablemente, endémica en México (Cech y Essman, 1992). En 1986 ocurrieron dos grandes crisis de hepatitis aguda en el Estado de Morelos, al sur de la Ciudad de México, en áreas sin servicio de agua, o con falta de servicio de drenaje. Esta fue la primera hepatitis epidémica distinta a las tipo A y B provocada por agua, documentada en Latinoamérica, (Okun, 1991).

Entre todas las enfermedades conocidas causantes de diarrea, la bacteria del cólera, el *Vibrio cholera*, sobresale por su aguda sintomatología. En 1991 se reportaron casos de cólera en Perú; desde entonces, la enfermedad se propagó a la gran mayoría de los países latinoamericanos. En México hubo 2,690 casos, de los cuales un pequeño porcentaje (entre dos y tres por ciento) tuvo lugar en la Zona Metropolitana del Valle de México. Otras bacterias que afectan la salud transmitidas por agua contaminada, o por comida infectada por el uso de agua contaminada, son la *Salmonella*, *Shigela*, *Campylobacter foetus*, *Yersinia enterocolitica* y *E. coli*, (Sarti y Gutiérrez et al., 1989; Castro, 1991).

La criptosporidiosis es una de las más graves enfermedades microbianas, porque puede causar infección aún a bajas concentraciones y se adapta muy bien a vivir en el agua y puede ser resistente a la desinfección que generalmente se aplica al agua potable (Rose, 1993). Como lo evidenció el estallido de más de 400,000 casos, y más de 100 muertes en Milwaukee en abril de 1993, la contaminación puede ocurrir a pesar de que no se excedan los límites indicados en las normas para el agua potable, (Fox, 1993; Rowan, 1993).

1.3 RECURSOS HIDROLOGICOS EN MÉXICO

Los recursos hidrológicos son de vital importancia para el desarrollo socioeconómico de México. Sin embargo, la gran diversidad fisiográfica y climática hace que el agua no esté distribuida regularmente en el país.

El país enfrenta problemas de escasez de agua que requieren ser atendidos de manera realista, reconociendo que el valor del agua se determina de la misma forma que se determina el valor de todos los productos que se encuentra en la naturaleza o que produce el hombre. No puede ignorarse que el valor de cualquier producto esta definido por sus características de calidad, (Gómez, 2002).

En México a nivel nacional, hay un promedio anual de 780 mm de precipitación pluvial, que corresponde a un volumen de 1 532 millones de m³; en la zona norte y en el altiplano (52 % del territorio) la media anual es inferior a los 500 mm, y en sólo una porción del sureste (7 % del territorio), la precipitación alcanza valores superiores a los 2,000 mm anuales.

La precipitación ocurre en dos ciclos anuales, el más importante tiene lugar de mayo a noviembre y concentra el 80% de las lluvias, debido a que en ésta temporada aparece el mayor número de huracanes y tormentas tropicales; el segundo ciclo ocurre de noviembre a abril y obedece a invasión de masas de aire polar (“nortes”) que afectan gran parte del territorio nacional.

La gran diversidad orográfica del país tiene gran influencia en la precipitación, en especial las sierras Madre Occidental y Oriental sobre el altiplano. La mayor parte de las lluvias provenientes de los océanos chocan con las serranías y caen en las vertientes, mientras que en el altiplano y la mesa central del país sólo descargan las que sobrepasan los macizos montañosos, (INE, CONAGUA).

En gran medida, la distribución orográfica y climática origina que la mayor parte del territorio sea de zonas semiáridas y tenga una gran variedad de ecosistemas. Se considera que el 50 % del escurrimiento anual total se concentra en los ríos más caudalosos ubicados en el sureste del país, y cuya región hidrológica comprende sólo el 20 % de la superficie total del territorio, (INE) Fig. 2)



Fig. 2 Distribución geográfica de las aguas superficiales y ríos de México Fuente: INE, CONAGUA.

En México el crecimiento económico no ha tomado en cuenta plenamente las señales de escasez del agua. La concentración de la población y la actividad económica han creado zonas de alta escasez, no sólo en las regiones de baja precipitación pluvial sino también en zonas donde eso no se percibía como un problema al comenzar el crecimiento urbano o el establecimiento de agricultura de riego.

Tan sólo para ilustrar la situación extrema en la que se encuentra el agua subterránea, podemos mencionar que, según cálculos de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), 101 acuíferos de un total de 600 están sobre explotados, (Sainz y Becerra; INE 2002).

La distribución del agua en el país presenta fuertes contrastes. En el sureste, que abarca cerca de 15% del territorio del país, se concentra 42% de los escurrimientos fluviales; mientras que en el altiplano del centro y la parte norte del país, 36% del territorio, se localiza sólo 4% de los escurrimientos, (INEGI, 1995).

Tabla 1. Distribución del volumen de agua dulce en México (Gobierno de México, 1996).

(Millones de m³)

Lluvia	1 522 000
Ríos	412 000
Presas	180 000
Lagos y lagunas	14 000

La precipitación se distribuye de manera desigual a lo largo del territorio nacional. En la zona norte sólo se tiene un escurrimiento de 3% del total, en un área equivalente a 30% del país. El sureste cuenta con 50% de la disponibilidad de agua, con una proporción de 20% de la superficie global. La región central, que ocupa 50% de la extensión territorial de México, tiene 47% de la disponibilidad de escurrimientos. En esta porción es donde se presenta una densa concentración poblacional, incluida la zona metropolitana del Valle de México, que ha hecho necesario importar agua de otras cuencas para satisfacer su demanda, (CONAGUA, 2004).

1.4 SITUACIÓN ACTUAL EN MÉXICO

Los recursos hidráulicos incluyen a los ríos, arroyos, lagos y lagunas, así como los almacenamientos subterráneos y las grandes masas oceánicas.

En México, la distribución de los recursos hidráulicos y las actividades que a partir de ellos se realizan no guardan una relación directa entre sí.

Las zonas del país donde se ha concentrado el crecimiento demográfico y económico y donde se localiza una parte substancial de la infraestructura productiva y social son aquellas donde hay una menor disponibilidad de agua. Las regiones donde habita el 77% de la población total y se genera el 84% del producto interno bruto del país sólo reciben el 28% del total de escurrimientos.

La contaminación de la mayoría de los cuerpos de agua superficiales (provocada por la descarga de aguas residuales sin tratamiento) ocasiona grados variables de degradación y limita el uso directo del agua. A pesar de los avances en el tratamiento de las aguas residuales, a nivel nacional solamente el 10 % de las aguas superficiales son de buena calidad, en tanto que la calidad es media en el 65% y mala en el 25% restante.

Pero el uso del agua en México se da de la siguiente manera: La agricultura y la ganadería consumen el 77% del agua en México. Alrededor de 6.3 millones de hectáreas son de riego. Luego le sigue el consumo municipal y doméstico con 13% y la industria, al final, con un 10%. Por ello es necesario prestar atención especial al uso de los acuíferos del país; de los 600 acuíferos identificados en 1999, 101 estaban siendo sobreexplotados, (CONAGUA, 2005).

El panorama se complica todavía más cuando hablamos del agua en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM). La disponibilidad hidrológica de la región a la cual corresponde nuestra metrópolis es la más baja del país, no rebasa ni siquiera los 230 m³/habitante al año, cifra crítica si se considera que el mínimo deseable son 1,000 metros cúbicos per Capita anuales. Por su lado, demanda volúmenes importantes de agua que oscilan alrededor de los 68 metros cúbicos por segundo.

La situación de los recursos hidráulicos de nuestro país es, cuando menos, preocupante. En 1955 los mexicanos teníamos una disponibilidad promedio de agua de 11,500 metros cúbicos por habitante al año, mientras que hoy no llegamos a los 5,000 metros cúbicos anuales por habitante como media nacional, con una irregular distribución geográfica que provoca escasez en la mayor parte del territorio y abundancia en algunas porciones del mismo, (CONAGUA, CESPEDS 1999).

El problema del agua en México, no es un tema ideológico, sino de acciones que requieren "imaginación y creatividad" para dejar de estar casado con ideas fijas y crear modelos diversos que garanticen la sustentabilidad de un recurso "vital y finito, que hoy carece de estrategias y soluciones que permitan asegurar su eficiencia", (B.McDaniel y Herrera, 2005).

1.5 MÉXICO EN EL MUNDO

Solamente en México, se estima una inversión de US \$2,900 millones para proporcionar agua limpia y servicios de saneamiento a los habitantes urbanos. Se necesitan miles de millones de dólares para servir a la región latinoamericana.

En 1995, el Banco Mundial estimó que se requeriría una inversión de US \$12,000 millones anuales durante 10 años para elevar los estándares de abastecimiento de agua, (Agua Latinoamérica septiembre/octubre 2002: Volumen 2, Número 5).

Un estudio de las Naciones Unidas, Informe Mundial del Desarrollo del Agua publicado en marzo del 2005, clasificó a 122 países seleccionados de acuerdo a su calidad de agua. La clasificación de cada país estuvo basada en varios factores, incluyendo la cantidad y calidad del agua dulce especialmente el agua subterránea, las instalaciones de tratamiento de agua residual, y asuntos legales como la aplicación de reglamentos contra la contaminación. Encabezando la lista estuvo Finlandia, seguida muy de cerca por Canadá y Nueva Zelanda. Los Estados Unidos fue clasificado como #12, mientras que Bélgica fue el último en la lista.

México fue clasificado como el peor país en Latinoamérica, ocupando el puesto # 106, mientras que Argentina fue el mejor, ocupando el puesto #13. Otros países de la región recibieron la siguiente clasificación: Brasil #23; Cuba #27; Uruguay #32; Colombia #35; Costa Rica #38; Chile #39; Panamá #43; Trinidad y Tobago #46; El Salvador #49; Venezuela #53; Jamaica #55; Ecuador #56; Perú #59; Bolivia #67; República Dominicana #76; Guatemala #81; Nicaragua #82; Honduras #89; Paraguay #90; y Haití #106.

Por contraste, 16 países de la región fueron catalogados entre los 50 mejores de 180 países en términos de disponibilidad de agua per capita por año, (Agua Latinoamérica mayo/junio 2003: Volumen 3, Número 3).

El crecimiento poblacional y económico han ejercido mayor presión sobre las reservas de agua en México, al punto que el volumen demandado es mayor que el suministrado en algunas regiones del país, lo que obliga al gobierno a decidir a quién dejar sin este recurso, lo que ocasiona problemas distributivos.

La competencia por este recurso es ya causa de conflictos de diferente intensidad y escala, y se presenta no sólo entre usuarios de la misma comunidad sino entre distintas comunidades, municipios, estados e incluso en el ámbito transfronterizo, (Sainz y Becerra; INE 2002).

1.6 LA CUENCA DEL RÍO LERMA Y SISTEMA CUTZAMALA, EN EL CONTEXTO NACIONAL

La decisión de traer agua desde cuencas ubicadas fuera del Valle de México se debió en gran parte a los primeros impactos ocasionados por el hundimiento de la ciudad por la extracción de agua del subsuelo. El desmesurado crecimiento de la población durante los años treinta, hizo evidente que las fuentes subterráneas no eran suficientes para abastecer la demanda de miles de nuevos habitantes. Hay que recordar que la cuenca donde se asienta la ciudad de México y su área metropolitana, se encuentra rodeada de cinco cuencas, siendo las más cercanas la de Lerma y la de Cutzamala. Las otras tres son las de Amacuzac, la de Libres Oriental y la del Río Tecolutla. De todas ellas, las dos primeras resultaban más apropiadas en convertirse en las primeras aportantes de agua a la ciudad de México. Así fue. De la de Lerma $6 \text{ m}^3/\text{s}$ (8.6% del total) y de Cutzamala $14.4 \text{ m}^3/\text{s}$ (21.3% del total). En resumen, se trata de $20.3 \text{ m}^3/\text{s}$ y 30% de todo el abastecimiento. El agua de ambos sistemas es potabilizada y se conduce a la ciudad por medio de grandes acueductos de concreto.

El Sistema Cutzamala, la cual abastece a la Ciudad de México, es uno de los sistemas de suministro de agua potable más grandes del mundo, no sólo por la cantidad de agua que transporta (aproximadamente 480 hm^3 anualmente), sino por el desnivel (940 m) que se vence.

El sistema está integrado por 7 presas y 6 estaciones de bombeo con las características que se indican en la Tabla 2.

Tabla 2. Características de los elementos que componen al Sistema Cutzamala.

CONCEPTO	CAPACIDAD	METROS SOBRE EL NIVEL DEL MAR.(MSNM)
Tuxpan presa derivadora	5 hm ³	1 751
El Bosque Presa de almacenamiento	202 hm ³	1 741
Ixtapan del Oro Presa derivadora	0.5 hm ³	1 650
Colorines Presa derivadora	1.5 hm ³	1 629
Valle de Bravo Presa de almacenamiento	394 hm ³	1 768
Villa Victoria Presa de almacenamiento	186 hm ³	2 545
Chilesdo Presa derivadora	1.5 hm	2 396
Planta de bombeo 1 Bombas	20 m ³ /s	1600
Planta de bombeo 2 Bombas	29 m ³ /s	1 722
Planta de bombeo 3 Bombas	24 m ³ /s	1 833
Planta de bombeo 4 Bombas	24 m ³ /s	2 178
Planta de bombeo 5 Bombas	24 m ³ /s	2 497
Planta de bombeo 6 Bombas	5 m ³ /s	2 324
Planta Potabilizadora "Los Berros"	24 m ³ /s	2 540

Fuente: Gerencia Regional de Aguas del Valle de México y Sistema Cutzamala. (CONAGUA).

Tabla 3. Volumen suministrado anualmente por el Sistema Cutzamala.

AÑO	volumen(hm³)
1991	317
1992	315
1993	342
1994	411
1995	431
1996	451
1997	480
1998	455
1999	479
2000	483
2001	476
2002	480

Fuente: Gerencia Regional de Aguas del Valle de México y Sistema Cutzamala. CONAGUA.

1.7 SERVICIO DE AGUA POTABLE EN MÉXICO

La salud humana depende no solo de la cantidad de agua suministrada, sino principalmente de su calidad; según la OMS “Casi la cuarta parte de las camas disponibles en los hospitales del mundo están ocupadas por enfermos cuyas dolencias se deben a la insalubridad del agua”.

En México, durante los últimos 60 años, la mortalidad por diarreas ha disminuido en forma sostenida. Sin embargo, las tasas de mortalidad observadas siguen siendo muy elevadas comparadas con países desarrollados. (La tasa de mortalidad por diarreas en países desarrollados es inferior a 1/100 000 hab.), (Díaz y Antón, 2003).

México, al igual que muchos otros países en vías de desarrollo, presenta un número importante de comunidades rurales con necesidades primarias no cubiertas. Entre los servicios elementales inexistentes de estas comunidades rurales, destaca el no tener acceso al agua potable y a la energía eléctrica.

En la República Mexicana existen 6 714 comunidades rurales menores a 200 habitantes que no disponen de agua potable, y particularmente para el Estado de México esta situación se ve reflejada, porque es el estado en el que se registra la mayor cantidad de habitantes, 14 007 495, de los cuales viven en 95 comunidades en dicha situación, (INEGI, 1995).

La población del Estado de México entre 1950 y 1995 ha sido incrementada de 1 392 623 hab. hasta 12 239 403 hab., lo que significa que en los últimos 45 años la población creció aproximadamente 10 veces. El Estado de México es uno de los estados más importantes de la República Mexicana, debido a su contribución en la economía. Sin embargo, estas características también le generan un importante impacto social y medio ambiental. En este estado existen 3 714 comunidades rurales menores a 2500 habitantes, cantidad que representa el 15.59% de su población. Este importante sector de la población se caracteriza por la carencia de sus servicios básicos, (Díaz y Antón ,2003).

Por otro lado, en 1990 las enfermedades atribuidas a la mala calidad del agua, presentaron una tasa de morbilidad (Pavón et al., 1997) general del 20/100.000 hab., pero en 1995, la tasa disminuyó hasta 15.1/100.000 hab., lo que representa un decremento del 25%.

En cuanto a las tasas de mortalidad general por causa, las enfermedades infecciosas intestinales para 1990 mostraban tasas del 32/100.000 hab., representando un decremento aproximado del 60%.

En México la tasa de mortalidad por diarreas para niños de cinco años corresponde a 33.3 muertes por cada 100,000 lo que representa que diariamente mueren en este concepto 14 niños. EL valle del Mezquital el riesgo de muerte por diarreas en niños es 13 veces mayor que la del resto del país, por lo que se calculan que ocurren 2165 defunciones al año y 6 al día, (INEGI 1997 y Orta 2000).

En el Estado de México, los grupos más vulnerables a las enfermedades principalmente infecciosas, se encuentran entre los niños de un año o menores a esta edad, por lo que según análisis exhaustivos de estadísticas sobre mortalidad infantil por enfermedades intestinales infecciosas, se encontró que para 1990 existían tasas del 576.6/100.000 hab. disminuyendo éstas hasta 224.7/100.000 hab. para 1994. Lo anterior representa una reducción en el período descrito de poco más del 60%.

Sin duda alguna, se puede mencionar que el aporte de agua potable de calidad a la población, es garantía de protección de la salud, reduce los gastos médicos, incrementa la calidad de vida y favorece el desarrollo sustentable de una comunidad. (Díaz y Antón, 2003)

1.8 ASPECTOS DE LA EVOLUCIÓN AMBIENTAL EN MÉXICO

La cercanía de la cuenca del Río Lerma con la Ciudad de México, una de las concentraciones humanas más grandes del mundo, se ha convertido en un factor crítico de presión social y política que repercute principalmente en el recurso agua.

La presión ejercida por la Ciudad de México es tan fuerte que por tratar de resolver el problema de abastecimiento de agua potable se han sobreexplotado los recursos disponibles de agua de la Cuenca Alta del Río Lerma. Sin embargo, no existe una cuantificación precisa del grado de sobreexplotación.

1.9 PLANTA POTABILIZADORA “LOS BERROS”

“Los Berros”

Sistema Cutzamala.

La planta potabilizadora “Los Berros” (Fig. 3), que forma parte del Sistema Cutzamala, recibe los caudales captados por éste y permite que el agua suministrada a la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, sea de buena calidad encontrándose dentro de la norma NOM-127-SSAI-1994 para agua potable nacional y la Organización Mundial de la Salud (OMS), (Agua de la ciudad de México, 2003).



Fig. 3 Planta potabilizadora “Los Berros”.

El proyecto integral de esta planta cuenta, con un tanque de recepción de aguas crudas, 6 canales Parshall, 6 módulos de potabilización, un tanque de recepción de aguas claras, un edificio de dosificación de sulfato de aluminio, una planta de cloración, un sistema de neutralización, un sistema de tratamiento de lodos y un laboratorio para análisis físico-químicos y bacteriológicos logrando con esto una capacidad de operación de 24 m³/s. (Agua de la ciudad de México, 2003).



Fig. 4 Canales Parshall “Berros”.

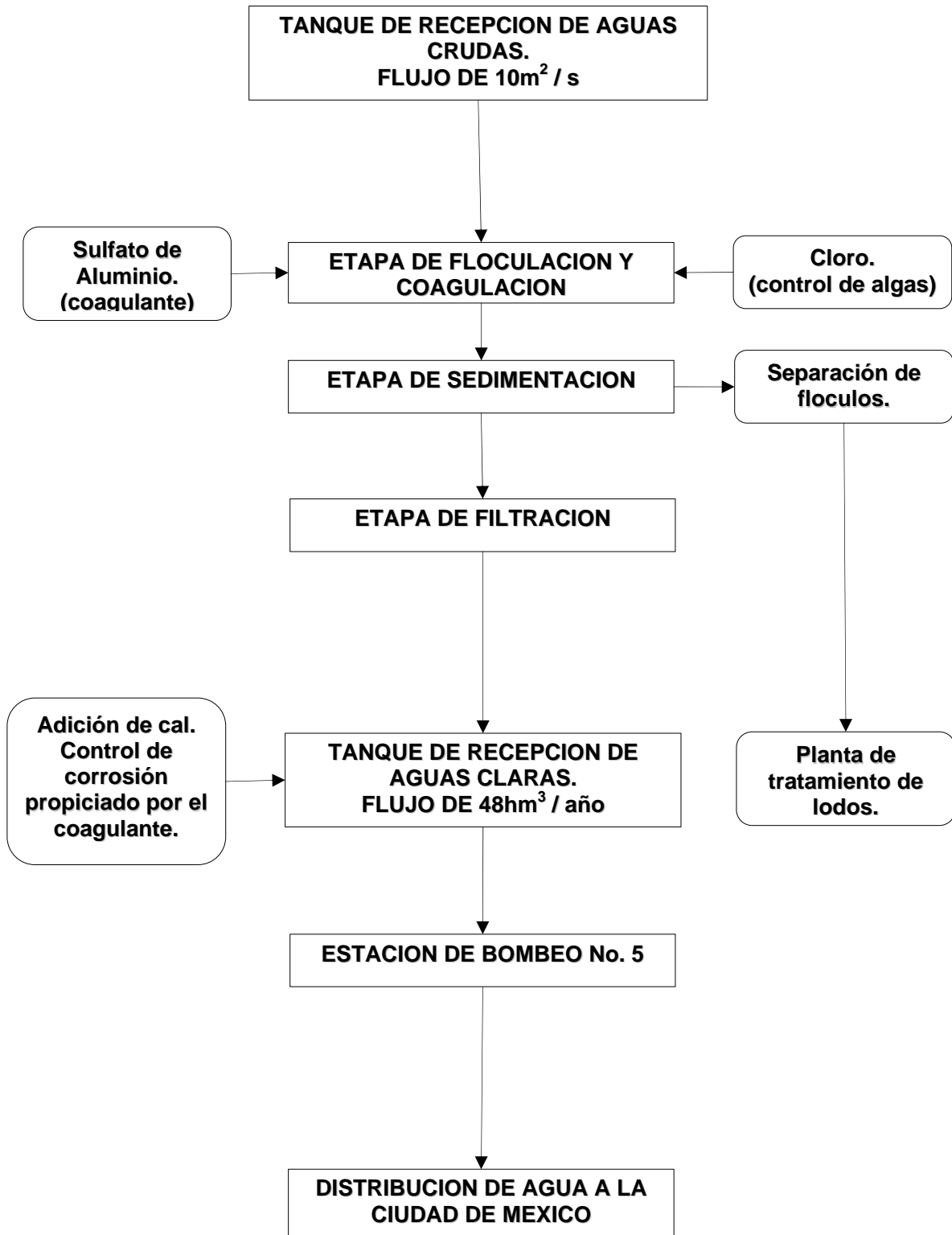


Fig. 5 Esquema general del proceso de potabilización de la planta potabilizadora “Los Berros”.

1.9.1 Descripción del proceso de potabilización.

El agua que proviene de las presas que integran el Sistema Cutzamala, llega a un tanque de concreto formado por dos cámaras, donde se mezclan las aguas crudas homogeneizándose su calidad con una capacidad para almacenar $6,450 \text{ m}^3$.

Del tanque de recepción, las aguas crudas se conducen a través de los Canales Parshall Fig. 4), donde se mide el caudal y se inicia el proceso de potabilización, adicionando al agua Sulfato de Aluminio y cloro para el control de las algas como inicio de la etapa de floculación, (Agua de la ciudad de México, 2003).

Después de los canales parshall el agua pasa a 6 módulos de potabilización que reciben un caudal de $4 \text{ m}^3/\text{s}$ cada uno, y posteriormente es enviada a 4 tanques de agitación continua con paleta de eje horizontal accionada con motores de 5 y 10 HP con capacidad de $7,730 \text{ m}^3$ cada uno siguiendo con la etapa de floculación, que es un proceso químico mediante el cual, con la adición de sustancias denominadas floculantes, se aglutina las sustancias coloidales presentes en el agua, facilitando de esta forma su decantación y posterior remoción, (Agua de la ciudad de México, 2003).

Al terminar la floculación, el agua pasa a la etapa de sedimentación introduciéndola a 4 tanques con estructura de concreto reforzado equipados con placas de asbesto-cemento separadas 5 cm, una de otra e inclinadas 60 grados; éstas proporcionan la precipitación de los floculos en suspensión, para que se depositen en forma de lodo en el fondo de los tanques, procesan a un gasto de $1 \text{ m}^3/\text{s}$ cada uno y reciben un volumen total de $17,590 \text{ m}^3$.

El lodo se extrae mediante un succionador suspendido de un flotador que recorre los tanques longitudinalmente y lo descarga a un canal lateral para finalmente llevarlo a la planta de tratamiento de lodos, (Agua de la ciudad de México, 2003).



Fig. 6 Canales de floculación “Berros”.

Después de la sedimentación, el agua se conduce al área de filtración conformada por 8 tanques con filtros de tasa constante y una capacidad de procesar 500 L/s cada uno, los filtros están conformados por lechos de grava y arena sílica con un fondo falso de losas con boquillas microrranuradas, por las que pasa el agua. La tasa de filtración es de $265 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$ y el lecho filtrante de arena sílica es de 1.30 m de espesor. Posteriormente, a esta agua filtrada se le adiciona cal para neutralizar la corrosión propiciada por los coagulantes inicialmente suministrados.

Los lechos de grava y arena sílica se lavan periódicamente a través de una consola que acciona a control remoto la inyección de aire en la entrada y salida del agua utilizada para lavarlos, (Agua de la ciudad de México, 2003).



Fig. 7 Sistema Cutzamala

Concluida la potabilización, el agua se conduce al tanque de recepción de aguas claras, con estructuras de concreto reforzado dividida en dos cámaras y con capacidad de 48,000 m³, diseñado para funcionar como tanque de emergencia de la planta de bombeo Núm. 5, de donde se envía el agua potabilizada hasta la zona metropolitana de la Ciudad de México, (Agua de la ciudad de México, 2003) Fig. 8).



Fig. 8 Ducto en el cual es enviada el agua potable a la ciudad de México.

La unidad de laboratorio, cuenta con los equipos y materiales necesarios para realizar los análisis físico-químicos bacteriológicos que permitan determinar la calidad del agua que se entrega, cumpliendo con las normas dispuestas tanto nacional (NOM-127-SSAI-1994) como internacionalmente (OMS) en materia de agua potable. Para lograr lo anterior, cada 3 horas se efectúan muestreos con agua en las diferentes etapas del proceso, es decir. Cruda, floculada, sedimentada y filtrada, obteniendo con ello plena seguridad en la calidad del agua potabilizada, esta planta no utiliza ozono.

1.10 PROBLEMAS DE OLOR Y SABOR

En la planta potabilizadora “Los Berros”, una causa importante de los problemas de sabor y del olor en sistema de agua, es causada por las algas, los mohos, y las bacterias presentes en ellas. Las algas pueden causar sabor y olor desagradables cuando se utiliza un abastecimiento de agua superficial. La causa principal ocurre cuando se presenta una floración algal. Es decir un crecimiento masivo de algas en el agua superficial.

El desarrollo y la proliferación de algas ocurren típicamente en los meses del verano debido a la luz del sol excesiva y también ocurrirán en depósitos o charcos, cuando el cargamento nutriente es alto. En este caso, las algas tienen los elementos óptimos de crecer y bajo estas condiciones, los sabores y los olores se pueden encontrar a menudo en el agua procesada, (Buffin, 1992).

Algunos de los olores característicos que pueden resultar de las floraciones algal son terrosos, mohosos, herbosos, a pescado, vehículo y pepino. El olor va a depender del tipo de algas presentes y su concentración. Hay varias maneras de atacar el problema del sabor y del olor por algas. Uno es el control de nutrientes. Otro método es el retiro del sabores y los olores durante el tratamiento y un tercero son controlar las algas con el uso de productos químicos, (Buffin, 1992).

1.10.1 Normatividad en los niveles de: algas, olor y sabor para agua potable.

El abastecimiento de agua para uso y consumo humano con calidad adecuada es fundamental para prevenir y evitar la transmisión de enfermedades gastrointestinales y otras, para lo cual se requiere establecer límites permisibles en cuanto a sus características bacteriológicas, físicas, organolépticas, químicas y radiactivas.

Con el fin de asegurar y preservar la calidad del agua en los sistemas, hasta la entrega al consumidor, se debe someter a tratamientos de potabilización. Límites permisibles de características físicas y organolépticas.

1.10.2 Olor y sabor, niveles permisibles de acuerdo a la norma NOM-127-SSA1-1994 para agua potable.

La norma establece como niveles permisibles para un agua potable en relación al olor y sabor en los siguientes estándares:

Olor y sabor Agradable (se aceptarán aquellos que sean tolerables para la mayoría de los consumidores, siempre que no sean resultados de condiciones objetables desde el punto de vista biológico o químico).

1.10.3 ALGAS (clorofilas y metabolitos), niveles permisible de acuerdo a la norma NOM-127-SSA1-1994.

La norma mexicana NOM-127-SSAI-1994 para agua potable, no asigna ningún parámetro en los niveles de concentración para las algas, sin en cambio la Organización Mundial de la Salud (OMS) asigna unos valores guías basados en una serie de suposiciones que pueden ser modificados local o nacionalmente de acuerdo a las circunstancias específicas (disponibilidad de las fuentes, consumo, etc.).

La OMS ha adoptado un valor guía provisional para el agua potable $1\mu\text{g/L}$ de clorofila “a” y de 2000 cel/mL para las cianobacterias.

El nivel de guía de la OMS ha sido acordado para la microcistinas y solo como guía provisoria para la toxina más estudiada dentro de las cianotoxinas: la microcistina-LR. Estudios para elaborar valores guías están en progreso.

Nivel alerta 1

El umbral para este nivel es de:

Cianobacterias: $>2000\text{cel/mL}$ o

$0.2\text{ mm}^3/\text{L}$ biovolumen o

Clorofila “a”: $1\mu\text{g/L}$

Este umbral se asume que las especies pueden ser productoras de microcistinas. Las condiciones de este nivel implican que debería hacerse una evaluación basada preferentemente sobre el análisis de las toxinas por una técnica cuantitativa. Este nivel requiere la evaluación del desarrollo de la floración y de la disponibilidad de un tratamiento efectivo del agua.

En el caso de las cianobacterias que producen otras toxinas, será necesario hacer un análisis de riesgo basado en el peligro inherente a la toxina detectada, su concentración y la exposición esperada a la misma.

Si el nivel de alerta 1 se mantiene pero las toxinas.

Nivel de alerta 2

El umbral para este nivel es de:

Cianobacterias: 100000 cel/mL o

$10\text{ mm}^3/\text{L}$ biovolumen o

Clorofila “a”: $50\mu\text{g/L}$

Presencia de toxinas confirmadas.

Las condiciones de este nivel indican un incremento significativo en el riesgo sobre efectos adversos en la salud por un suministro de agua que no es tratado o que es tratado con un sistema no efectivo, incluso a corto plazo. En este punto un tratamiento de agua efectivo adquiere mayor importancia. Si no se dispone de un sistema de tratamiento avanzado, en este nivel de alerta un plan de contingencia de suministro de agua debería ser activado.

Tabla 4. Niveles de alerta según la OMS.

PRODUCTOS	NIVEL DE ALERTA 1	NIVEL DE ALERTA 2
Cianobacterias	>2000 cel/mL ó 0.2 mm ³ /L biovolumen	100000 cel/mL ó 10 mm ³ /L biovolumen
Clorofila “a”	1 µg/L	50 µg/L

Fuente: OMS

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

2.1 OLOR Y SABOR EN AGUAS SUPERFICIALES

El sabor y el olor han sido de largo un problema en los procesos de tratamiento de aguas. Se ha realizado mucha investigación en cada área del problema del sabor y del olor. El sabor y el olor es una preocupación importante porque la aceptación a menudo pública de un abastecimiento de agua potable se basa en su aprobación de sus calidades organolépticas, a saber su sabor y olor, (Everpure, 1997).

Una de las causas principales de los problemas del sabor y del olor es la constante de los subproductos de la desinfección con cloro que actualmente se está utilizando. El cloroamina es el desinfectante lo más extensamente posible usado aplicado a los abastecimientos de agua potable hoy. Una de las muchas preguntas sobre el uso del cloroamina como desinfectante es el olor y el gusto que puede impartir en un agua tratada. En las leyes actuales establece que se debe tener el agua, una cierta cantidad de desinfectante residual antes de su distribución. Muchas instalaciones todavía utilizan la clorina como su desinfectante final aunque los cloraminas y el dióxido de la cloroamina pueden también ser utilizados. Por lo tanto, algunas plantas deben utilizar cantidades grandes de desinfectante para resolver los requisitos residuales establecidos en las regulaciones vigentes. La adición de amoníaco para formar la monocloramina que dura mas tiempo en las pipas, también es típicamente uno de los problemas del sabor y del olor. El último resultado cuando se aplica demasiado cloro es que el agua obtenida olerá como una piscina y el sabor será desagradable. Este problema se maneja a menudo con el uso de desinfectantes alternativos así como la manipulación de la cantidad de cloro agregada al agua, (Hoehn, 1996).

Otra fuente del sabor y de los olores en el agua es debido a los altos contenidos de manganeso y hierro presentes en el agua. Estos metales se encuentran a menudo en fuentes del agua subterránea donde la calidad del agua cumple con la norma, pero hay una alta cantidad de metales solubles. Los metales entonces reaccionan con oxígeno en el sistema de distribución para producir la forma reducida e insoluble del metal.

El sabor metálico puede también ser un resultado de la corrosión de los tubos de distribución que pueden impartir un sabor, tipo metálico y los problemas residuales del olor de la cloroamina se mencionan para ejemplificar que hay muchas diversas causas de las ediciones del sabor y del olor, (Hoehn, 1996).

Una tercera causa importante de los problemas del sabor y del olor en sistemas del agua es causada por las algas, los mohos, y las bacterias.

Las algas pueden causar gusto y olores negativos cuando se utiliza un abastecimiento de agua superficial. Fig. 9)



Fig. 9 Floración algal (Cortesía de Dr. Dietrick).

De los componentes principales dentro de las algas que causan gusto y los olores son Geosmin y Metil Isoborneol (MIB), (Buffin, 1992).

Hay muchas especies de algas que tienen la capacidad de causar sabor y olor en abastecimientos de agua. Algunas algas, causan problemas cuando ocurre la proliferación algal cuando y segregan estos metabolitos. Cuatro de estos metabolitos son el anabaena, el oscillatoria, el aphanizomenon, y el asterionella familias, (Rashash et al., 1994).

Anabaena es un productor del Geosmin, que cuando está en el agua, imparte un olor terroso o dulce-terroso-maíz-herboso. Anabaena es un cyanobacteria que se caracteriza como bacteria heterogénea, fototrópica que puede también producir las toxinas que son fatales cuando son ingeridas por animales, (Rashash et. al. 1994). Otra especie común que causa un gusto y problema del olor es Anabaena, (Hoehn, 1996).

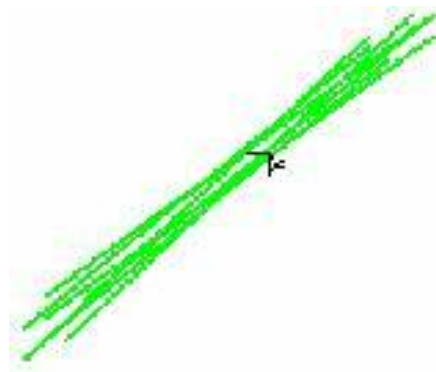
Los olores predominantes para el tenius de Oscillatoria son un olor del dulce-melón-maíz y un olor terroso-maíz-mohoso. Estos olores también se asocian a Geosmin, y también como MIB. Oscillatoria es un cyanobacteria filamentosos que se reproduce por fragmentación. Oscillatoria es caracterizado por las barras marrones grandes que no son translúcidas, (Rashash et al., 1994).

Aphanizomenon son de las algas verdes azules que emite un olor producido por Geosmin, la mayoría de las floraciones algal ocurre en temperaturas calientes, tales como los que ocurran en verano tardío o caída temprana. Sin embargo, el Aphanizomenon puede formar crecimientos densos en temperaturas más frías, uniformes bajo cubierta del hielo.

También se conoce como pensamiento del suplemento de la salud para dar un alza adicional de la energía. A menudo, el Anabaena y el Aphanazomenon pueden ser confusos para uno otro. El punto dominante sobre Aphanazomenon es que tiende para ser más fino que Anabaena y tiende para agrupar para arriba. Fig. 10).



a)



b)

Fig. 10 a) Anabaena, b) Oscillatoria

Asterionella son las algas unicelulares muy minuciosas, una diatomea. Se encuentra comúnmente en agua con problemas del gusto y del olor. Hay muchas otras algas que producen el gusto y los olores desagradables, que pueden ser producidos por Geosmin o el MIB.

Una breve lista de esas familias de la alga incluye el Chlamydomonas, Dinobryon, Microcistis, Phormidium, y Synura.



Microcistis

Fig. 11 Microcistis.

2.2 TIPOS DE ALGAS

2.2.1 Cianofitas (algas verdes- azules).

Algas verdes azuladas también conocidas como cianobacterias se manifiestan en forma de capas mucilaginosas con variable (entre rojo y marrón, verde o negro).

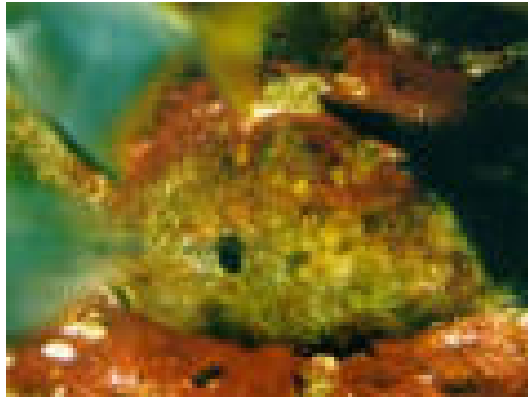


Fig. 12 Algas verde-azules.

2.2.1.1 Origen y evolución.

Constituyen el segundo grupo en cuanto a evolución. Hay restos de ellas desde el principio paleozoico. Es un grupo evolutivamente abierto porque origina las algas verdes (tienen la misma clorofila), además de que tienen una mayor complejidad en las asociaciones celulares.

2.2.1.2 Morfología.

Organismos unicelulares con núcleo indefinido (son procariontes). Tienen a la forma redondeada y cada célula tiene membrana, corpúsculos protoplásmicos y al centro, sin membrana, está todo el material genético. Afuera tienen una sustancia mucilaginosa que la cubre y que retiene el agua (solvatación). Pueden formar colonias filamentosas.

2.2.1.3 Fisiología.

Respiración aeróbica. Alimentación fotosintética donde no devuelven oxígeno a la atmósfera. Tienen, un pigmento llamado ficocianina (a las cianofitas le da el β y α clorofila color azul) y corpúsculos de un polisacárido particular llamado almidón de las cianofita. Reproducción asexual por fragmentación negativa o por bipartición.

2.2.1.4 Relación con el hombre.

Forman parte de la cadena alimenticia. Siempre de vida libre. No son parásitos y no nos ocasionan daños. El hombre los utiliza para: teñir sedas naturalmente (artesanalmente) en zonas orientales, con la sustancia mucilaginosa se hace la base del agar-agar; la mayoría son comestibles, como la spirulina con nuestros antepasados.

2.2.1.5 Género Representativo.

- Oscillatoria
- Anscistis
- Rivularia



Fig.13 Anabena

2.2.1.6 Ecología.

La vida de las cianofitas se relaciona con el agua: ríos, bordes de lagos, etc. Y lugares húmedos. Prefieren climas templados o cálidos, nunca fríos, porque eso no les permite prosperar.

2.2.2 Algas verdes.

Las Algas son los vegetales pluricelulares más sencillos, ya que su estructura está formada por el talo, que es una agrupación de células con cierta diferenciación, similares a hojas, raíces o tallos.

2.2.2.1 Algas verdes flageladas y filamentosas.

De enorme variedad, viven en aguas dulces y marinas.

Suelen agruparse en colonias, de forma globular o filamentosas.

Algunas viven en simbiosis con hongos, formando líquenes.

Ejemplos de algas flageladas:

1. Volvox,
2. Ulothrix,
3. Oedogonium,
4. Chaetophora.

2.2.3 Algas rojas.

2.2.3.1 Algas rojas (Rodofíceas).

Son casi todas marinas, de multitud de formas, y presentan diversa coloración: roja, pardo-rojiza, púrpura, violácea y azulada.

Algunas se impregnan de calcio y forman masas pétreas semejantes a los corales.ejemplo:

1. Porphira laciniata
2. Coralina rubens
3. Lithothamium calcareum

4. *Nyctophyllum punctatum*
5. *Chondrus crispus*
6. *Rhodomenia palmata*
7. *Scinaia furcellata*

2.2.4 Algas pardas.

2.2.4.1 Algas pardas (Feofíceas).

Son generalmente marinas, de color pardo por la presencia de pigmentos marrones.

La pared celular contiene una sustancia gelatinosa, empleada en industria textil, alimenticia y cosmética. Son de forma muy diversa, están fijadas por rizoides y algunas poseen flotadores llenos de aire. Algunas alcanzan dimensiones considerables.

Algunos ejemplos de estas Algas:

1. *Microcistis* (hasta 200 m de longitud).
2. *Fucus vesiculosus*.
3. *Laminaria digítala*.
4. *Laminaria sacharina* (*Fucus azucara*)
5. *Laminana polyschides* (alga rizada).
6. *Seytosiphon*.

Tabla 5. Diferentes tipos de Algas.

Tipo de algas	Pigmentos fotosintéticos	Flagelos	Reservas alimenticias.	Adicional
Algas azul-verdes	Clorofila a - Biliproteínas	No hay	Almidón de cianofíceas.	Organización celular procariota, no hay membranas dobles de núcleos, cloroplastos o mitocondrias, reproducción sexual por conjugación,?, amitosis
Algas rojas.	Clorofila a y ⁺. d Biliproteínas	No hay	Almidón de florideas.	Estructura celular eucariótica, reproducción sexual orgánica, detalles y procesos que siguen a la reproducción sexual, usualmente complejos, en su mayoría plantas marinas.
Algas amarillo verdosas	Clorofila a	Uno tipo tinsel y uno látigo, de longitud desigual.	Crisolaminaria; grasas.	Estructura celular eucariótica, básicamente unicelulares o coloniales, sílice a menudo presente en la pared celular o en la pared de las estructuras reproductoras.
Algas doradas	Clorofila a - fucoxantina	En su mayoría uno de tipo tinsel	Crisolaminaria; grasas.	
Algas diatomeas	Clorofila a y c fucoxantina	En su mayoría no flageladas	Crisolaminaria; grasas.	
Algas pardas	Clorofila a y c fucoxantina	Uno tinsel y uno tipo látigo	Laminaria	Estructura celular eucariótica, flagelos lateralmente insertos, las algas de mayor tamaño y vegetativamente las mas complejas, fundamentalmente organismos marinos de la zona litoral de las aguas frías.
Algas verdes	Clorofila a y b	Generalmente 2 (o mas) de tipo látigo	Almidón verdadero	Estructura celular eucariótica, pared celular celulosita, estructuras reproductoras unicelulares.

Mario Andrés Osorio, Características Generales de las Algas (9/02/2004) Artículo disponible en línea en: <http://www.revistaciencias.com/publicaciones/EpZyFuFEIAOZavLTAo.php>

2.3 CUANTIFICACIÓN DE CLOROFILAS

La vida en la tierra depende fundamentalmente de la energía solar, la cual es atrapada mediante el proceso fotosintético, que es responsable de la producción de toda la materia orgánica que conocemos. La materia orgánica comprende los alimentos que consumimos diariamente tanto nosotros como los animales, los combustibles fósiles (petróleo, gas, gasolina, carbón); así como la leña, madera, pulpa para papel, inclusive la materia prima para la fabricación de fibras sintéticas, plásticos, poliéster, etc., (Mathews, C. K. y Van Holde, K. E., 1998).

Los pigmentos del fitoplancton se han analizado desde hace cerca de 50 años por métodos espectrofotométricos (Richard y Thompson, 1952) lo que permitió discernir tres tipos de clorofila (a, b y c) en muestras de agua marina y demostró la selectividad de la clorofila a como biomarcador de fitoplancton en presencia de detritos, bacterias y zooplancton. Posteriormente, la cristalización de las clorofilas c1 y c2 y el análisis más detallado de las clorofilas a y b permitió desarrollar ecuaciones espectrofotométricas más precisas, (Jeffrey y Humphrey, 1975).

Durante la década de 1960 se introdujeron métodos fluorimétricos para medir clorofila a y fitopigmentos *in vitro* y clorofila *in vivo*, (Lorenzen, 1966).

A pesar de que la cromatografía de capa fina de los pigmentos del fitoplancton demostró durante las décadas de los 1970 y 1980 que los pigmentos marcadores podían ser separados fácilmente, estas técnicas no se aplicaron ampliamente a las ciencias ambientales. Durante la década de 1980 se desarrollaron métodos automatizados de cromatografía de líquidos de alta presión, que permitieron la expansión de los marcadores y de la velocidad de análisis; también facilitó la tarea de elaborar mapas de pigmentos – firmas en los océanos y descubrimiento de nuevos pigmentos, (Jeffrey et al., 1999).

Tabla 6. Algunos pigmentos y su grupo algal.

PIGMENTO	GRUPO ALGAL
<i>Clorofila a</i>	<i>Todas las algas</i>
<i>Clorofila b</i>	<i>Chlorophyta</i>
<i>Clorofila c</i>	<i>Chromophatia, cryptophytia</i>
<i>Alloxantina</i>	<i>Cryptophytia</i>
<i>Canthaxantina</i>	<i>Cianobacterias, filamentosas</i>
<i>Diadinoxantina</i>	<i>Chromophytia, Euglenophytia</i>
<i>Diatoxantina</i>	<i>Diatomeas, algunas chromophytia</i>

Utilizando técnicas Cromatográficas se han identificado un grupo de sustancias en las plantas verdes llamadas clorofilas, siendo las representantes la a y b. La clorofila a esta integrada por un núcleo de Mg, 4N, C y H.

Para que se pueda formar la clorofila es indispensable la presencia del Fe. Las formulas de la clorofila son:

Clorofila a: $C_{55}H_{72}O_5N_4Mg$

Clorofila b: $C_{55}H_{70}O_6N_4Mg$

La clorofila tiene la capacidad de transformar la energía luminosa absorbida en energía química, canalizándola hacia reacciones celulares de biosíntesis.

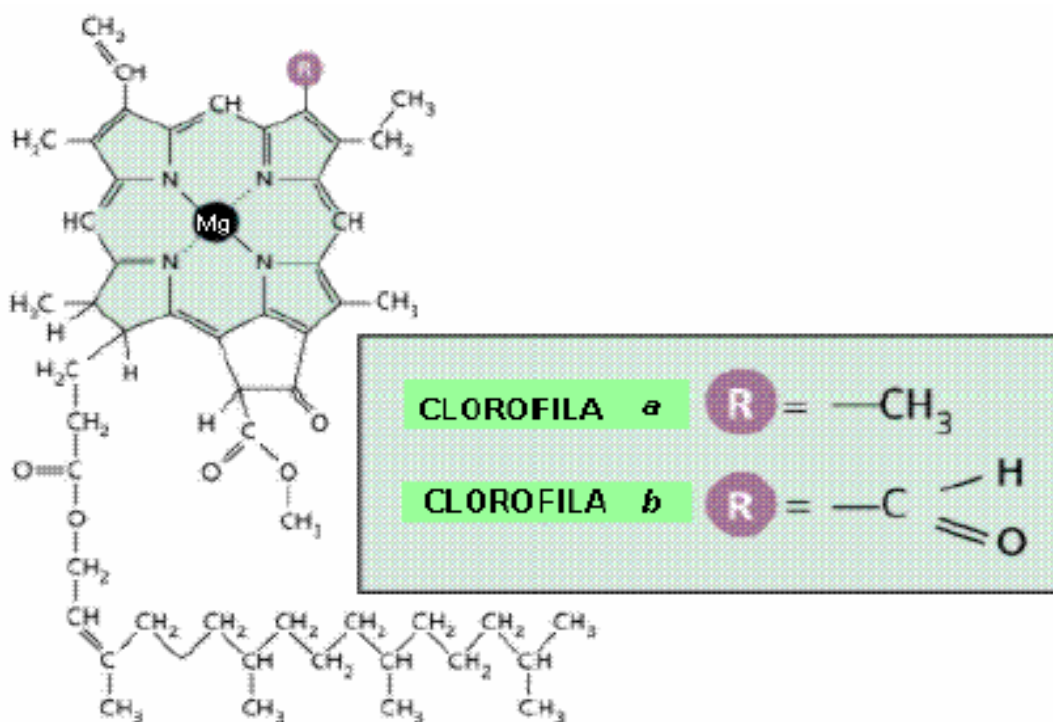


Fig.14 Estructura química de las clorofilas a, b.

Tal como se observa en la fórmula, la clorofila es una molécula compleja que posee un átomo de magnesio en el centro, mantenido por un anillo de porfirinas. Numerosas modificaciones de la clorofila se encuentran entre las plantas y otros organismos fotosintéticos (plantas, algunos protistas, proclorobacteria y cianobacterias).

Los pigmentos accesorios que incluyen a la clorofila b (también c, d, y e en algas y protistas) y los carotenoides, como el beta caroteno y las xantofilas (carotenoide de color amarillo), absorben la energía no absorbida por la clorofila.

La clorofila a ($R = -CHO$) absorbe sus energías de longitudes de onda correspondientes a los colores que van del violeta azulado al anaranjado – rojizo y rojo, (Mathews, C. K. y Van Holde, K. E., 1998)



Fig. 15 Estructura química de la clorofila “a”, 3D.

El organismo vegetal ha desarrollado un sistema para capturar un fotón de luz y utilizar la energía para elevar el nivel energético de un electrón determinado que posteriormente regresa su nivel basal; cuando esto sucede, el exceso de energía es liberada en diferentes formas.

La evolución de la vida vegetal ha logrado, a través de mecanismos bioquímicos, desviar el retorno del electrón a su nivel primitivo y utilizar el exceso de energía para sintetizar carbohidratos.

Además de las clorofilas a y b, en el cloroplasto de plantas superiores, hay otro grupo de pigmentos que son los carotenoides y las xantofilas. Existen otros pigmentos, como son las antocianinas, que se encuentran en células de vegetales superiores y que determinan, en especial, el color de las flores y algunos matices en hojas y otras estructuras de la planta.

La clorofila a es verde – azul; la clorofila b, verde – amarilla, (Mathews, C. K. y Van Holde, K. E., 1998).

2.4 OZONO

2.4.1 Historia.

El ozono es conocido desde hace más de cien años. En 1840 se le dio el nombre actual “ozein”, que significa heder, oler. En 1857 se diseñó un generador de ozono y en 1906 se usó por primera vez en una planta de tratamiento de agua, en Niza, Francia, (Deininger et al., 1998).

Aunque el ozono se conoce y usa en el tratamiento del agua desde hace más de 100 años, su empleo como desinfectante en la industria del agua no está muy difundido en México.

Las estadísticas no son muy confiables, pero probablemente lo usan menos de 1 por ciento de las plantas de tratamiento de agua en el mundo.

La empresa Ozonia North America, de Elmwood Park, New Jersey, EE.UU., y Ozono Polaris, de Puebla México, han completado con éxito la etapa I, en las primeras dos de cuatro instalaciones de ozono que están siendo proporcionadas a la Ciudad de México para tratamiento de agua potable. Ozono Polaris recibió el contrato en 2002 para proveer, instalar y poner en marcha equipo de ozono para tratar agua de pozo de mala calidad en cuatro plantas de tratamiento de agua.

El equipo incluye generadores de ozono suministrados por Ozonia North America, con una capacidad total de producción de ozono de 561 kg por día a partir de oxígeno generado en sitio. La propuesta de Ozono Polaris/Ozonia fue la única que pasó la evolución técnica de la Ciudad de México, (Agua Latinoamérica marzo/abril 2003: Volumen 3, Número 2).

Nuevas compañías embotelladoras de agua han aparecido. Los gigantes del agua embotellada internacionales como Nestlé (anteriormente Perrier) y Danone, han tenido una presencia significativa en la mayoría de los países de América Latina. Las compañías refresqueras se dieron cuenta que no era una gran inversión el agregar agua tratada o aun agua mineral a sus productos. El éxito de Aquafina de PepsiCo y Dasani de Coca Cola, junto con sus marcas regionales, son una muestra del éxito del paso al agua embotellada para estas compañías. El año pasado, ambas empresas buscaron consolidar o mejorar su posición en el mercado en la región, en términos de ventas de refrescos, lo que también mejora su perfil competitivo en el agua embotellada, (Agua Latinoamérica marzo/abril 2003: Volumen 3, Número 2).

La principal razón de su poco uso son los costos. Comparado con el cloro, resulta mucho más caro. Por ello es comprensible que su uso sea poco difundido, ya que la industria del agua siempre ha tratado de proveer agua potable al menor costo. Sin embargo las normas vigentes tanto en E.E.U.U. y Europa respecto al control de subproductos de cloro han favorecido al uso de esta tecnología, (Deininger et al., 1998).

El ozono puede ser considerado como un desinfectante que puede trabajar solo, sin embargo en todo el mundo, su uso en las plantas de tratamiento de agua es muy bajo. No obstante, se le conoce desde hace más de cien años y su paso por el tiempo que se presenta a continuación muestra su desarrollo, (Rice, 1986):

1785 Von Marum describe un olor característico en una máquina electrostática.

1801 Cruikshank percibe el mismo olor en un ánodo.

1840 Schoenbein le denomina a la sustancia ozono por la palabra griega “ozein” que significa “oler”.

1857 Werner Von Siemens diseña un generador de ozono, de tipo dieléctrico, cilíndrico.

1893 Oudshoorn, se construye la primera planta en Holanda.

1906 Niza, Francia, planta Bon Voyage, “lugar de nacimiento de la ozonización en una planta de tratamiento de agua”.

Tabla 7. Costo de varios tipos de desinfectantes

Producto químico	Precio unitario \$/Kg.	Dosis mg/L	Costo/1.000 m ³ agua
Ozono	0.50	3	6
Cloro	0.10	4	2
KMNO ₄	0.60	4	10
CAP (carbono)	0.20	5	4
Alumbre	0.06	25	8
Coadyuvante de la coagulación	0.80	1	3
Polifosfato	0.60	1	2

Akness, 1996

En los Estados Unidos, antes de 1980 existían menos de 10 plantas; en 1995 su número llegaba casi a 100 y más de 50 se encontraban en la etapa de diseño o construcción, (de Mers, 1996).

En Europa funcionan miles de plantas. Entonces, ¿por qué no hay más plantas que usen ozono? La sencilla razón es que la industria del agua siempre ha estado preocupada por los costos y ha tratado de proporcionar agua al costo más bajo posible, (Deininger et al., 1998).

En México se ha comenzado a aplicar como oxidante en plantas pequeñas de potabilización con problemas de alta contaminación orgánica y de color, (ORTA et al., 2000).

2.4.2 Química del ozono.

El ozono es una sustancia de gran importancia para la vida en la Tierra. Ya que sin este gas, nuestra vida y la de los organismos que nos rodean estaría condenada a la desaparición, (Hidritec, Tecnología y Gestión de recursos Hídricos y EPA, 2005).

El ozono es una molécula de oxígeno, difiere del oxígeno común en que este último está formado por dos átomos de oxígeno y el ozono por tres. Se forma cuando una molécula de oxígeno común entra en resonancia al aplicarle una energía suficiente, de tal forma que cada uno los dos átomos se unirían a una molécula de oxígeno formando dos moléculas de ozono, (Hidritec, Tecnología y Gestión de recursos Hídrico y EPA, 2005).



2.4.3 Propiedades del ozono.

Peso molecular (PM).....	48
Temperatura de condensación.....	- 112 ° C
Temperatura de fusión.....	-192,5 ° C
Temperatura Crítica.....	54 atm.
Densidad.....	1,32
Densidad (líquido a -182 ° C).....	1.572 gr/cm ³
Peso del litro de gas (a 0° y 1 atm.).....	1,144 gr.

En condiciones normales de presión y temperatura, el OZONO es inestable; aumentando dicha inestabilidad por aumento de temperatura y humedad llegando a ser total por encima de los 200° C.

Su grado de mayor estabilidad lo alcanza a los -50° C y presión igual a 38 mm Hg, es decir, una veintea parte de la presión atmosférica.

A temperatura ambiente, ataca lentamente a los compuestos orgánicos saturados aumentando dicho ataque a temperaturas de 78° C e incluso inferiores.

Frente a los compuestos orgánicos no saturados, forma ozónidos, compuestos muy inestables y que dan lugar a aldehídos, acetonas, ácidos carboxílicos, etc.

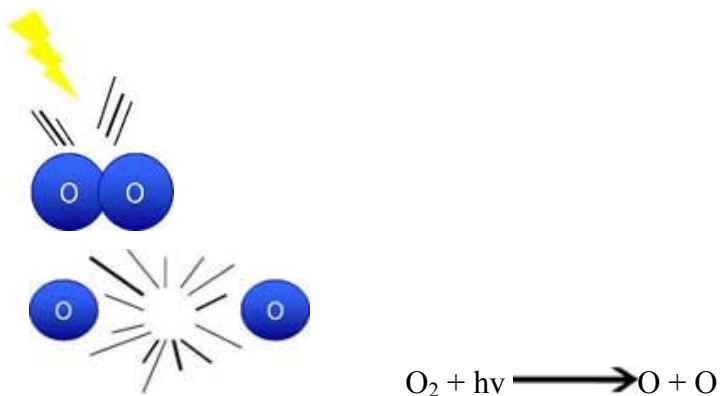
Después de lo anteriormente expuesto, podemos decir que EL OZONO es:

- Después del flúor, el compuesto más oxidante, debido a su facilidad para captar electrones.
- De fácil descomposición.
- En estado gaseoso es ligeramente azul, azul oscuro en fase líquida y rojo oscuro en fase sólida.
- Presenta estructura molecular típicamente angular entre los tres átomos de oxígeno que componen su molécula.
- En igualdad de condiciones, además, es más estable en el agua que en el aire.

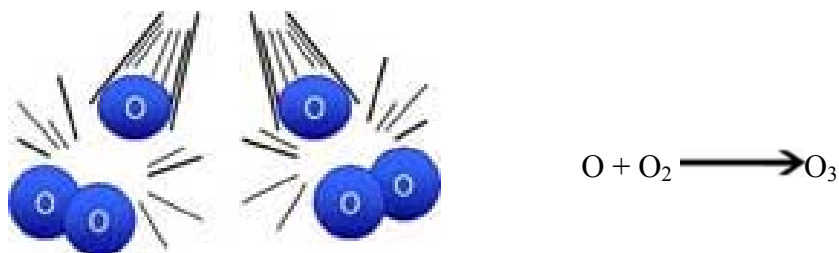
De forma natural, el ozono se encuentra fundamentalmente en la estratosfera, a una altura de entre 10 y 50 kilómetros formando la capa de ozono que nos protege de la radiación ultravioleta proveniente del sol y que produce daños genéticos muy peligrosos, absorbiendo una considerable cantidad de total de radiación UV que llega a la Tierra en un 97% a un 99%.

2.4.4 Formación de ozono.

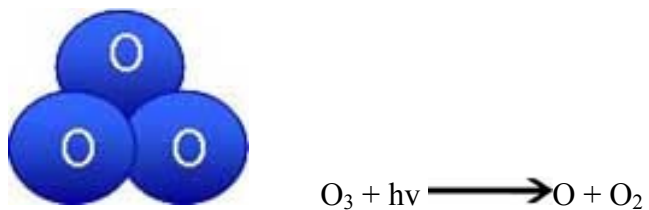
La radiación absorbida por una molécula de oxígeno hace que esta se dividan en dos átomos de oxígeno



Cada uno de estos átomos, se une a una molécula de oxígeno para dar otra de ozono.



Finalmente la molécula de ozono formada se destruye de nuevo absorbiendo más radiación ultravioleta:



De esta forma se está absorbiendo energía ultravioleta en un ciclo cerrado de formación y destrucción de ozono, (Hidritec, Tecnología y Gestión de recursos Hídricos y EPA ,2005),

2.4.5 Más de ozono.

El ozono (O_3) es una forma alótopa del oxígeno. A la temperatura y presión del ambiente es un gas inestable que se descompone rápidamente para volver a la molécula de oxígeno (O_2). Debido a esta característica, no se puede almacenar o envasar, sino que debe generarse in “situ” y usarse inmediatamente. Por lo general, la ozonización se utiliza cuando se requiere su propiedad más importante: su elevado potencial oxidante, que permite eliminar los compuestos orgánicos que dan color, sabor u olor desagradables al agua y, al mismo tiempo, cuando se desea inactivar los microorganismos patógenos del agua.

Una característica importante de la ozonización es la ausencia de efecto residual, lo cual es un beneficio porque si el ozono se mantuviese en el agua le daría un sabor desagradable, pero a la vez es una desventaja, ya que, como se ha expresado, es necesario asegurar la calidad del agua hasta que llegue al consumidor mediante algún efecto residual, (Deininger et al., 1998).

2.4.6 Uso del ozono

A pesar de sus excelentes propiedades, su uso se ha restringido a ciudades grandes con fuentes de agua muy contaminadas y se ha empleado poco en comunidades pequeñas y de medias. El inconveniente principal para las comunidades pequeñas ha sido el costo inicial y el de operación, así como las dificultades de operación y mantenimiento.

Sin embargo, cuando las fuentes de agua accesibles están muy contaminadas (biológica y químicamente), puede ser el método más recomendable para la oxidación de las sustancias orgánicas y desinfección primaria, siempre que cuente con la adición de un sistema de cloración secundario para mantener el efecto residual durante su distribución, (Deininger et al., 1998).

El método de desinfección por ozonización consiste en agregar cantidades suficientes de ozono lo más rápidamente que sea posible, de manera que satisfaga la demanda y mantenga un residuo de ozono durante un tiempo suficiente para asegurar la inactivación o destrucción de los microorganismos. Los procesos de desinfección por ozono normalmente tratan de mantener un residual mínimo de 0,4 a 0,5 ppm después de 10 a 20 minutos de contacto con el agua.

Sin embargo, esta situación está cambiando y, de hecho, muy rápidamente. Los reglamentos para los subproductos de la desinfección en Europa y Estados Unidos y las pautas de organizaciones internacionales, como las de la Organización Mundial de la Salud, obligan a las empresas de agua a reducir los trihalometanos en el agua potable, lo que en muchos casos hace imposible el uso continuo del cloro. Este hecho, junto con la insistencia por parte de los consumidores de recibir agua potable sin sabor ni olor, apunta al uso del ozono ya que éste no sólo desinfecta sino que también reduce el color y olor mediante la oxidación de las sustancias orgánicas que se encuentran en el agua, (Deininger et al., 1998).

El ozono ha sido utilizado en amplia escala para oxidación inorgánica y orgánica, así como en la desinfección, para eliminar bacterias, virus, parásitos y como una ayuda en la micro floculación y reducción de sólidos suspendidos, (Agua latina americana septiembre/octubre Volumen 2, Número 5, 2002).

El ozono puede producir subproductos (SPD) como los bromatos, el bromoformo, el ácido bromoacético, los aldehídos, las cetonas y los ácidos carboxílicos.

Entre ellos, los aldehídos son probablemente los de mayor inquietud para la salud, pero la información aún es insuficiente para evaluar los riesgos de la exposición a los mismos en el agua potable.

2.4.7 Ozono en la eliminación de toxinas provenientes de algas.

El ozono se ha demostrado para ser eficaz en la destrucción de algunas clases de toxinas bajo condiciones específicas, aunque la mayoría de investigadores convienen que el tiempo de suministro, la dosis y el contacto requerido dependerán de la calidad del agua, (Rositano et al., 2000)

La ocurrencia de las floraciones de la cyanobacteria (algas azul verdes) y de la posibilidad de producción de las cyanotoxinas asociados (toxinas algal) es una preocupación importante por los abastecedores de agua potable, (Yoo et al., 1995).

Por lo menos tres de los 50 géneros conocidos de las cyanobacterias, son capaces de producir toxinas, y eso entre el 50 y 70% de esas floraciones de cyanobacterias son tóxicos. Los tipos más comunes de cyanotoxinas son las neurotoxinas alifáticas tales como las anatoxinas y los saxitoxinas y hepatotoxinas del peptido tales como los microcistina, que estropean el hígado y son promotores de tumor, (Nishiwaki and Matsushima et al., 1992).

La importancia en el uso del ozono para el tratamiento de agua potable esta creciendo internacionalmente. Sin embargo, las reacciones químicas que ocurren durante la ozonización son extremadamente complejas y los mecanismos de reacción con el material orgánico natural (NOM), y la destrucción de microcontaminantes, todavía no esta bien entendida. En términos simples el ozono molecular ataca directamente a los compuestos disueltos, sus productos de su descomposición reacciona vía un mecanismo radical del oxidrilo, (Staehelin y Hoigne, 1985).

La ozonización puede ser eficaz en la destrucción de una hepatotoxina importante, la microcistina LR. Varios estudios han demostrado que la eliminación de la toxina es fuertemente dependiente de la dosis de ozono, (Ciervo et al., 1997).

Hay también una cierta evidencia que la eficacia de la ozonización dependerá de la calidad del agua. El estudio de (Hart de Stott, 1993 y de Carlile, 1994), demostró que dosis mas bajas de ozono fueron requeridas para la destrucción de microcistina en el agua tratada comparada con el agua cruda, donde el agua tratada tenia una concentración perceptible mas baja, por lo tanto una demanda mas baja de ozono.

(Rositano et al., 1996). Encontró que la ozonización requirió de altas dosis de ozono y prolongó los tiempos de contacto para destruir la microcistina.

Además realizo un estudio sobre cuatro aguas tratadas para abastecimiento potable donde con una dosis total de aproximadamente 3 mg/L de ozono elimina la presencia de diferentes toxinas aun presentes en el agua como la microcistina y la anatoxina-a, (Rositano, et al. 2000).

Una neurotoxina que se encuentra absolutamente con frecuencia en Europa, es la anatoxina, que también es destruida por el ozono, no obstante las dosis requeridas para la destrucción completa son mas altas que las requeridas para la microcistina, (Carlile, 1994 y Pieronne, 1993).

2.4.8 Mecanismos de la desinfección con ozono.

El mecanismo de desinfección en la ozonización se basa en el alto poder del ozono como oxidante en general. Esta condición convierte al ozono en un eficiente destructor de bacterias como: (E. Coli Staphylococcus Pseudomonas Flourescens, etc), que se oxidan con dosis alrededor de 0.6 mg/L de ozono, virus con una dosis aproximada de 0.05 mg/L, Hongos, Esporas, y los diferentes tipos de quistes como el Giardia lamblia etc., (ORTA et al., 2000).

A diferencia del cloro, la capacidad desinfectante del ozono no depende tanto de su período de retención en el agua (aunque esto tiene un efecto), sino más bien de la dosis suministrada (en la fórmula Concentración x Tiempo).

Esto se debe a que su alto potencial oxidante produce gran inestabilidad, incluso en el agua destilada, lo que quiere decir que quedará ozono remanente por un corto tiempo solo cuando toda la materia con alta capacidad de oxidación haya sido oxidada. En caso contrario, es posible que no se haya satisfecho completamente la demanda de ozono.

Dada su escasa permanencia, es comprensible entonces la importancia de determinar adecuadamente la demanda de ozono y la dificultad que reviste determinar el residual que asegure una desinfección completa.

Cuando hay presencia de material orgánico, la química se hace más compleja y se acelera la descomposición del ozono. Con un potencial de oxidación de 2,07 voltios, el ozono teóricamente puede oxidar la mayoría de los compuestos orgánicos y los convierte en dióxido de carbono y agua, pero como es selectivo en cuanto a las sustancias que oxida rápidamente, la cinética de las reacciones con muchos compuestos será demasiado lenta para que resulte en la conversión de estos a dióxido de carbono durante el tratamiento del agua. Como casi siempre la demanda total de ozono excede su suministro, estas reacciones cesarán mucho antes de que todas las sustancias orgánicas se hayan oxidado totalmente. En el tratamiento de sustancias orgánicas, el ozono se ha usado principalmente para la ruptura de enlaces múltiples como tratamiento preliminar, antes de la filtración y como ayuda para la coagulación.

Otra consideración que se debe tener en cuenta, al igual que con otros desinfectantes, es que la eficacia del ozono depende de su contacto con los microorganismos, por lo que debe evitarse que estos se agrupen y protejan (si el agua es turbia) y también se debe proveer algún sistema de mezcla o contacto con el ozono antes que el gas se disipe, (Deininger et al., 1998).

2.4.9 Subproductos en la aplicación del ozono en potabilización.

Respecto al nivel de concentración del ozono para la desinfección del agua de consumo humano, no se conoce ningún efecto adverso directo sobre la salud. Sin embargo, al igual que el cloro, el ozono puede producir subproductos como los bromatos, el bromoformo, el ácido bromoacético, los aldehídos, las cetonas y los ácidos carboxílicos. Entre ellos, los aldehídos son probablemente los de mayor inquietud para la salud, pero la información aún es insuficiente para evaluar los riesgos de la exposición a los mismos en el agua potable, (Deininger et al., 1998).

En el caso de bacterias, los resultados demostraron que, en 8 minutos, el número fue reducido al nivel de los estándares mexicanos oficiales fijados para el agua tratada destinada para los propósitos de la irrigación (1.000 NMP (Numero Menos Probable)/100 ml). Los coeficientes de correlación son excelentes de (0.95 a 0.99) que fueron obtenidos para las concentraciones microbianas contra tiempo del contacto del ozono.

Los tiempos de la destrucción requeridos para el retiro 100% de la población inicial de las bacterias variaron entre 2 y 14 minutos, mientras que el suum del *Áscaris* requirió 1 hora.

Cuando las bacterias Gram-negative mueren debido a los efectos del ozono, el lysis celular y la liberación de las endotoxinas (biodegradables) fueron observados. La Ozonación de aminoácidos en la cáscara de los huevos del suum del *Áscaris*, conduce a la formación de aldehídos, tales como formaldehído y acetaldehído, en concentraciones bajas (0.0003 y 0.0005 µg/mL respectivamente). Estos niveles no son peligrosos a la salud humana.

Algunos ejemplos de Subproductos de la Ozonación del aminoácido son mostrados en la Tabla 8.

Tabla 8. Subproductos de la Ozonación de aminos ácidos.

AMINO ACIDOS	SUBPRODUCTOS
Serine	Formaldehyde
Arginine	Formaldehyde
Lysine	Formaldehyde
Phenylalanine	Acetaldehyde

Cuando las bacterias Gram-negative mueren debido a los efectos del ozono, causan lysis celular y liberan las endotoxinas. Las endotoxinas son destruidas por la luz del sol, son biodegradables. Los subproductos generados por este proceso por lo tanto no plantean ningún riesgo de salud.

Una conclusión que se le da el uso del ozono es que se puede emplear con seguridad para reducir la concentración de las sustancias resistentes al tratamiento biológico y a las altas concentraciones de cloro, los procesos de uso general en el tratamiento de aguas residuales. Al mismo tiempo, usar el ozono se asegura de que los subproductos generados no presentan ningún riesgo a la salud, (Rojas y Orta et al., 2004).

En el caso del cloro, se deben medir los riesgos para la salud por la ausencia de desinfección y por la presencia de subproductos. Dado que todavía quedan muchos campos de investigación que deben explorarse con referencia a los Subproductos de los desinfectantes (SPD) de la ozonización de aguas naturales o tratadas, las pruebas actuales indican que desde el punto de vista de los efectos para la salud, la ozonización se considera segura, (Deininger et al., 1998).

2.4.10 Consideraciones de seguridad.

El ozono existe naturalmente en el ambiente. Probablemente las concentraciones a corto plazo más grandes ocurren cuando los rayos de las tormentas producen ozono. En el ambiente de oficina, el ozono se detecta cerca de las fotocopiadoras.

Los soldadores están expuestos al ozono producido por el arco durante el proceso de soldadura. Y los residentes que viven en grandes urbes como Denver, Los Angeles, ciudad de México, Bogotá, Caracas, Sao Paulo, etc., están expuestos a concentraciones de ozono entre 0,5 a 1,0 ppm cuando el escape de los automóviles e industrias reacciona con la luz solar.

Como el ozono es un oxidante fuerte, produce reacciones en el tejido humano, en particular en los pulmones, lo que perjudica la respiración. Los ojos y la nariz también se ven afectados. La OSHA (Administración Ocupacional de Seguridad y de la Salud) ha establecido los límites para los ambientes de trabajo.

Tabla 9. Límites permisibles de exposición a O₃ de acuerdo a la OSHA.

Exposición	Límites
Olor detectable	0,01-0,05 ppm
tos/irritación	
8 min	1 ppm
1 min	4 ppm
límite OSHA 8 h	0,1 ppm
límite OSHA 15 min	0,3 ppm
Conc. mortal en < 1 min	10.000 ppm

En una planta de tratamiento de agua, los monitores de ozono vigilan continuamente las concentraciones de ozono en el agua de las celdas del contactor, en el aire del escape de gas, y en el aire ambiental en y alrededor de la generación de ozono.

Las alarmas generales se activan a una concentración de 0,1 ppm y los generadores de ozono se cierran instantáneamente a una concentración de 0,3 ppm. Esto es un gran avance frente a la prueba del "olfato" usada en las plantas antiguas de Europa, (Reiff, 1992).

Los cierres de los sistemas de ozono debido a fugas han sido poco comunes, pero sí ocurren debido a fugas alrededor de accesorios y grifos de muestreo. Pero los operadores en plantas de tratamiento de agua probablemente están mejor protegidos que los residentes urbanos.

2.4.11 Ventajas del uso de ozono.

- El ozono es altamente eficaz en la desinfección en relación con otras especies desinfectantes provocando la eliminación e inactivación de virus, bacterias, hongos, esporas, algas y protozoos.
- Elimina una gran cantidad de sustancias perjudiciales, las cuales oxida como el hierro o el manganeso descomponiendo detergentes, pesticidas, herbicidas, trihalometanos y neutralizando cianuro, amoniacos, nitritos, urea.
- Elimina todo tipo de olores y colores en el agua.

- Provoca un aumento en la claridad del agua y el rendimiento de los filtros, ya que actúa como floculante.
- Para el tratamiento de aguas de piscinas, el ozono es el más eficaz que se conoce. Además de mejorar sustancialmente la calidad de desinfección de una piscina tratada con cloro evita muchos de los problemas que éste tratamiento tradicional conlleva. Es decir el típico olor a piscina producido por la formación de cloraminas, irritaciones, malestares, asma, trajes de baño desteñidos.
- El empleo del cloro también tiene consecuencias de desgastes estructurales en las instalaciones debido a la corrosión que produce y en ocasiones su almacenamiento origina problemas tanto de corrosión como de seguridad por la manipulación de esta sustancia. Además de esto, el efecto floculante del ozono así como su capacidad de destrucción de la materia orgánica, permite un aumento en la eficacia de los filtros, y por tanto una transparencia del agua sin precedentes en otros tipos de tratamiento.
- Por otra parte, el empleo de ozono para natación de alto nivel, permite un mayor rendimiento en los nadadores ya que se evita la alta concentración de cloro gas sobre la superficie de la piscina y en cambio se sustituye por una concentración elevada de oxígeno como consecuencia de la descomposición del ozono en el agua. Esto permite una mejora en las marcas del deportista y contribuye a la salud del mismo evitando los efectos perniciosos del cloro a largo plazo.
- El ozono no deja residual en el agua

- Se evita la manipulación y el manejo de sustancias químicas que pueden resultar peligrosas como el cloro. (Hidritec, Tecnología y Gestión de recursos Hídricos, 2005. EPA, 1999).
- El ozono no deja residuos en el agua.

2.4.12 Desventajas del uso de ozono.

- La baja dosificación puede no desactivar efectivamente algunos virus, esporas o quistes.
- El proceso de ozonización es una tecnología más compleja que la cloración o la desinfección con luz ultravioleta, por lo cual se requieren equipos complicados y sistemas de contacto eficientes.
- El ozono es muy reactivo y corrosivo, requiriendo así de materiales resistentes a la corrosión tales como el acero inoxidable.
- El proceso de ozonización no es económico para las aguas residuales con altas concentraciones de sólidos suspendidos (SS), demanda bioquímica del oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), o carbono orgánico total.
- El ozono es extremadamente irritante y tóxico, así que los gases de escape que salen de la cámara de contacto deben ser destruidos para evitar que los trabajadores estén expuestos a ellos.
- El costo del tratamiento puede ser relativamente alto en cuanto a la inversión de capital y la demanda de energía eléctrica, (EPA, 1999).

2.4.13 Ventajas y desventajas de 3 métodos utilizados en la eliminación de algas. Tabla I

Métodos de eliminación de Algas					
Ozono		Cloro		UV	
Ventajas	Desventajas	Ventajas	Desventajas	Ventajas	Desventajas
1.-El ozono es altamente eficaz en la desinfección en relación con otras especies desinfectantes provocando la eliminación e inactivación de virus, bacterias, hongos, esporas, algas y protozoos.	1.-El proceso de ozonización es una tecnología más compleja que la cloración o la desinfección con luz ultravioleta, por lo cual se requieren equipos complicados y sistemas de contacto eficientes.	La cloración es una tecnología bien establecida. Y que esta en actual uso.	El cloro residual, aún a bajas concentraciones, es tóxico a los organismos acuáticos y por ello puede requerirse la descloración.	Más efectivo que el cloro contra los virus.	Poca eficiencia por uso de lámparas de baja intensidad y poco tiempo de contacto
2.-Elimina una gran cantidad de sustancias perjudiciales, las cuales oxida como el hierro o el manganeso descomponiendo detergentes, pesticidas, herbicidas, trihalometanos y neutralizando cianuro, amoniacos, nitritos, urea.	2.-El ozono es muy reactivo y corrosivo, requiriendo así de materiales resistentes a la corrosión tales como el acero inoxidable.	En la actualidad la cloración es más eficiente en términos de costo que la radiación UV o la desinfección con ozono (excepto cuando la descloración y el cumplimiento con requisitos de la prevención de incendios son requeridos).	El cloro residual es inestable en presencia de altas concentraciones de materiales con demanda de cloro, por lo cual pueden requerirse mayores dosis para lograr una desinfección adecuada.	No hay ningún cambio en el color, olor, ph o en la conductividad, ni tampoco en la química general del agua.	Debido al encendido constante, calienta el agua, produciendo depósitos minerales que deben limpiarse con frecuencia, de lo contrario disminuye la eficiencia
3.-Elimina todo tipo de olores y colores en el agua.	3.-El proceso de ozonización no es económico para las aguas residuales con altas concentraciones de sólidos suspendidos (SS), demanda bioquímica del oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno, o carbono orgánico total.	El cloro residual que permanece en el efluente del agua residual puede prolongar el efecto de desinfección	Algunas especies parásitas han mostrado resistencia a dosis bajas de cloro, incluyendo los oocistos de <i>Cryptosporidium parvum</i> , los quistes de <i>Entamoeba histolytica</i> y <i>Giardia lamblia</i> , y los huevos de gusanos parásitos	No se añaden químicos a la alimentación por tanto no hay subproductos de formación como sucede cuando se aplica cloro y que junto con los orgánicos forman los llamados trihalometanos.	No afecta los contaminantes químicos

4.-Provoca un aumento en la claridad del agua y el rendimiento de los filtros, ya que actúa como floculante.	4.-El costo del tratamiento puede ser relativamente alto en cuanto a la inversión de capital y la demanda de energía eléctrica	El cloro puede eliminar ciertos olores molestos durante la desinfección.	El cloro oxida ciertos tipos de materiales orgánicos del agua residual generando compuestos más peligrosos (tales como los metanos trihalogenados [MTH]).	Compatible con todos los demás procesos de tratamiento de agua, como con filtración osmosis inversa, intercambio iónico.	Olor y sabor desagradables
5.-El ozono no deja residual en el agua	5.-La baja dosificación puede no desactivar efectivamente algunos virus, esporas o quistes.	El cloro es efectivo en la oxidación de ciertos compuestos orgánicos e inorgánicos	Se desconocen los efectos a largo plazo de la descarga de compuestos de la descloración al medio ambiente	Ninguna manipulación de químicos tóxicos, ninguna necesidad de requerimientos especializados de almacenaje.	Gasto innecesario de energía por encendido permanente

CAPITULO 3. MÉTODOS EXPERIMENTALES

En este capítulo se describe los diferentes métodos utilizados para la cuantificación y eliminación de las algas; el primer método descrito es el de cuantificación de clorofilas, las cuales son tomadas como una medida indirecta en la determinación de la existencia de las algas; el segundo método, es el método ozonación, utilizado para eliminar la presencia de las algas presentes en el influente y efluente de la planta potabilizadora “Los Berros”, cumpliendo por lo establecido por la NOM-127-SSA1-1994 y la Organización Mundial de la Salud, (OMS).

3.1 CUANTIFICACIÓN DE CLOROFILAS

3.1.1 Material y equipo.

- **Equipo:**

- Espectrofotómetro (UV/Vis) Lambda 3B
- Centrifuga
- Sistema de filtración con conexión a vacío
- Refrigerador

- **Material**

- Filtros de fibra de vidrio de 47 o 25 nm, poro nominal de 0.7 μm (Whatman)
- Papel aluminio
- Papel
- Tijeras
- Pinzas
- Mortero con pistilo de porcelana
- Charola de plástico

- **Cristalería**

- Pipetas graduadas de 5 y de 10 ml
- Probetas de 500, 100, 50 ml
- Vasos de precipitado
- Matraces kitasato
- Goteros desechables
- Celdas de cuarzo para el espectrofotómetro
- Tubos de centrifuga de propileno o de vidrio

- **Soluciones y reactivos**

- Acetona
- Acido Clorhídrico
- Agua destilada, recomendable grado ASTM1

- **Preparación de las soluciones**

- Solución 0.1 N de HCl

Se agrega 8.5 ml de ácido clorhídrico concentrado a 500 ml de agua y se afora a 1000 ml.

- Acetona 90%

Se miden 100 ml de agua en una probeta, se trasvasa a un matraz volumétrico.

Se mide aparte 900 ml de acetona en probeta y se transfieren al matraz, se mezcla, se etiqueta y se almacena.

3.1.2 Procedimiento y análisis.

Todo el proceso debe llevarse a cabo en semioscuridad y a baja temperatura.

- **Filtración:**

El sistema de filtración consiste en un manifold con un recipiente para almacenar el líquido extraído y otro empleado como trampa de agua para no perjudicar la fuente de vacío.

La presión no debe exceder los 20 Kpa (6" de mercurio), una presión mayor en tiempos excesivos de filtración (>10 minutos) puede dañar las células y resultar la pérdida o degradación de la clorofila. También hay que tener cuidado en no sobrecargar los filtros.

No debe incrementarse el vacío durante la filtración.

Antes de iniciar la filtración la muestra debe agitarse durante 30 segundos, todo esto para homogenizar.

Se mide un volumen de 250 ml de muestra en una probeta y se coloca en la torre de filtración del manifold y se aplica vacío. Se determina que se ha filtrado suficiente cuando el filtro tiene aparente una coloración verde o café.

Se retira el filtro con pinzas y se dobla con el filtrado hacia adentro, se remueve el exceso de humedad con un trozo de papel y se coloca en una caja petri.

Si no se continúa el proceso, inmediatamente, se envuelve la caja con papel aluminio para proteger el fitoplancton de la luz y se almacenan a -20° C o -70° C.

Pueden guardarse de 2 a 24 horas en hielo, pero las muestras deben cambiarse a un congelador con temperatura de -20 °C en cuanto sea posible.

Los filtros pueden permanecer congelados a esa temperatura hasta 3 1/2 horas sin una pérdida significativa de clorofila a (Weber et al, 1986).

- **Extracción**

El proceso de extracción debe llevarse en condiciones de semioscuridad y manteniendo el mortero en hielo para evitar lo mas posible el calentamiento de la muestra; también debe efectuarse rápidamente. Además debido a la generación de vapores del solvente (acetona 90%) por el homogenizador debe efectuarse en una campana de extracción.

Para efectuarlo primero se recorta el filtro, eliminando el sector que no contiene material filtrado, se introduce a un mortero para extraer el pigmento macerándolo agregando 5 ml de acetona al 90% hasta que la solución macerada se vea uniforme, a continuación se coloca en un tubo de centrifuga agregando otros 5 ml de acetona al 90%. Al final se procura que todo el material macerado quede en contacto con el solvente.

El tubo es colocado posteriormente en un congelador con una temperatura de $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ para facilitar la extracción del pigmento, durante 24 horas.

- **Filtración y lectura.**

Una vez transcurrido el tiempo de extracción, se filtra utilizando los mismos filtros GF/F, evitando así el paso de pequeños trozos de papel si se hiciera con la centrifuga. La solución extraída es introducida a pequeños recipientes limpios y purgados con la misma acetona. Una alícuota se transfiere a una celda de espectrofotómetro y su absorbancia se mide en cuatro longitudes de onda (750, 664, 647 y 630 nm) para determinar la concentración presente de las clorofilas a, b, c1+c2 respectivamente.

Si se desea corregir para feopigmentos, se mide la absorbancia a 750 y 664 nm antes de acidificación y a 750 y 665 nm después de la acidificación con HCl 0.1 N.

El blanco constituye la solución al 90% de acetona, la diferencia entre la absorbancia a 750 nm es la turbidez.



Fig. 16 Espectrofotómetro UV/Vis Lambda 3B.

- **Cálculos**

Los valores de absorbancia se incluyen en las ecuaciones que utilizan los coeficientes de extinción de pigmentos puros disueltos en acetona al 90% para calcular simultáneamente las concentraciones de pigmentos en una mezcla.

Ecuaciones triconométricas de Jeffrey y Humphrey (1975)

Restar el valor de la absorbancia a 750 nm de los valores de la absorbancia a 664, 647 y 630 nm. Calcular las concentraciones (mg/L) de clorofila a, b, y c1+c2 en la solución del extracto insertado los valores con la absorbancia corregida (restada a la absorbancia a 750 nm) en las ecuaciones siguientes ecuaciones triconométricas de Jeffrey y Humphrey (1975) para el cálculo de las concentraciones de clorofilas en (mg/L).

$$Ca = 11.85 (A) - 1.54 (B) - 0.08 (C)$$

$$Cb = 21.03 (A) - 5.43 (B) - 2.66 (C)$$

$$Cc1+c2 = 24.52 (A) - 7.6 (B) - 1.67 (C)$$

Donde:

Ca= concentración de la clorofila a

Cb = concentración de la clorofila b

Cc1+c2 = concentración de la clorofila c1+c2

A = absorbancia de 664 - absorbancia de 750

B = absorbancia de 647 - absorbancia de 750

C = absorbancia de 630 - absorbancia de 750

3.2 METODO OZONO

El ozono es obtenido a partir de un generador ERMY TRAILIGAZ LABO 76 con una capacidad de producción de 19g de O₃/h. Como gas de alimentación se utilizó una corriente de aire enriquecida con oxígeno suministrado por un separador AIRSEP que contiene el gas con las siguientes características: presión de 62.1 Kpa, temperatura de rocío -73 °C y una pureza de oxígeno aproximada a 90% ± 5%.

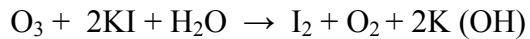
3.2.1 Efecto del ozono en la remoción de algas.

El efecto que produce el O₃ en la remoción de algas está determinado por la dosis y el tiempo adecuado en el que son eliminadas. Para ello es necesario realizar un balance general de masa de O₃ y una curva de demanda de O₃ que presenta el efluente y el influente de la planta los “Berros”. Para efecto de la oxidación de las clorofilas a, b y c1+, las condiciones en las que se aplicó ozono a la muestra fue a un flujo de 0.5 L/s, un amperaje de 5 amperes, a pH de 7.5 y a una temperatura inicial del agua aproximada de 20 °C.

3.2.2 Los principales componentes del sistema.

- 1) Extractor de aire: Extrae el aire y separa el oxígeno de los demás gases, obteniendo un aire enriquecido con O₂ de un 21% pasa a 81% aproximadamente.
- 2) Generador de ozono: De acuerdo a lo anterior, el aire enriquecido con O₂ pasa al generador, el cual por medio de descargas eléctricas generará el O₃, a un voltaje determinado, a un flujo, a una presión, de esto dependerá el volumen de ozono generado y suministrado.
- 3) Interruptor eléctrico (127 voltios).

- 4) Reactor batch de agitación continua de tres bocas: Recipiente en el cual, está presente la muestra, la cual se aplicara la dosis de O₃ determinada.
- 5) Lavadores de gases o atrapadores de O₃: contienen solución de KI al 2% donde el oxígeno que no es transferido o que no reacciona es eliminado casi en su totalidad por estos lavadores de acuerdo a la siguiente reacción.



- 6) Destructor de O₃: elimina las trazas de O₃ que no fueron atrapadas por los lavadores de gases enviándolo después a la atmósfera, estas unidades de destrucción pueden ser catalíticas (dióxido de manganeso o alumina con una capa de paladio y temperatura de 50 °C), (térmicas 3000 °C y a 3 a 5 minutos de retención) y carbón activado, (Lin y Yehen, 1993).
- 7) Parrilla de agitación: Provee de agitación al reactor.
- 8) Válvula de paso: Esta válvula corta o da el paso al O₃, para determinar O₃ en fase gas a la salida.
- 9) Medidores de flujo o controladores de Flujo: como su nombre lo indica, mide la cantidad de O₃ que se esta suministrando (L/min).

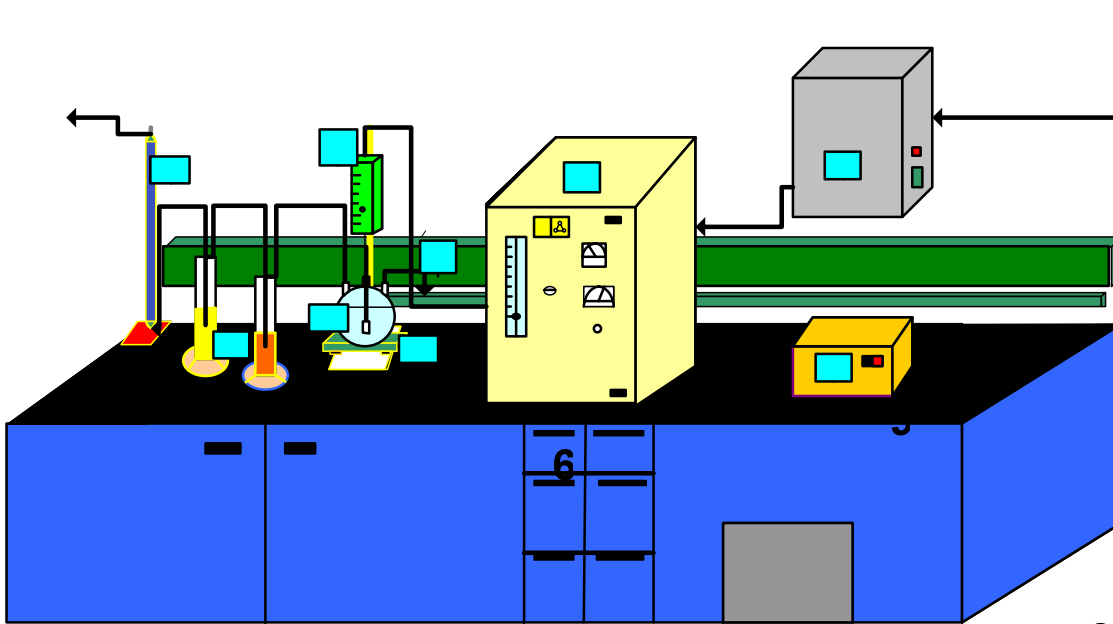


Fig. 17 Arreglo experimental del sistema de oxidación con O_3 .

El proceso de ozonización esta ejemplificado por la figura 18, en ⁴ cual se pude localizar cada una de las partes esenciales del proceso. ⁵ ⁷

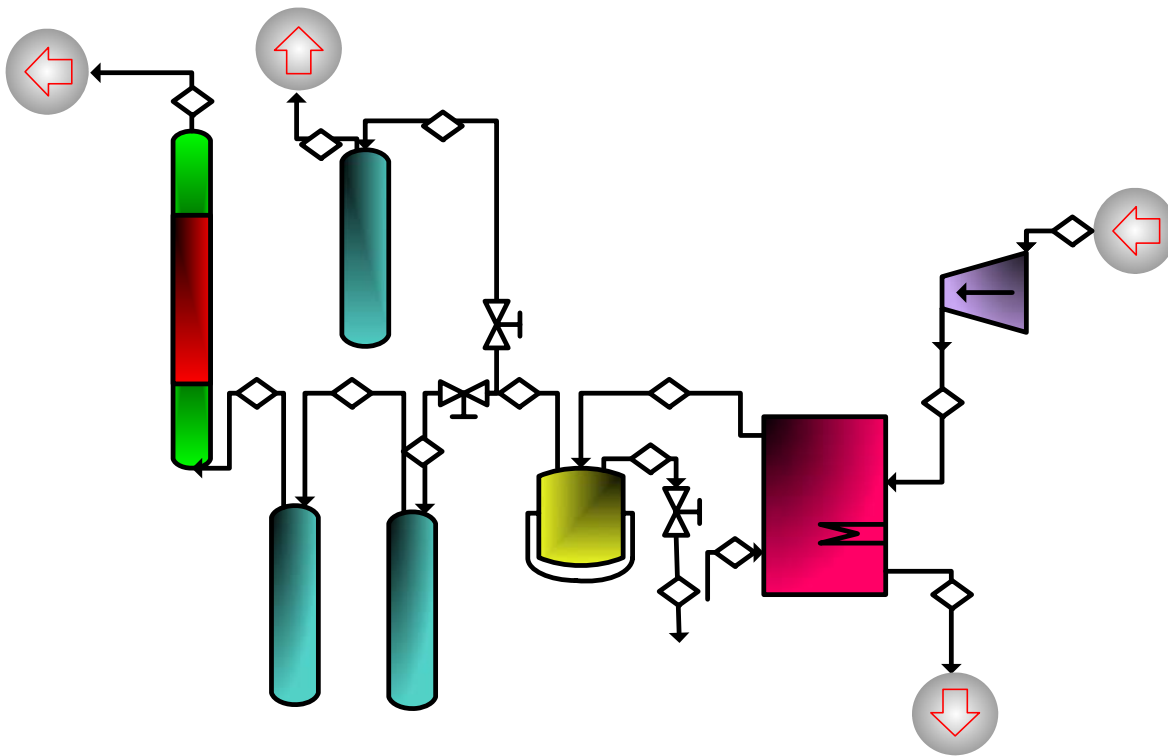


Fig.18 Diagrama de flujo de proceso O_3 .

El aire de alimentación proveniente de la atmósfera entra al separador de aire EX-01, el aire enriquecido con oxígeno se envía al generador de ozono GO-01 que opera a una presión de 8 psia. y 0.5 amperes, el ozono generado, entra al reactor batch de agitación continua de 3 bocas RE-01 a un flujo de 0.5 L/min y una presión de 8 psia, el ozono que no reacciona con la muestra, se envía a los atrapadores de ozono TO-01/02 que contienen una solución de (2% KI) y por último las trazas de ozono que no fueron atrapadas, son enviadas al destructor de ozono DO-01.

Para la determinación de ozono en fase gas, el ozono se envía con la válvula VP-01 al atrapador de ozono TO-03; para determinar el ozono en fase acuosa se toma una muestra directa del reactor GO-01 con la válvula VP-02. Esta descripción está realizada sobre el proceso de experimental de ozonación a nivel laboratorio.

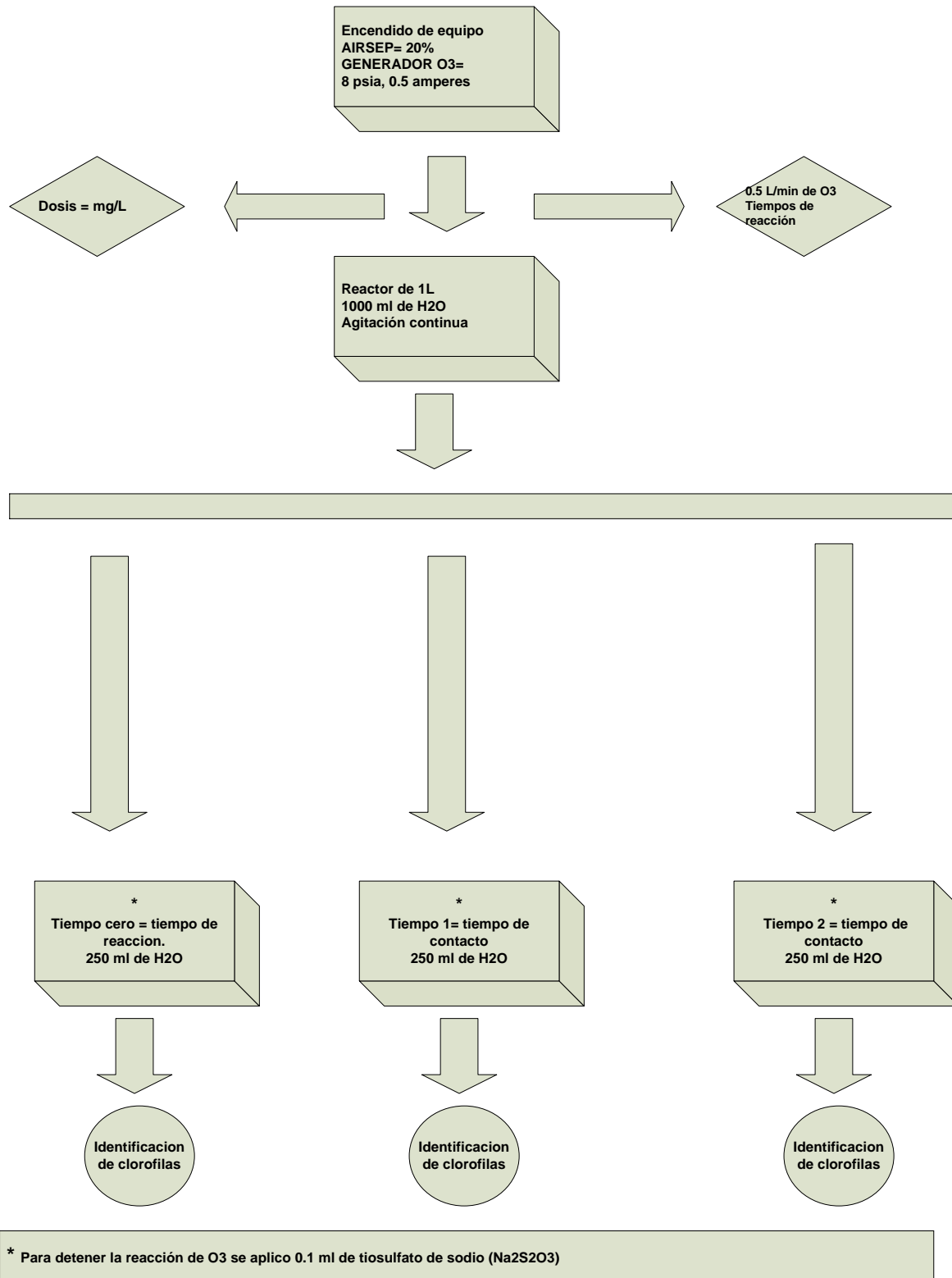
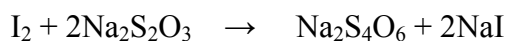
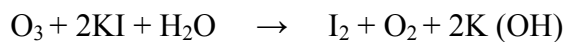


Fig. 19 Procedimiento general de ozonación en la eliminación.

3.2.3 Determinación de ozono fase gas.

Existen numerosos métodos para la determinación de ozono en fase gas, todos basados en el desplazamiento del yodo a diferente pH de una solución de pH alcalina de acuerdo a la siguiente reacción:



El yodo es liberado con una solución reductora, la cual puede ser Arsénito de Sodio o Tiosulfato de Sodio (Rip et al., 1986; APHA, 1992).

- **Reactivos:**

- Solución 0.1 N de Tiosulfato de Sodio
- Solución 1N de Acido Sulfúrico
- Solución 0.1 N de Dicromato de potasio para estabilizar la solución de Tiosulfato.
- Solución 2% de Yoduro de Potasio

- **Equipo y material**

- Manguera de teflón
- Gasómetro húmedo

- **Cristalería**

- Vasos de precipitado
- Bureta
- Pipetas
- Matraces ermeleyer

- **Procedimiento:**

1. Llenar un matraz burbujeador (primer lavador) con 200ml de solución de Yoduro de Potasio al 2%.
2. Conectar la manguera al punto de muestreo del generador e introducir el otro extremo en el matraz que contiene la solución de KI.
3. Ajustar el flujo aproximadamente 0.5L/min. solamente con aire enriquecido con oxígeno en el otro matraz burbujeador (segundo lavador) que contiene solución de KI.
4. Lo anterior se realiza con el fin de ajustar el flujo de ozono y evitar que existan fugas.
5. Burbujear el volumen de 2 litros como mínimo hacia el primer lavador (concentración de ozono a la entrada del sistema de reacción), este volumen se mide con el gasómetro y al mismo tiempo se registra la temperatura y presión del gas.
6. Acidificar esta solución con 10 ml de ácido sulfúrico 1N.
7. Titular esta solución con Tiosulfato de sodio 0.1N.
8. Registrar el volumen gastado de Tiosulfato.
9. Se sigue el mismo procedimiento para determinar la concentración de ozono a la salida, del sistema de reacción, solo que aquí ya se cuenta con la muestra a tratar.

- **Cálculos**

$$[O_3]_{g,e} = \frac{(T)(N)(24)}{V_{gas}}$$

$$[O_3]_{g,s} = \frac{(T)(N)(24)}{V_{gas,t}}$$

Donde:

$[O_3]_{g,e}$: concentración de ozono fase gas a la entrada del reactor (mg/Lgas)

$[O_3]_{g,s}$: concentración de ozono fase gas a la salida del reactor (mg/Lgas)

T: mL de Tiosulfato de Sódio consumidos.

N: normalidad del Tiosulfato de Sódio (0.1N)

24: Factor de corrección: 1mL de Tiosulfato corresponde a 24 mg de ozono.

V_{gas} : los dos litros de gas que se deja pasar a través del medidor de flujo.

$V_{gas,t}$: Volumen de gas que pasa a través de un medidor de flujo en un tiempo determinado (L).

3.2.4 Ozono fase acuosa.

La dificultad de medir el ozono residual en una solución acuosa, es estrictamente una consecuencia de la naturaleza, ya que el ozono se descompone con mucha facilidad. El método índigo es cuantitativo, selectivo y simple, además reemplaza los métodos basados en la determinación de oxidantes totales. Es aplicable en aguas de lagos, ríos, aguas subterráneas y agua residuales tratadas biológicamente; este método se basa en el siguiente principio:

La disminución es lineal en el incremento de la concentración de ozono. La constante de proporcionalidad a 600 nm es 0.42 ± 0.01 cm/mg/L, (Standard Methods, 1992).

Se tiene el conocimiento de que existen algunos compuestos que interfieren en la medición, tal es el caso del peróxido de hidrógeno y de los peróxidos orgánicos, que decoloran el reactivo índigo muy lentamente. El peróxido de hidrógeno no interfiere si el ozono se mide en menos de 6 horas de añadir los reactivos. Los peróxidos orgánicos pueden reaccionar con mayor rapidez. El Fe (III) y Mn (III) no interfieren pero este último es oxidado por el ozono a formas que decoloran el reactivo. El cloro también interfiere, pero puede ser enmascarado por el Ácido Malónico. El Bromo que puede formarse por la oxidación de Br^- , interfiere (1 mol Br corresponde a 0.4 moles de ozono).

- **Equipo**

-Espectrofotómetro

- **Reactivos y preparación**

Solución madre índigo.

En un matraz aforado de 1L, agregar 500 mL de agua, agregar un mililitro de Ácido Fosfórico concentrado y añadir con agitación, 770 mg de Trisulfanato Potásico de índigo, aforar con agua destilada. Una disolución de 1:100 exhibe una absorbancia de 0.02 cm a 600 nm. La solución madre es estable por cuatro meses almacenada en frasco ámbar.

Reactivo I.

En un matraz aforado de 1L, añadir 20ml de solución madre, 10g de Fosfato Monobásico de Sodio y 7 ml de Ácido Fosfórico concentrado. Diluir hasta aforo (almacenar en un frasco ámbar).

Reactivo II.

Proceder como el reactivo índigo I, añadiendo 100 ml de solución madre en lugar de 20 ml.

- **Procedimiento espectrofotométrico.**

1.- Para un intervalo de concentración de ozono de 0.01 a 0.1 mg/l. Añadir 10 ml de reactivo índigo I a dos matraces aforados de 100 ml. Llenar uno de ellos hasta el aforo con agua destilada (blanco) y el segundo con la muestra a analizar. Medir la absorbancia a 600 nm lo antes posible y siempre dentro de las cuatro horas siguientes. Utilizar celdas de 10 cm. de largo por 1 cm. de ancho.

2.- Para un intervalo de concentración de ozono de 0.05 a 0.5 mg/ml. Proceder como el punto anterior pero utilizar 10 ml de reactivo índigo II. Medir preferentemente la absorbancia en celdas de 4 o 5 cm.

3.- Para concentraciones superiores a 0.3 mg/l. se procede a utilizar el reactivo índigo II pero utilizando un volumen menor a la muestra. Diluir la mezcla resultante a 100 ml con agua destilada.

- **Cálculos**

$$[\text{O}_3]_{l,r} = \frac{(A_b - A_m)(100)}{(0.42)(V_m)(C)}$$

Donde:

$[\text{O}_3]_{l,r}$: concentración de ozono residual en fase acuosa (mg/l).

A_b : absorbancia del blanco.

A_m : absorbancia de la muestra.

0.42: factor de sensibilidad de 20000/cm para el cambio de absorbancia (600 nm) por mol de ozono añadido por litro.

V_m: volumen de la muestra (ml).

C: recorrido de la luz (cm.).

Finalmente se realiza el balance de materia para determinar la cantidad de ozono que se transfiere a la fase acuosa (dosis):

$$[\text{O}_3]_{\text{T}} = [\text{O}_3]_{\text{ET}} - [\text{O}_3]_{\text{S}} - [\text{O}_3]_{\text{l,r}}$$

[O₃]_T : ozono transferido (mg/l)

[O₃]_{ET}: ozono que entra a el tratamiento fase acuosa (mg/l)

[O₃]_S: ozono que sale del tratamiento fase acuosa (mg/l)

[O₃]_{l,r}: ozono residual fase acuosa (mg/l)

EL cálculo de dosis aplicada de ozono se realiza de acuerdo con las siguientes ecuaciones (Orta *et al*, 1998).

$$\mathbf{D} [\text{O}_3]_{\mathbf{g}} = \frac{(O_3)_{ge} (V'_g)(t)}{(V)_r}$$

$$\mathbf{C} [\text{O}_3]_{\mathbf{g}} = \frac{(O_3)_{ge} (O_3)_{gs} (V'_g)(t)}{(V)_r} - (O_3)_{lr}$$

$$\mathbf{ET} = \frac{(O_3)_{ge} - (O_3)_{gs}}{(O_3)_{ge}}$$

Donde:

$V'g$: flujo de gas (L/min.)

t : tiempo de ozonación (min.).

V_r : volumen de lixiviado en el reactor (L)

$[O_3]_{lr}$: concentración de ozono residual fase acuosa (mg de O_3 / L lix)

$D[O_3]_g$: dosis de ozono (mg / L lix)

$C[O_3]_g$: ozono consumido (mg / L lix)

ET: eficiencia de transferencia.

3.3 DETERMINACIÓN DE OLOR Y SABOR

El olor como el sabor, dependen del contacto de una sustancia estimulante con la adecuada célula receptora. Los estímulos son de naturaleza química y por ello se suele decir que el olfato y el gusto son “sentidos químicos”.

En una forma pura el agua no contiene sustancias olfativas y gustativas. Muchas sustancias orgánicas e inorgánicas influyen en el gusto y el olor. El dispositivo supremo para la realización de pruebas de olor es la nariz humana, así como el dispositivo supremo para la realización de gusto es la boca humana. Las pruebas sensoriales son útiles para indagar la calidad del agua y para controlar el olor y sabor a lo largo del proceso, (Standard Methods, 1992).

Los métodos empleados para saber el grado de olor, y el grado de sabor son:

3.3.1 Prueba umbral del olor y sabor.

- **Material y cristalería**

- Papel aluminio
- Tapones de cristal
- Matraces ermeleyer
- Probetas
- Pipetas
- Vasos de precipitado
- Termómetro

- **Equipo**

- Baño Maria $T = \pm 40\text{ }^{\circ}\text{C}$

- **Procedimiento**

1.- Se seleccionan por lo menos tres personas, máximo 6 que desconozcan total y absolutamente el método y la prueba.

2.-En 6 matraces ermeleyer completamente limpios y estériles libre de cualquier agente que pueda alterar la prueba, se añaden una cantidad conocida (ml) de muestra, y después añadiendo agua libre de olor y sabor hasta los 200 ml, como indica en la (tala 2120: Standard Methods, 1992, Pág. 2-23).ejemplo:

Tabla 10. Número Umbral de Sabor u Olor.

(A)CANTIDAD DE MUESTRA(ML)	(A+B)CANTIDAD TOTAL DE SOLUCIÓN
200	200
140	200
100	200
50	200
25	200
12	200

3.- Los matraces se cierran completamente, ya sea con tapones de vidrio o papel aluminio, esto para que no se introduzcan olores ajenos a las muestras.

4.- Una vez cerrados, los matraces se introducen a un baño Maria a una temperatura de 40 °C aproximadamente, esto para que lleguen alterarse las moléculas presentes en el agua y sea más versátil su detección del olor y sabor.

5.- Ya alcanzando la temperatura, se le proporcionan a las personas seleccionadas para que las huelan y las prueben una por una.

6.- Cada persona reportará en que matraz presentó un cambio de olor y sabor al agua, diferente en los matraces en los cuales no se introdujo nada de muestras a analizar (blancos).

Las anotaciones se reportan de la siguiente manera:

a) Olor

Tabla 11 .Reporte del número umbral de olor.

(A) Cantidad de muestra(ml)	(A+B) Cantidad total de solución	1era. prueba	2da. prueba	3era. prueba
200	200	+	+	+
140	200	+	+	+
100	200	+	+	+
50	200	+	+	+
25	200	-	-	-
12	200	-	-	-

b) Sabor

Tabla 12. Reporte del número umbral del sabor.

(A)cantidad de muestra(ml)	(A+B)Cantidad total de solución	1era. prueba	2da. prueba	3era. prueba
200	200	+	+	+
140	200	+	+	+
100	200	+	+	+
50	200	+	+	-
25	200	-	-	-
12	200	-	-	-

Donde: + presencia de olor o sabor

- no hay presencia de olor o sabor

Tomando como referencia las Tablas 12 y 13

- **Cálculos**

(De acuerdo al Métodos Normalizados para el análisis de agua potables y residuales, 1992, en la tabla 2150: I de la página 2-23)

El número umbral = NUO \approx 4

Determinado por la ecuación

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

Donde:

A = ml de muestra

B= mililitros de agua inodora

El número umbral de sabor de acuerdo a Métodos Normalizados para el análisis de agua potables y residuales, en la tabla 2160: I, 1992 De la página 2-27.

El NUS ≈ 4

Determinado por la ecuación:

$$NUS = \frac{(A) + (B)}{(A)}$$

A: volumen de muestra

B: mililitros de agua inodora

NOTA: Todos los análisis y parámetros fisicoquímicos se realizaron en los laboratorios del Instituto de Ingeniería de la UNAM, siguiendo las técnicas analíticas de acuerdo con lo estipulado en Standard Methods, 1992 y métodos HACH ver Tabla 13.

Tabla 13. Parámetros de importancia y técnicas analíticas para su determinación.

Parámetro	Método	Equipo empleado
pH	Potenciómetro	pH meter marca Orión modelo 420A
Turbidez	Nefelométrico	Turbidímetro marca HACH modelo 2100P
Color	Platino-Cobalto	Espectrofotómetro marca HACH DR-2000 ver. 3.1 modelo 44863-00
Conductividad	Electrométrico	Conductímetro marca HACH modelo 46600-00
Alcalinidad	Indicadores	Viraje de color de los Indicadores: Anaranjado de metilo y Fenolftaleína
Sólidos Disueltos Totales (SDT)	Electrométrico	Conductímetro marca HACH modelo 46600-00

CAPÍTULO 4. RESULTADOS

4.1 CUANTIFICACIÓN DE CLOROFILAS EN AGUA DE LA PLANTA POTABILIZADORA “LOS BERROS”.

El contenido de algas en el agua de la planta potabilizadora “Los Berros” (influyente y efluente) fue determinado de manera indirecta, midiendo la concentración de las clorofilas “a”, “b” y “c” de acuerdo al método propuesto por Jeffrey y Humphrey (1975) como se describe en el capítulo 3.

En el caso del influyente se realizaron un total de ocho pruebas con dos volúmenes de muestra de agua, 250 ml y 500 ml, respectivamente. Esto se realizó con el fin de descartar la posibilidad de que el volumen de muestra fuera un factor de error en la cuantificación de las clorofilas. En la tabla 14 se da el promedio de las cuatro determinaciones realizadas para cada volumen de muestra analizado.

Tabla 14. Concentración de clorofilas presentes en el influyente de la planta “Los Berros” (24/03/06).

VOLUMEN DE MUESTRA	CONCENTRACIÓN DE CLOROFILAS ($\mu\text{g/L}$)		
	Clorofila “a”	Clorofila “b”	Clorofila “c”
250 mL	23.10 \pm 0.11	0.44 \pm 1	-0.103 \pm 3.5
500 mL	24.63 \pm 0.13	1.7 \pm 1.2	5.25 \pm 2.9

La clorofila “a” fue la más significativa en términos de concentración en el influyente de la planta, entre 23 y 24 $\mu\text{g/L}$, para los meses de mayo y junio. Estos valores de concentración están en el mismo orden de magnitud del promedio anual que se reporta en la planta potabilizadora, 37.7 $\mu\text{g/L}$, (CONAGUA).

En el efluente de la planta el contenido de clorofila “a” fue del orden de 1.37 µg/L (Tabla 14). En este caso no se tienen datos con los que se puedan comparar los resultados obtenidos en este trabajo, sin embargo, los niveles de clorofila “a” detectados están muy cercanos a los que marca la OMS como un nivel de alerta (1 µg/L). Resultados que indican que el tratamiento que recibe el agua en la planta, coagulación-sedimentación- filtración -cloración, contribuyen a la remoción de las algas, aunque no se logra una remoción completa, lo cual sería lo deseable con el fin de obtener una mejor calidad de agua.

Tabla 15. Concentración de Clorofilas presentes en el efluente de la planta “Los Berros” (10/04/06).

VOLUMEN DE MUESTRA	CONCENTRACIÓN DE CLOROFILAS(µg/L)		
	Clorofila “a”	Clorofila “b”	Clorofila “c”
250 mL	1.37±0.11	-2.35±1	7.11± 3.5

Para fines de la experimentación y de la evaluación del tratamiento con ozono, se selecciono a la clorofila “a” como parámetro de respuesta y un volumen de 250 ml muestra para su cuantificación.

4.2 REMOCIÓN DE ALGAS MEDIANTE OXIDACIÓN QUÍMICA CON OZONO.

4.2.1 Remoción de algas en el influente de la planta potabilizadora “Los Berros”.

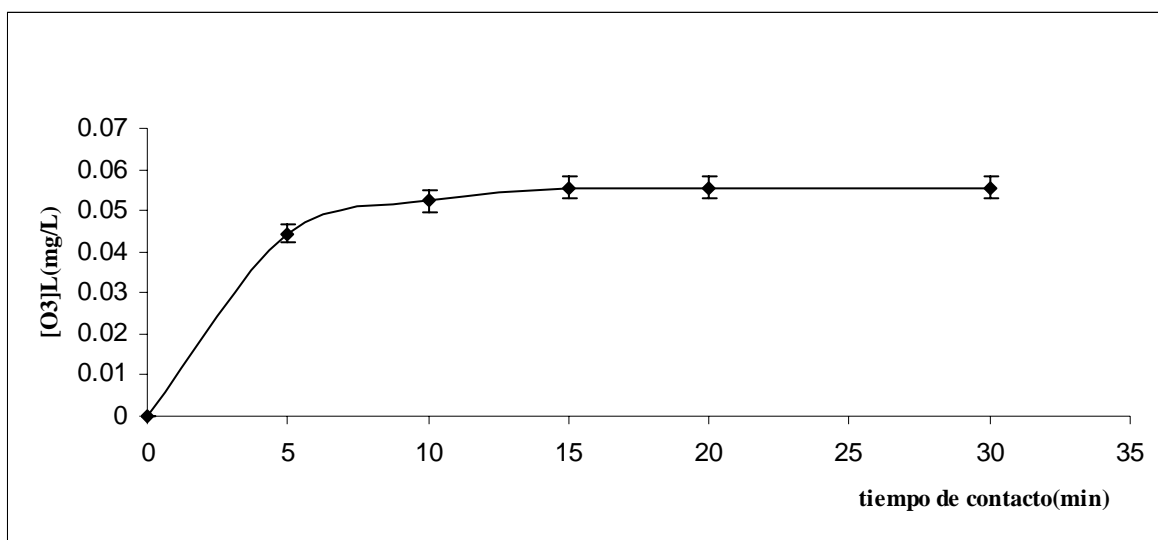
Para evaluar el efecto del ozono en la eliminación de las algas se determinó primero la curva de demanda de ozono del influente de la planta “Los Berros” obteniéndose de manera paralela los intervalos de tiempo de contacto y dosis de ozono a evaluar a partir del balance global de masa en el reactor.

La gráfica 1 presenta la curva de demanda de ozono del influente. Para ello se aplicó en forma continua y durante un tiempo de ozonación máximo de 30 min una concentración de ozono en fase gas a la entrada del reactor ($[O_3]_{ge}$) de 1.32 mg/L.

La concentración de ozono residual en fase líquida ($[O_3]_L$) y en fase gas a la salida del reactor ($[O_3]_{gs}$) fueron monitoreadas durante la prueba con intervalos de tiempo de 5 minutos.

Se puede observar de acuerdo con los niveles de concentración de ozono en el líquido, que durante los primeros 5 minutos se lleva acabo el mayor consumo de ozono por los constituyentes del agua. A partir del minuto 10 de tiempo de ozonación la concentración empieza a ser constante, lo que significa que la demanda de ozono del agua ha sido cubierta en su mayor parte. La concentración máxima de ozono residual alcanzada en la fase líquida bajo las condiciones de operación ensayadas fue del orden de 0.052 mg/L.

Se puede deducir de la curva de demanda que el ozono reacciona con mayor rapidez con los componentes del agua durante los primeros cinco minutos de ozonación, de ahí que los niveles de concentración de ozono disuelto en la fase líquida sean bajos al inicio de la prueba. Después de los cinco minutos de ozonación continua la concentración aumenta ligeramente en el líquido, para luego permanecer constante indicando que la demanda del ozono ha sido cubierta.



Gráfica 1. Curva de demanda de ozono del influente de la planta potabilizadora “Los Berros”. Para esta prueba se aplicó una concentración de ozono en el gas a la entrada del reactor de 1.32 mg/L con un flujo de 0.5 L/min. La curva representa los resultados promedio de 3 experimentos.

A partir de los resultados obtenidos de la curva de demanda se decidió evaluar como dosis más alta para conocer el efecto del ozono sobre la remoción de algas, la equivalente a 20 minutos de tiempo de ozonación.

Se probaron cuatro dosis de ozono (3.3, 6.6, 9.9 y 13.2 mg/L) con tiempos de contacto entre 5 y 50 min. Cabe señalar que en cada uno de los tiempos de contacto a evaluar está incluido el tiempo de ozonación requerido para aplicar la dosis correspondiente de ozono. Esto es, para el caso de la dosis 3.3 mg O₃/L, el tiempo de contacto de 5 minutos equivale a los 5 minutos de ozonación requeridos para alcanzar dicha dosis. Otro ejemplo, para la dosis más alta, 13.2 mg O₃/L, se requiere de 20 minutos de tiempo de ozonación, los cuales equivaldría a los primeros 20 minutos de tiempo de contacto de dicha condición. Después de cada tiempo de ozonación requerido, el suministro de ozono es detenido y se continúa con el experimento, tomando muestras a diferentes tiempos de contacto para analizar el contenido de clorofilas y del ozono residual.

En la Tabla 16, se muestra los resultados de las pruebas de remoción de algas con ozono bajo las diferentes dosis aplicadas y tiempos de contacto lo cual fue medido indirectamente mediante la concentración residual de la clorofilas “a”, “b” y “c” respectivamente.

Los resultados indican que un aumento en la dosis de ozono y en el tiempo de contacto mejora el porcentaje de remoción de las clorofilas, siendo la dosis la variable independiente más importante como lo muestra gráfica 2.

El efecto del tiempo de contacto es más evidente a partir de que se aplica una dosis de ozono de 6.6 mg/L, lo cual está relacionado con que a partir de dicha dosis ya se ha cubierto la demanda de ozono. Tiene que ver principalmente con la cinética de reacción del ozono sobre todo si ya se ha cubierto la demanda de ozono y se mantiene constante una concentración de ozono residual.

Tabla 16. Efecto de la dosis de ozono y el tiempo de contacto en la remoción de clorofila en el influente.

TIEMPO DE CONTACTO (min)	[O ₃]L mg/L	CLOROFILA "a" (µg/L)	CLOROFILA "b" (µg/L)	CLOROFILA "c" (µg/L)	% DE REMOCIÓN DE CLOROFILA "a"
0		23.1±0.11	0.44 ±1	-0.1 ± 3.5	0
<i>Dosis de ozono 3.3 mg/L</i>					
5	0.038	10.0	2.7	2.8	56.5
15	0.057	9.0	-1.4	2.8	60.1
30	0.057	8.9	-1.2	6.0	61.0
<i>Dosis de ozono 6.6 mg/L</i>					
10	0,048	9.2	-0.6	2.0	60.34
20	0.018	8.8	-3.0	8.4	61.77
30	0.0047	6.6	-2.2	6.3	71.34
<i>Dosis de ozono 9.9 mg/L</i>					
15	0.048	6.6	2.2	4.0	71.34
20	0.0047	2.2	-0.7	2.1	90.43
30	0.0047	2.4	-11.2	16.6	89.50
<i>Dosis de ozono 13.2 mg/L</i>					
20	0.048	4.7	-1.9	-3.1	79.43
30	0.014	1.2	0.1	-6.6	94.79
50	0.014	1.2	-0.8	-16.2	94.69

Los resultados corresponden al valor promedio de 3 pruebas experimentales.

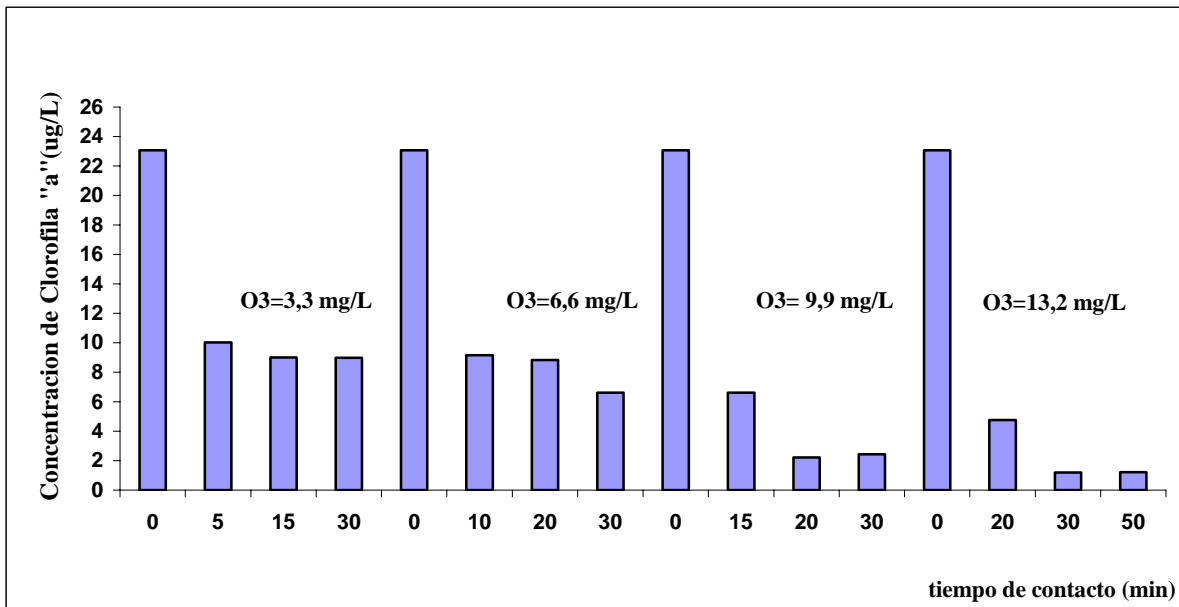
La gráfica 2 muestra el comportamiento del ozono residual durante y después de las diferentes dosis aplicadas de ozono: 3.3, 6.6, 9.9 y 13.2 mg/L, respectivamente.

Como se dijo anteriormente a partir de la dosis de 6.6 mg/L se cubre la demanda de ozono del influente y es posible alcanzar concentraciones de ozono residual en el agua de 0.048 mg/L y mantenerlas por el tiempo que sea necesario para alcanzar los niveles de remoción de clorofilas deseados.

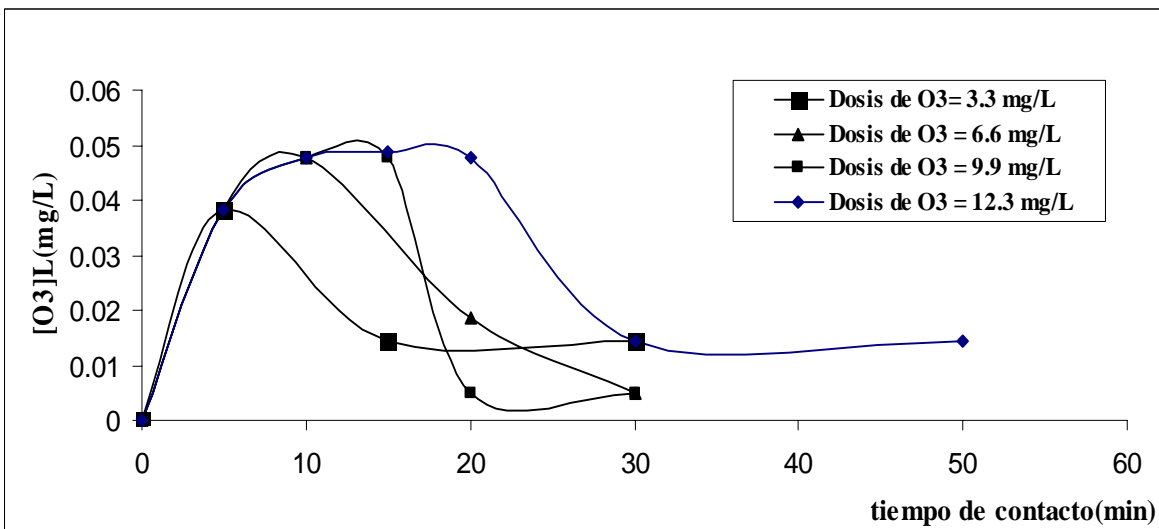
Se puede observar también que el abatimiento de la concentración de ozono residual en función del tiempo de contacto el cual es prácticamente inmediato debido a las múltiples reacciones que se lleva acabo entre el ozono y los constituyentes del agua.

Finalmente se puede concluir que para lograr el 95% de remoción, equivalente a tener un residual de 1.2 $\mu\text{g/L}$ de clorofila "a" en el influente de la planta, se requiere aplicar una dosis de ozono de 13.2 mg/L, mantener un residual de ozono de 0.048 mg/L y un tiempo de contacto total de 30 minutos.

De acuerdo a la OMS el nivel de alerta 1 comprende una concentración de 1 $\mu\text{g/L}$ de clorofila "a" en el agua potable (Ver capítulo 1). Bajo las condiciones en las que se trabajó, el nivel de la concentración de la clorofila "a" en el influente de la planta, estaría dentro de lo establecido.



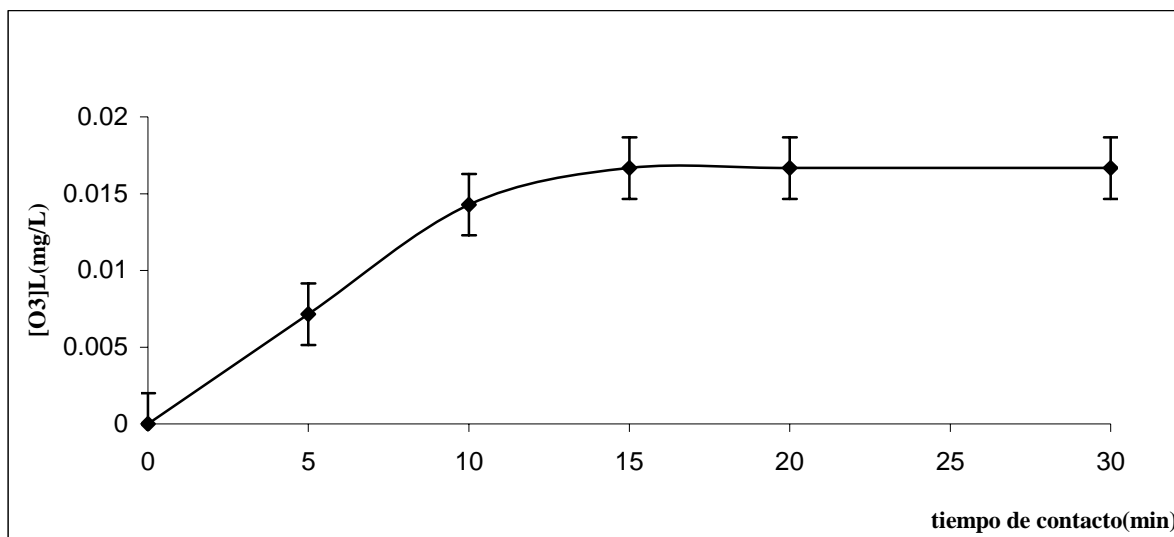
Gráfica 2. Efecto de la dosis de ozono y el tiempo de contacto en la disminución de clorofila "a" en el influente de la planta de tratamiento "Los Berros". La gráfica representa el promedio de 3 pruebas.



Gráfica 3 Comportamiento de la concentración de ozono residual en el influente de la planta potabilizadora "Los Berros", durante y después de la aplicación de diferentes dosis de ozono. Para esta prueba se aplicó una concentración de ozono en fase gas de 1.53 mg/L y un flujo de gas de 0.5 L/min, durante 5, 10, 15 y 20 minutos; el pH inicial del agua fue de 7.5 y una temperatura de 20 °C. La curva representa el promedio de 3 pruebas.

4.2.2 Remoción de algas en efluente de la planta potabilizadora “Los Berros”.

La gráfica 4 presenta la curva de demanda de ozono para el efluente de la planta de tratamiento. Al igual que en el caso anterior, fue necesario aplicar en forma continua durante en un tiempo de ozonación máximo de 30 min una concentración de ozono en fase gas de 1.52 mg/L. La concentración de ozono residual en fase líquida y en fase gas a la salida del reactor fue monitoreada durante la prueba en intervalos de tiempo de 5 minutos.



Grafica 4. Curva de demanda de O_3 que presenta el efluente de la planta potabilizadora “Los Berros”. Para esta prueba se aplicó una concentración de ozono en el gas a la entrada del reactor de 1.52 mg/L con un flujo de 0.5 L/min. La curva representa los resultados promedio de 3 experimentos.

Durante los primeros 10 minutos se da el mayor consumo de ozono por los constituyentes del agua; posteriormente la concentración empieza a ser constante, lo que significa que la demanda de ozono del agua ha sido cubierta en su mayor parte.

La concentración máxima de ozono residual alcanzada en la fase líquida fue del orden de 0.01 mg/L. Este valor es menor al obtenido en el influente de la planta (0.048 mg/L), lo que indica que hay un efecto de la reacción química en la transferencia del ozono debido al mayor contenido de materia orgánica presente en el influente.

La remoción de clorofilas en el influente de la planta de tratamiento fue evaluado aplicando dosis de ozono entre 3.3 y 13.2mg/L y tiempos de contacto entre 5 y 50 min. En la tabla 16 se pueden ver los resultados.

En el caso del efluente se puede lograr el 100% de remoción de clorofila “a” con dosis de ozono de 2.3 mg/L, manteniendo un residual de ozono de 0.01 mg/L y un tiempo de contacto de 6 min. (Tabla 17 y Gráfica 5). Como era de esperarse los requerimientos de ozono y tiempo de contacto son menores a los del influente como resultados de la calidad del agua.

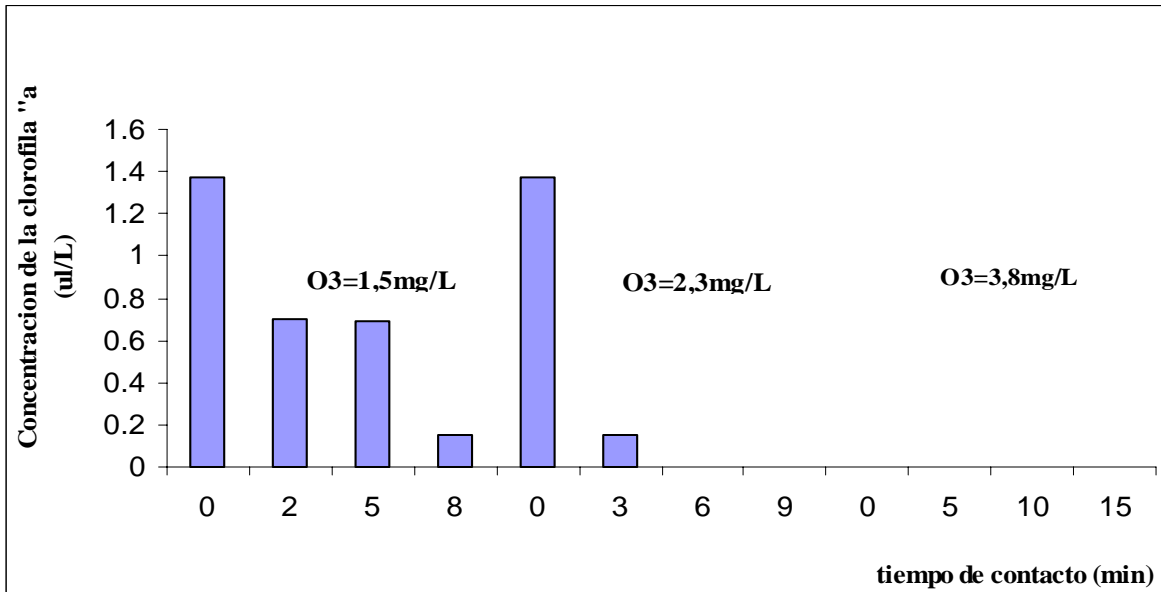
Tabla 17. Efecto de la dosis de ozono y el tiempo de contacto en la remoción de clorofila en el efluente.

TIEMPO DE CONTACTO (min)	[O ₃]L mg/L	CLOROFILA “a” (µg/L)	CLOROFILA “b” (µg/L)	CLOROFILA “c” (µg/L)	%DEREMOCIÓN DE CLOROFILA “a”
0	0	1.37	-2,351	7,1055	0
<i>Dosis de ozono 1.53 mg/L</i>					
2	0.007	0.7	5	5	48.9
5	0.007	0.7	-4.7	10.4	49.5
7	0	0.15	2.1	0.76	88.7
<i>Dosis de ozono 2.3 mg/L</i>					
3	0.01	0.15	-2.1	0.76	88.7
6	0.008	0	0	0	100
9	0	0	0	0	100
<i>Dosis de ozono 3.8 mg/L</i>					
5	0.01	0	0	0	100
10	0.007	0	0	0	100
20	0.007	0	0	0	100

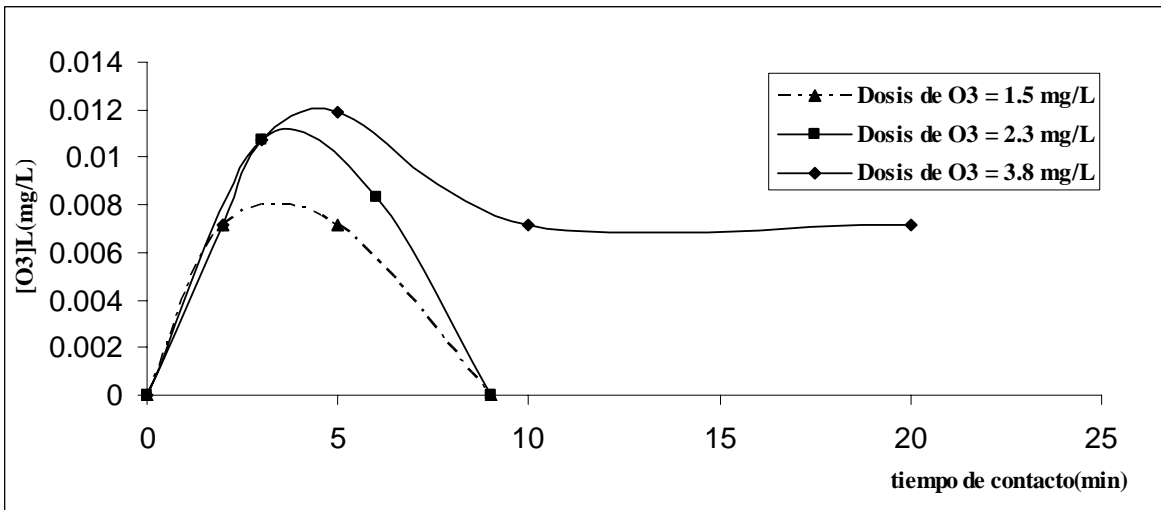
En el caso del efluente de la planta, los niveles de clorofila “a” detectados (1.37 µg/L) prácticamente se encuentran en el límite recomendado por la OMS para agua potable (1µg/L). La aplicación de pequeñas dosis de ozono contribuye a la eliminación total de clorofilas (a, b y c).

La gráfica 5 muestra el comportamiento del ozono residual durante y después de la aplicación de cada una de las dosis evaluadas.

Tomando en cuenta el consumo de ozono y el grado de remoción de clorofilas, se recomienda que el punto de aplicación del ozono sea al final del tren de tratamiento de la planta.



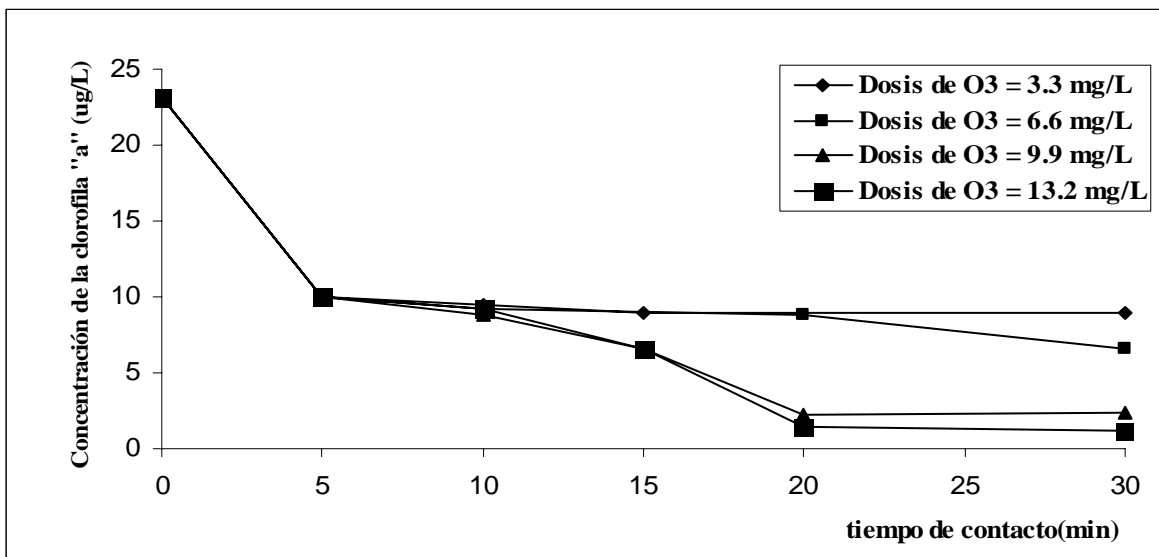
Gráfica 5. Efecto del ozono en la disminución de clorofila “a” en el efluente a diferentes tiempos de contacto y diferentes dosis de ozono. A un flujo de 0.5 L/min, un amperaje de 0.5 con pH normal del agua a temperatura constante de 20 °C. La grafica representa el promedio de 3 pruebas.



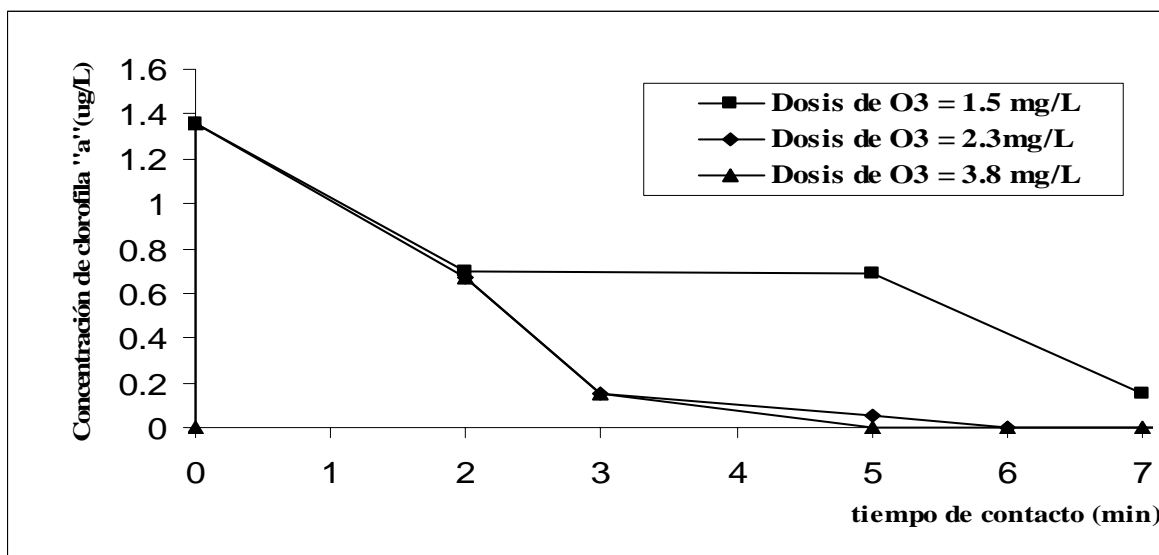
Gráfica 6. Comportamiento de la concentración de ozono residual en el efluente de la planta potabilizadora “Los Berros”, durante y después de la aplicación de diferentes dosis de ozono. Para esta prueba se aplicó una concentración de ozono en fase gas de 1.53 mg/L y un flujo de gas de 0.5 L/min, durante 2,3 y 5 minutos; el pH inicial del agua fue de 7.5 y una temperatura de 20 °C. La curva representa el promedio de 3 pruebas.

4.2.3 Efecto de la calidad del agua en la remoción de clorofila "a".

Dependiendo de la calidad del agua a tratar y de la concentración inicial del contaminante o metabolito a eliminar, la dosis de ozono requeridas para lograr una remoción significativa pueden variar entre 2.3 mg/L y hasta 13.2 mg/L como se puede observar en la gráficas 7 y 8 en donde se muestra el abatimiento de la clorofila "a" para los dos tipos de agua de la planta potabilizadora "Los Berros". En el caso del influente de la planta presentó las dosis y los tiempos de contacto más altos.



Gráfica 7. Eliminación de clorofila "a" en el influente de la planta potabilizadora.



Gráfica 8. Eliminación de clorofila "a" en el efluente de la planta potabilizadora.

En la literatura se reportan dosis aplicadas de ozono entre 1 y 8 mg/L para remover otros metabolitos relacionados con el olor y sabor de aguas naturales tales como el Metil-isobornol (MIB, por su siglas en inglés), Geosmina, Anatoxina y Microsistina. Estos resultados son comparables con los resultados obtenidos en este trabajo para la remoción de clorofila “a”, como se puede ver en la Tabla 18.

Tabla 18. Efecto de la concentración de ozono en la eliminación de metabolitos relacionados con el olor y sabor de aguas naturales.

METABOLITO	TIPO DE AGUA	CONCENTRACIÓN INICIAL	DOSIS DE OZONO (mg/L)	% DE REMOCIÓN	REFERENCIA
- Metil-isobornol (MIB) - Geosmina	Agua Superficial	50 ng	1.5 - 7	35 - 95	Lundgren, et al. (1988)
- Metil-isobornol (MIB) - Geosmina	Água potable	100 ng	1.5 -3.8	10 - 80	Jung et al (2004)
- Metil-isobornol (MIB) - Geosmina	Agua potable	600 y 200 ng	1 , 2 y 3	80 y 90	Ferreira, et al.
- Metil-isobornol (MIB) - Geosmina	Agua de reservorio tratada	100 ng	1.2 - 5	15 - 98	Lionel et al. (2002)

La eliminación de metabolitos relacionados con el olor y sabor de agua naturales parece ser un proceso relativamente rápido mediante la oxidación química con ozono molecular, como lo es el caso de la clorofila “a”.

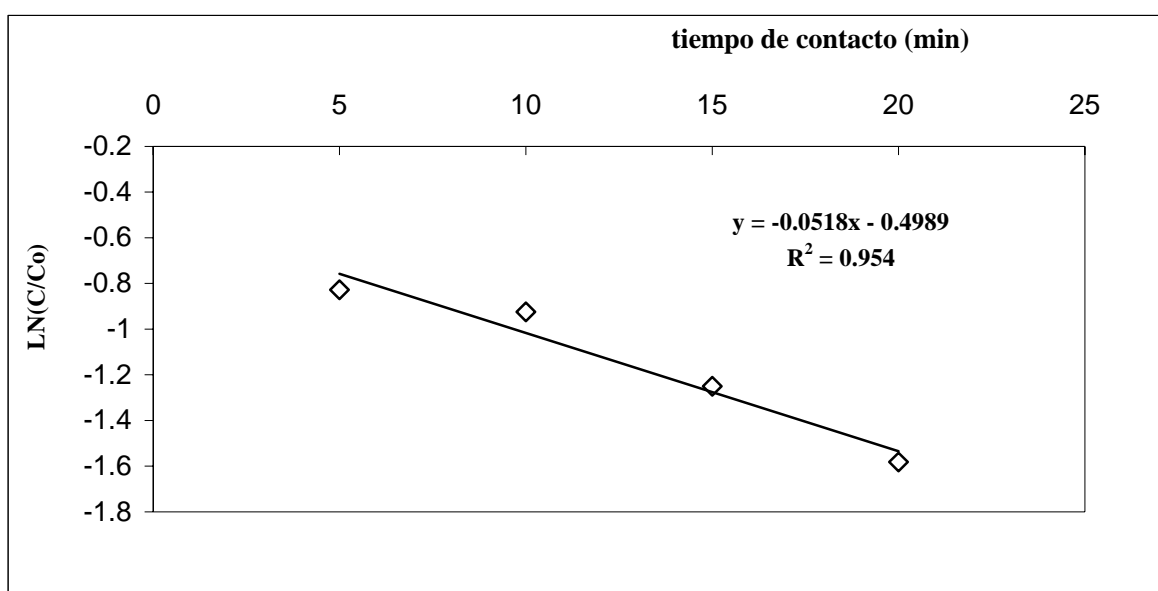
Esto está relacionado como el tipo de estructura química, la cual presenta dobles enlaces (ver Figura 13, Cáp. 2) que son fácilmente atacables por el ozono molecular.

Clorofila “a”	Agua superficial cruda	23.10 µg	13.2	95	ESTE TRABAJO
	Agua superficial tratada	1.36 µg	2.3	100	

La remoción de clorofila “a” en el efluente de la planta, para los tiempos de tratamiento evaluados, se puede representar como una cinética de pseudo-primer orden de tipo:

$$\ln(C/C_0) = -k \cdot t$$

Donde, C y C₀ representan la concentración de clorofila “a” en el tiempo y al inicio del tratamiento, -k la constante aparente de remoción de clorofila “a” y t el tiempo de contacto. La constante aparente de estimada fue de 0.0518 min⁻¹. En la literatura en relación a otros tipos de metabolitos, la geosmina y el Metil-isobornol, la constante de remoción se encuentran en el orden de 0.125 y 0.016 min⁻¹, (Meunier et al., 2006).



Gráfica 9. Determinación de la constante de remoción aparente de clorofila “a”.

4.2.4 Consumo de ozono, dosis y tiempos de contacto estimados para la remoción de clorofila “a” en influente y efluente de la planta potabilizadora “Los Berros”.

En las tablas 19 y 20 muestran los resultados obtenidos del balance global de masa en el reactor, incluyendo las concentraciones que se tienen de ozono en fase gas (a la entrada, [O₃]_{ge} y salida del reactor, [O₃]_{gs}), en el líquido ([O₃]_L), la dosis aplicada de ozono (D[O₃]), el consumo neto de ozono (C[O₃]) y los porcentajes de eficiencia de transferencia de ozono (ET), a lo largo de la prueba de oxidación.

Tabla 19. Resultados del balance de masa obtenido durante la oxidación del influente de la planta de tratamiento “Los Berros”.

Tiempo de ozonación (min)	[O ₃] _{ge} (mg/L)	[O ₃] _{gs} (mg/L)	[O ₃] _L (mg/L)	D[O ₃] (mg/L)	C[O ₃] (mg/L)	ET (%)
5	1.32	0.48	0.038	3.3	2.06	63.63
10	1.32	0.60	0.048	6.6	3.55	54.55
15	1.32	0.60	0.052	9.9	5.35	54.55
20	1.32	0.60	0.052	13.2	7.15	54.55
30	1.32	0.60	0.052	19.8	10.75	54.55

Tabla 20. Resultados del balance de masa obtenido durante la oxidación para el efluente de la planta potabilizadora “Los Berros”.

Tiempo de ozonación (min)	[O ₃] _{ge} (mg/L)	[O ₃] _{gs} (mg/L)	[O ₃] _L (mg/L)	D[O ₃] (mg/L)	C[O ₃] (mg/L)	ET (%)
5	1.53	1.2	0.007	3.83	0.81	21.6
10	1.53	1.32	0.014	7.65	1.03	13.7
15	1.53	1.44	0.016	11.48	0.65	5.9
20	1.53	1.44	0.016	15.3	0.88	5.9
30	1.53	1.44	0.016	23.0	1.33	5.9

Como era de esperarse, el consumo, las dosis de ozono y los tiempos de contacto son mayores cuando el ozono es aplica directamente al agua superficial cruda que ingresa a la planta.

Bajo las condiciones de operación ensayadas en las pruebas de oxidación del agua de la planta potabilizadora se tiene que:

Para llevar acabo la remoción de clorofila “a” en el influente de la planta, a niveles cercanos (1.23 µg/L) al recomendado por la OMS (1 µg/L), se requiere aplicar una dosis de ozono de 13.2 mg/L de agua y tiempos de contactos hasta de 30 minutos.

El consumo neto de ozono para tales condiciones fue de 7.15 mg/L de ozono equivalente al 54.5% de la dosis aplicada. Esto significa que para mejorar la eficiencia del proceso es indispensable optimizar las condiciones de transferencia de masa del ozono y con ello reducir la dosis de ozono.

En cuanto al efluente es posible remover el 100% de clorofila “a” requiriéndose para ello una dosis aplicada entre 2.3 y 3.8 mg O₃/L de agua y tiempos de contacto entre 3 y 6 minutos.

El consumo neto calculado para la dosis de 3.8 mg/L fue de 0.81 mg O₃/L que equivalen al 21.6% del ozono aplicado. En este caso la eficiencia de transferencia fue todavía menor, debido al tipo de agua, la cual ha sido sometida a un tratamiento previo, reduciéndose así el contenido de constituyentes en el agua y por tanto el efecto de la reacción química en la transferencia de ozono. Al igual que en el caso anterior es necesario optimizar las condiciones de transferencia para reducir al mínimo la dosis aplicada y por ende los costos de tratamiento.

4.3 UMBRALES DE OLOR Y SABOR EN AGUA TRATADA CON OZONO

4.3.1 Umbrales de olor y sabor en influente y efluente de la planta.

La tabla 21 presenta las pruebas realizadas a tres personas diferentes, el individuo que presentaba un olor según el diferente a la de un agua sin olor y sabor, es señalado con una (+) de positivo y una (-) de negativo. (Ver capítulo 3).

Tabla 21. Resultados en la determinación del número umbral de olor en el influente

(A) Cantidad de muestra (ml)	(A+B)cantidad total de solución	1era prueba	2da prueba	3era prueba
200	200	+	+	+
140	200	+	+	+
100	200	+	+	+
50	200	+	+	+
25	200	-	-	-
12	200	-	-	-

Las pruebas se refieren al número de personas diferentes.

El número umbral de olor para el influente es de: NUO \approx 4, que es un valor que registra una disolución de 50 ml de agua cruda. Determinado por la siguiente ecuación.

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

Donde:

A = ml de muestra

B= mililitros de agua inodora (agua destilada).

Tabla 22. Resultados en la determinación del número umbral de sabor en el Influyente.

(A)cantidad de muestra(ml)	(A+B)cantidad total de solución	1era prueba	2da prueba	3era prueba
200	200	+	+	+
140	200	+	+	+
100	200	+	+	+
50	200	+	+	-
25	200	-	-	-
12	200	-	-	-

El número umbral de sabor para el influente es de: NUS \approx 4 que es un valor que registra una disolución de 50 ml de agua cruda, suponemos que registra este valor porque contiene mayor materia orgánica que el efluente de la planta.

Determinado por siguiente ecuación:

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

A= volumen de muestra

B= mililitros de agua inodora

En el caso de los dos tipos de agua (influyente y efluente) se realiza el mismo método en ambos casos utilizando a 3 personas diferentes que desconozcan totalmente la prueba.

Tabla 23. Resultados en la determinación del número umbral de olor en el Efluente.

(A)cantidad de muestra(ml)	(A+B)cantidad total de solución	1era prueba	2da prueba	3era prueba
200	200	-	+	-
140	200	-	-	-
100	200	-	-	-
50	200	-	-	-
25	200	-	-	-
12	200	-	-	-

Se realiza en todos los casos haciendo uso de la ecuación para determinar el NUO, Por lo tanto, El NUO \approx 1

Tabla 24. Resultados en la determinación del número umbral de sabor en el Efluente

(A)cantidad de muestra(ml)	(A+B)cantidad total de solución	1era prueba	2da prueba	3era prueba
200	200	-	-	-
140	200	-	-	-
100	200	-	-	-
50	200	-	-	-
25	200	-	-	-
12	200	-	-	-

Por lo tanto, EL NUS \approx 0

En el caso del efluente de la planta, registra valores muy bajos en comparación del influente, suponemos que lo anterior es causa de que el influente es agua cruda sin tratar y que toda la materia orgánica presente en el agua es causante de dar estos parámetros de olor y sabor, sin en cambio el efluente es agua tratada, y que la mayoría de la materia presente es eliminada casi o en su totalidad por el tren de potabilización de la planta.

4.3.2 Efecto del ozono en la eliminación de olor y sabor en el influente de la planta.

La eliminación de olor y sabor, es una de las ventajas que presenta el ozono al tratar el agua, eliminando las posibles causas que lo provocan. Las tablas 25 y 26 muestran los resultados obtenidos después de suministrar una dosis de 13.2 mg/L de ozono, con la que se obtiene el 95% de remoción de clorofila “a”, sobre los umbrales de olor y sabor en el agua. La prueba para determinar los umbrales del agua tratada fue realizada a 3 personas, a 40°C y a pH 7.5.

Tabla 25. Resultados en la determinación del número umbral de olor en el influente con una dosis de ozono 13.2 mg/L.

(A)cantidad de muestra(ml)	(A+B)cantidad total de solución	1era prueba	2da prueba	3era prueba
200	200	+	+	+
140	200	-	-	+
100	200	-	-	-
50	200	-	-	-
25	200	-	-	-
12	200	-	-	-

Por lo tanto NUO \approx 1.4

Tabla 26. Resultados en la determinación del número umbral de sabor influente con una dosis de ozono de 13.2mg/L.

(A)cantidad de muestra(ml)	(A+B)cantidad total de solución	1era prueba	2da prueba	3era prueba
200	200	+	+	+
140	200	+	-	-
100	200	-	-	-
50	200	-	-	-
25	200	-	-	-
12	200	-	-	-

Por lo tanto NUS \approx 1.4

La eliminación del olor y el sabor en el influente es resultado de someter el agua a una dosis de 13.2 mg/L de ozono, con esta dosis es eliminada la presencia de la clorofila “a” uno de los metabolitos de las algas que están relacionados con el olor y sabor en aguas naturales. En el influente y por lo tanto, la presencia de olor y sabor son eliminados.

4.3.3 Efecto del ozono en la eliminación de olor y sabor en el efluente de la planta.

La prueba fue realizada con dosis de ozono de 2.3 mg/L en que la clorofila “a” presente en el efluente es eliminada en un 100 %. Al igual que en el influente, la prueba para determinar los umbrales del agua tratada fue realizada a 3 personas, a 40°C y a pH 7.5. En las tablas 25 y 26 se presentan los resultados.

Tabla 27. Resultados de la determinación del número umbral de sabor en el Efluente a una dosis de ozono 2.3 mg/L.

(A)cantidad de muestra(ml)	(A+B)cantidad total de solución	1era prueba	2da prueba	3era prueba
200	200	-	-	-
140	200	-	-	-
100	200	-	-	-
50	200	-	-	-
25	200	-	-	-
12	200	-	-	-

La tabla 25 muestra que en ninguna de las pruebas realizadas, se reporta alguna señal de la presencia de sabor en el agua, por lo tanto $NUS \approx 0$

Tabla 28. Resultados en la determinación del número umbral de olor en el Efluente a una dosis de ozono de 2.3 mg/L.

(A)cantidad de muestra(ml)	(A+B)cantidad total de solución	1era prueba	2da prueba	3era prueba
200	200	-	-	-
140	200	-	-	-
100	200	-	-	-
50	200	-	-	-
25	200	-	-	-
12	200	-	-	-

En el caso de el olor no es reportado ningún sabor presente en el agua por lo tanto $NU0 \approx 0$.

La eliminación del olor y el sabor en el efluente es resultado de someter el agua a una dosis de 2.3 mg/L de ozono, con esta dosis la concentración de clorofila “a” en el efluente es eliminada y por lo tanto la presencia de olor y sabor presentes en el agua.

En el caso del influente la eliminación de olores y sabores presentes en el agua son eliminados de igual forma que la eliminación de la clorofila “a”, sometiendo el agua a una dosis de 13.2 mg/L de ozono, dosis con la cual se obtiene una remoción del 95% del total de clorofila “a”.

En el efluente el análisis fue realizado con la misma dosis en la que la remoción de la clorofila “a” llega a un 100% (2.3 mg/L), obteniendo negativos los niveles de olor y sabor presentes en el agua.

CAPÍTULO 5. ESTIMACIÓN DEL COSTO DE TRATAMIENTO

La realización de este capítulo es con la finalidad de llevar a cabo un ejercicio para el cálculo de un costo aproximado en la aplicación de la tecnología de ozonación en la potabilización de agua para abastecimiento potable de la planta potabilizadora “Los Berros”. Este ejercicio toma en cuenta muchas variables y aspectos implicados en un cálculo de costos más exactos en la aplicación de esta tecnología.

Cabe señalar que este ejercicio está basado en condiciones de operación: (Dosis, Tiempo de contacto y Flujo del agua a tratar), propiamente a nivel laboratorio, es necesario realizar un escalamiento a nivel planta con el fin de obtener un costo más exacto de la implementación de esta tecnología para la potabilización del agua, y así colocar en una balanza las mismas condiciones como: el tamaño de planta y el flujo del agua a potabilizar, para poder comparar este método con otro tratamiento basado en la eliminación de algas presentes en el agua.

Debido a que la aplicación de ozono en el tratamiento de agua en México es relativamente nuevo, no existen índices de costos locales. Por lo tanto se partirá de datos de 20 plantas construidas en Estados Unidos y Francia. Los parámetros necesarios para llevar a cabo la evaluación económica son la dosis, el tiempo de contacto y el flujo de agua a tratar.

El costo por metro cúbico de agua para la eliminación de algún contaminante, es la suma de los costos de capital más los de operación. Dentro de los costos de capital se encuentra la generación de ozono la cual incluye el tratamiento de aire, el equipo de generación y de destrucción de ozono, tuberías, válvulas, instrumentación, sistema de disolución de ozono (contactor), sistemas de control e instalación.

El porcentaje estimado para los componentes que integran los costos de capital, (A.W.W.A.1990) son:

- Equipo de generación 53%
 - Construcción 25%
 - Contactor 22%
- Total: 100%

Como costos de mantenimiento y operación.

- Potencia para el gas de alimentación, generación y sistemas de destrucción de ozono.
- Mano de obra para operar el equipo 24 hr/día
- Mantenimiento
- Enfriamiento

Los porcentajes estimados que presentan cada uno de los componentes de mantenimiento y operación son los siguientes:

Para pequeños sistemas (menos de 1.89 kg/h de ozono)

- Energía Eléctrica 22%
 - Mano de obra 38%
 - Mantenimiento 38%
 - Enfriamiento 2%
- Total: 100%

Para sistemas mayores de 1.89 kg/h de ozono.

- Potencia 75%
 - Mano de obra 5%
 - Mantenimiento 15%
 - Enfriamiento 5%
- Total: 100%

Se puede observar que el costo mayor para los sistemas grandes es el de potencia, (A.W.W.A 1990)

A partir de la Figura 20 es posible estimar el costo unitario de generación de ozono en \$USD/lb/día con base en los requerimientos de producción (lb/día o kg/h); ello incluye los costos de tratamiento de aire, generación de ozono, destrucción de ozono, tuberías, válvulas, instrumentación, difusores, sistemas de control e instalación.

En la Figura 20 se pueden observar 2 curvas, se recomienda utilizar la curva superior, ya que con ella la estimación es más real. Los círculos representan los costos para las plantas estadounidenses y los cuadros de las plantas francesas.

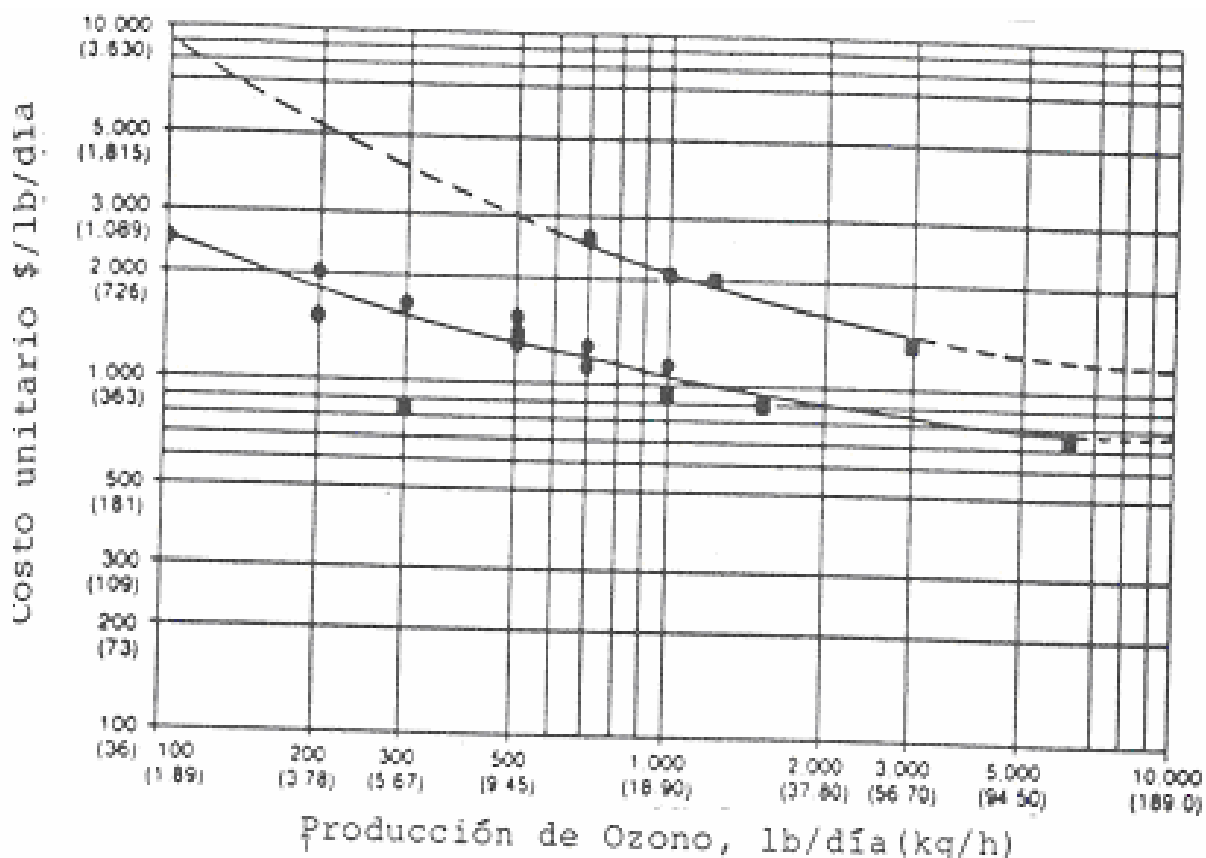


Fig. 20 Gráfica para estimar costos de capital.

La producción de ozono requerida por el proceso (capacidad a instalar) se puede calcular con la siguiente relación:

$$P = (Q_L)(D)(3.6)$$

Donde.

- P: Producción (k/h)
- Q_L: Flujo de agua a tratar (m³/h)
- D: Dosis (kg/m³)
- 3.6: Factor para convertir a kg/h

Con el dato de producción de ozono y utilizando la Figura 20 se obtiene el costo unitario para la producción de ozono. Posteriormente, aplicando los porcentajes estimados para los costos de capital es posible estimar el costo de capital total, al que hay que sumar los de mantenimiento y operación, ya que estos últimos se calculan partir de parámetros de operación anual; es decir, un flujo promedio anual una dosis promedio anual, las cuales deben inferiores a las del diseño.

Para obtener los costos de capital se aplica una depreciación del 15% de interés (IVA) a 20 años utilizando el método lineal propuesto por (Solanet et al., 1989) de acuerdo con la siguiente relación:

$$\text{Costo de capital anual} = \frac{Ct(i(1+i)^n)}{((1+i)^n - 1)}$$

Donde:

- Ct: Costo de capital total
- i: Interés (IVA)
- n: Número de años a amortizar

Para obtener los costos de mantenimiento y operación, se tiene que calcular el costo de Energía Eléctrica y los porcentajes anteriormente presentados. El costo de potencia se calcula de la siguiente forma:

$$CP (\$/h) = (P_M \text{ kw/h})(E_e \text{ kwh/kg})(CE\$/\text{kwh})$$

CP: costo de potencia

P_M: Producción promedio

E_e: Energía específica

CE: Costo de energía

5.1 Cálculos para estimar el costo de tratamiento del efluente de la planta potabilizadora.

PARAMETRO	CANTIDAD
Dosis	1.53 mg/L
Tiempo de contacto	3 minutos
Flujo de agua a tratar	10m ³ /s

$$\text{Capacidad a instalar} = (10 \text{ m}^3/\text{s}) \times (1.53\text{mg/L}) \times (1000\text{L}/\text{m}^3) \times (1\text{kg}/1000000\text{mg}) \times (3600\text{s}/\text{h}) = 82.8 \text{ kg/h}$$

Con este valor, obtenemos de la figura 20, el valor de 1400 dls/lb/día

$$(1400 \text{ dls/lb/día}) \times (24\text{h}/\text{día}) \times (1\text{lb}/0.4535\text{kg}) = 74090.40794 \text{ dls.h}/\text{día}$$

$$(74090.40794 \text{ dls. h}/\text{día}) \times (82.8\text{kg}/\text{h}) \times (10.50 \text{ dls}/\text{\$}) = \$64414200.66$$

El costo de generación anterior representa aproximadamente el 53 % de los costos de capital totales; y en base a este calculamos los costos para la construcción (25%) y el contactor (22%). La suma de los costos anteriores representa:

El costo de capital total = \$121536227.7

El costo de capital anual de calcula de la siguiente manera:

Costo de capital anual = $(\$121536227.7) \times (.15 (1+.15)^{20}) / ((1+.15)^{20}-1) = \19416089.79

CONCEPTO	COSTO
Costo de generación	\$64414200.66
Costo de construcción	\$30384056.92
Costo de contactor	\$26737970.09
Costo de capital total	\$121536227.7
Costo de capital anual	\$19416089.79

El tipo de cambio fue de 10.50 pesos por cada dólar.

Los costos de mantenimiento y operación se calculan a partir de los datos promedio que se presentan a continuación:

PARAMETRO	CANTIDAD
Dosis promedio	1.53mg/L
Tiempo de contacto	3 minutos
Flujo de agua a tratar	10 m ³ /s
Costo de energía eléctrica zona centro	\$0.6559/kwh
Energía específica	20 kwh/kgO ₃

Fuente: Comisión Federal de Electricidad (CFE).

Calculo del costo anual de potencia:

$(52.8\text{kg/h}) \times (20\text{kwh}) = 1656\text{kwh/h}$

$(1656\text{kwh/h}) \times (24\text{h/dia}) \times (365\text{dias/año}) \times (0.6559/\text{kwh}) = \9514852.704 anuales

El costo anterior representa aproximadamente el 75% de los costos totales de mantenimiento y operación y a base a este calculamos un 5% para el agua de enfriamiento, un 5% para mano de obra y un 15% para mantenimiento. La suma de los valores anteriores nos da el costo total de mantenimiento y operación.

Los costos obtenidos se presentan a continuación:

PARAMETRO	CANTIDAD
Costo anual de potencia	\$9514852.704
Costo de mantenimiento	\$1902970.541
Costo de agua de enfriamiento	\$634323.5136
Costo de mano de obra	\$634323.5136
Costo total anual de M y O	\$26,848,364,75

5.2 Costo de aplicación de ozono por cada m³ de agua potable, para la eliminación de las algas en la planta potabilizadora “Los Berros”.

Si se divide los costos de capital anual y los costos de Mantenimiento (M) y Operación (O), anual entre el número de metros cúbicos a tratar al año obtenemos el costo por ozonar cada metro cúbico de efluente de la planta “Los Berros”.

$$10 \text{ m}^3/\text{s} = 315360000 \text{ m}^3/\text{año}$$

$$(\$19416089.79/\text{año}) / (315360000\text{m}^3/\text{año}) = 0.0615680 \text{ \$/m}^3$$

$$(\$12686470.27/\text{año}) / (315360000\text{m}^3/\text{año}) = 0.040222 \text{ \$/m}^3$$

$$\text{Total} = 0.1017 \text{ \$/m}^3$$

Nota: Tomando como base el anterior ejercicio, el costo por ozonar cada metro cúbico obtenido para el Influyente con una dosis de 13.2 y un tiempo de contacto de 30 minutos de agua es:

$$\text{Total} = 1.1241\text{\$/m}^3$$

El costo de mantenimiento y operación es principalmente función del costo de energía que varía por zona; por lo tanto, este valor puede cambiar de acuerdo a la zona geográfica del país.

CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES

El uso del ozono abatió la concentración de algas presentes en el influente y efluente del agua a tratar de la planta potabilizadora “Los Berros”, su alto poder oxidante hizo posible alcanzar una remoción del 100 %, y con ello paralelamente la eliminación del olor y sabor presentes en el agua, por lo que se pudo corroborar la hipótesis planteada en este trabajo.

Mediante la aplicación de ozono en el tratamiento del influente y efluente de la planta potabilizadora “Los Berros”, para la eliminación del olor y sabor producidos por la presencia de algas, es posible obtener agua que cumple los requisitos de calidad que especifica la NOM-127-SSA1-1994 Y LA organización mundial de la Salud (OMS), en relación a dichos parámetros.

Se determinaron las curvas de demanda de ozono para el influente y efluente del agua a tratar de la planta potabilizadora “Los Berros”. En el influente la demanda de ozono es mayor debido a la concentración de constituyentes (orgánicos e inorgánicos) presentes en el agua. En ambos casos (influyente y efluente) el mayor consumo de oxidante ocurre en los primeros minutos de ozonación (5 min), la demanda empieza a cubrirse a partir de los 10 minutos de aplicación continua de una concentración de ozono en fase gas de 1.32 mg/L y 1.53 mg/L, respectivamente. La concentración de ozono residual alcanzada en la fase líquida fue de 0.052 mg/L para el influente y de 0.01 mg/L para el efluente.

La presencia de algas fue determinada indirectamente por las concentraciones de clorofila “a”, “b”, “c1”+ “c2” las cuales fueron removidas con ozono. En el caso del influente con una dosis de 13,2 mg/L y un tiempo de contacto total de 30 minutos se puede llegar a obtener hasta el 95 % de remoción de la clorofila “a”, que equivalen a obtener un residual de 1.23 µg/L, cercana al límite permitido por la Organización Mundial de la Salud (OMS), como el nivel de alerta 1. Con respecto al efluente, la concentración inicial de clorofila “a” (1,3 µg/L), fue eliminada en su totalidad con una dosis de ozono de 2.3 mg/L y un tiempo de contacto de 6 minutos.

Los resultados obtenidos en este estudio con respecto a la dosis y tiempos de contacto para la eliminación de clorofila “a” son comparables con lo reportado en la literatura para otros metabolitos de algas relacionados con el olor y sabor en aguas naturales.

La remoción de clorofila “a” con ozono es un proceso relativamente rápido, que puede representarse como una cinética de pseudo-primer orden. La constante de velocidad de remoción aparente de clorofila “a”, obtenida gráficamente reporta un valor de $k = 0.0518 \text{ min.}^{-1}$.

Los números de umbrales de olor (NUO) y sabor (NUS) en el agua tratada con ozono fueron del orden de 1.4 para el influente y de 0 a 1 para el efluente, respectivamente.

Los costos estimados para remover la presencia de clorofila “a” en el efluente de la planta potabilizadora “Los Berros” con ozono son del orden de $0.1017 \text{ \$/m}^3$ y para el influente esta en el orden de $1.1241 \text{ \$/m}^3$ aproximadamente.

6.1 Limitaciones.

1.-Las cotizaciones fueron realizadas tomando como base lo expuesto por empresas extranjeras, ya que en México no existe información disponible para realizarlo. Además de ser solo un ejercicio llevado a cabo con el fin de conocer las variables más importantes involucradas en la determinación de un costo más real en la aplicación de este método.

2.-El estudio sobre el efecto del ozono en la eliminación de las algas de la planta “Los Berros” fue realizado fuera del proceso de potabilización en sus dos tipos de aguas influente y el efluente; es necesario realizar una serie de estudios en los cuales el método sea implementado dentro del proceso de potabilización.

3.-La determinación de la presencia de algas en el agua de la planta potabilizadora “Los Berros”, esta en función de la concentración de la clorofila “a”, ya que este tipo de metabolito o pigmento se encuentra en la mayoría de ellas además de mejorar los cálculos a seguir.

ANEXO 1

Equipo y esquema general del proceso de ozonación en el Instituto de Ingeniería de la UNAM.



Separador de aire.



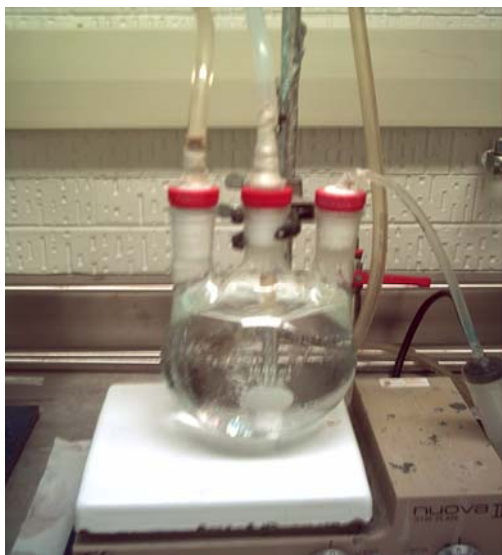
Generador de ozono.



Arreglo general del proceso de ozonación conformado por: reactor semicontinuo de capacidad 1 litro, 2 atrapadores de ozono con solución al de KI (2%), un controlador de flujo, y un destructor de ozono residual a la salida.

Etapas en el proceso de ozonación.

Etapas del proceso en la determinación de ozono residual en el líquido.



1.-Montaje del reactor.



2.-Toma de muestra para evaluar la concentración del ozono residual en el líquido.



3.- Adición del reactivo Índigo 1.



4.-Toma de muestra para la determinación de ozono residual.



5.-Lectura de absorbancia en la evaluación de la concentración del ozono residual en el líquido.

Etapas del proceso en la determinación de ozono en fase gas a la salida.



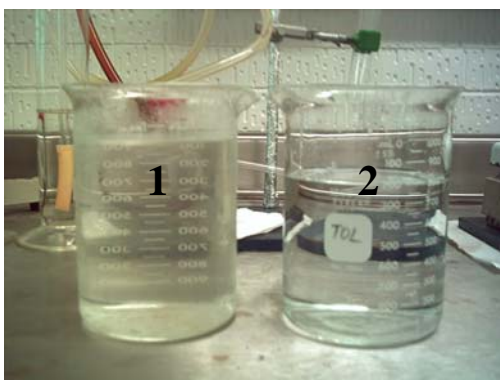
1.-Análisis de la solución de KI (2%) en la evaluación de la concentración de ozono a la salida.



2.- Acidificación con Acido sulfúrico 1 Normal en la determinación de la concentración de ozono gas a la salida.



Titulación de la muestra con Tiosulfato de Sodio 0.1N, en la determinación de ozono gas a la salida.



- 1.- Influyente de la planta potabilizadora los "Berros".
- 2.- Influyente después del tratamiento de ozonación a una dosis de 13.2 mg/L y un tiempo de contacto de 10 minutos. A temperatura de 20°C y pH de 7.5.



- 1.- Efluente de la planta los "Berros" después del tratamiento de ozonación a una dosis de 2.295 mg/L y un tiempo de contacto de 3 minutos. A temperatura de 20°C y pH de 7.5.

Determinación de los números umbrales de olor y sabor en el Influyente y efluente de la planta “Los Berros”.



1.- Determinación del número umbral de sabor, a una temperatura de 40°C y a pH de 7.5.



2.- Determinación del número umbral de olor, a una temperatura de 40°C y a pH de 7.5.

ANEXO 2

DIRECTRICES DE LA OMS PARA LA CALIDAD DEL AGUA POTABLE, ESTABLECIDAS EN GÉNOVA, 1993, SON EL PUNTO DE REFERENCIA INTERNACIONAL PARA EL ESTABLECIMIENTO DE ESTÁNDARES Y SEGURIDAD DEL AGUA POTABLE.

Elemento/sustancia	Símbolo/fórmula	Valores normales en aguas dulces/superficiales/subterráneas	Directriz de la OMS basada en la salud
Aluminio	Al		0,2 mg/l
Amonio	NH ₄	< 0,2 mg/l (hasta 0,3 mg/l en aguas anaeróbicas)	No hay directriz
Antimonio	Sb	< 4 µg/l	0.005 mg/l
Arsénico	As		0,01 mg/l
Asbestos			No hay directriz
Bario	Ba		0,3 mg/l
Berilio	Be	< 1 µg/l	No hay directriz
Boro	B	< 1 mg/l	0,3 mg/l
Cadmio	Cd	< 1 µg/l	0,003 mg/l
Cloro	Cl		250 mg/l
Cromo	Cr ⁺³ , Cr ⁺⁶	< 2 µg/l	0,05 mg/l
Color			No se menciona
Cobre	Cu		2 mg/l
Cianuro	CN ⁻		0,07 mg/l
Oxígeno disuelto	O ₂		No hay directriz
Fluor	F	< 1,5 mg/l (up to 10)	1,5 mg/l
Dureza	mg/l CaCO ₃		No hay directriz
Sulfuro de hidrógeno	H ₂ S		No hay directriz
Hierro	Fe	0,5 - 50 mg/l	No hay directriz
Plomo	Pb		0,01 mg/l
Manganeso	Mn		0,5 mg/l
Mercurio	Hg	< 0,5 µg/l	0,001 mg/l
Molibdeno	Mo	< 0,01 mg/l	0,07 mg/l
Níquel	Ni	< 0,02 mg/l	0,02 mg/l
Nitratos y nitritos	NO ₃ , NO ₂		50 mg/l nitrógeno total
Turbidez			No se menciona
pH			No hay directriz
Selenio	Se	<< 0,01 mg/l	0,01 mg/l
Plata	Ag	5 - 50 µg/l	No hay directriz
Sodio	Na	< 20 mg/l	200 mg/l
Sulfato	SO ₄		500 mg/l
Estaño inorgánico	Sn		No hay directriz
SDT			No hay directriz
Uranio	U		1,4 mg/l
Zinc	Zn		3 mg/l

Compuestos orgánicos.

Grupo	Sustancia	Fórmula	Directriz de la OMS basada en la salud	
Alkanos clorinados	Tetracloruro de carbono	$C Cl_4$	2 $\mu g/l$	
	Diclorometano	$C H_2 Cl_2$	20 $\mu g/l$	
	1,1-Dicloroetano	$C_2 H_4 Cl_2$	No hay directriz	
	1,2-Dicloroetano	$Cl CH_2 CH_2 Cl$	30 $\mu g/l$	
	1,1,1-Tricloroetano	$CH_3 C Cl_3$	2000 $\mu g/l$	
Etenos clorinados	1,1-Dicloroetano	$C_2 H_2 Cl_2$	30 $\mu g/l$	
	1,2-Dicloroetano	$C_2 H_2 Cl_2$	50 $\mu g/l$	
	Tricloroetano	$C_2 H Cl_3$	70 $\mu g/l$	
	Tetracloroetano	$C_2 Cl_4$	40 $\mu g/l$	
Hidrocarburos aromáticos	Benceno	$C_6 H_6$	10 $\mu g/l$	
	Tolueno	$C_7 H_8$	700 $\mu g/l$	
	Xilenos	$C_8 H_{10}$	500 $\mu g/l$	
	Etilbenzeno	$C_8 H_{10}$	300 $\mu g/l$	
	Estireno	$C_8 H_8$	20 $\mu g/l$	
	Hidrocarburos Polinucleares Aromáticos (PAHs)	$C_2 H_3 N_1 O_5 P_{1-3}$	0.7 $\mu g/l$	
Bencenos clorinados	Monoclorobenceno (MCB)	$C_6 H_5 Cl$	300 $\mu g/l$	
	Diclorobencenos (DCBs)	1,2-Diclorobenceno (1,2-DCB)	$C_6 H_4 Cl_2$	1000 $\mu g/l$
		1,3-Diclorobenceno (1,3-DCB)	$C_6 H_4 Cl_2$	No hay directriz
		1,4-Diclorobenceno (1,4-DCB)	$C_6 H_4 Cl_2$	300 $\mu g/l$
	Triclorobencenos (TCBs)	$C_6 H_3 Cl_3$	20 $\mu g/l$	
Constituyentes orgánicos misceláneos	Di(2-etilhexil)adipato (DEHA)	$C_{22} H_{42} O_4$	80 $\mu g/l$	
	Di(2-etilhexil)phtalato (DEHP)	$C_{24} H_{38} O_4$	8 $\mu g/l$	
	Acrilamida	$C_3 H_5 N O$	0.5 $\mu g/l$	
	Epiclorohidrin (ECH)	$C_3 H_5 Cl O$	0.4 $\mu g/l$	
	Hexaclorobutadieno (HCBd)	$C_4 Cl_6$	0.6 $\mu g/l$	
	Ácido etilendiamintetraacético (EDTA)	$C_{10} H_{12} N_2 O_8$	200 $\mu g/l$	
	Ácido nitrilotriacético (NTA)	$N(CH_2COOH)_3$	200 $\mu g/l$	
	Organo-estaños	Dialkil estaños	$R_2 Sn X_2$	No hay directriz
		Tributil óxido (TBTO)	$C_{24} H_{54} O Sn_2$	2 $\mu g/l$

Pesticidas.

Sustancia	Fórmula	Directriz de la OMS basada en la salud	
Alacloro	$C_{14}H_{20}ClN O_2$	20 µg/l	
Aldicarb	$C_7H_{14}N_2O_4S$	10 µg/l	
Aldrín y dieldrín	$C_{12}H_8Cl_6$ $C_{12}H_8Cl_6O$	0.03 µg/l	
Atracina	$C_8H_{14}ClN_5$	2 µg/l	
Bentazona	$C_{10}H_{12}N_2O_3S$	30 µg/l	
Carbofurano	$C_{12}H_{15}NO_3$	5 µg/l	
Clordano	$C_{10}H_6Cl_8$	0.2 µg/l	
Clorotolurón	$C_{10}H_{13}ClN_2O$	30 µg/l	
DDT	$C_{14}H_9Cl_5$	2 µg/l	
1,2-Dibromo-3-cloropropano	$C_3H_5Br_2Cl$	1 µg/l	
Ácido 2,4-Diclorophenoxiacético (2,4-D)	$C_8H_6Cl_2O_3$	30 µg/l	
1,2-Dicloropropano	$C_3H_6Cl_2$	No hay directriz	
1,3-Dicloropropano	$C_3H_6Cl_2$	20 µg/l	
1,3-Dicloropropeno	$CH_3CHClCH_2Cl$	No hay directriz	
Dibromuro de etileno (EDB)	$BrCH_2CH_2Br$	No hay directriz	
Heptacloro y epóxido de heptacloro	$C_{10}H_5Cl_7$	0.03 µg/l	
Hexaclorobenzeno (HCB)	$C_{10}H_5Cl_7O$	1 µg/l	
Isoproturón	$C_{12}H_{18}N_2O$	9 µg/l	
Lindano	$C_6H_6Cl_6$	2 µg/l	
MCPA	$C_9H_9ClO_3$	2 µg/l	
Metoxicloro	$(C_6H_4OCH_3)_2CHCCl_3$	20 µg/l	
Metolacloro	$C_{15}H_{22}ClNO_2$	10 µg/l	
Molinato	$C_9H_{17}NO_3S$	6 µg/l	
Pendimetalín	$C_{13}H_{19}O_4N_3$	20 µg/l	
Pentaclorofenol (PCP)	C_6HCl_5O	9 µg/l	
Permetrin	$C_{21}H_{20}Cl_2O_3$	20 µg/l	
Propanil	$C_9H_9Cl_2NO$	20 µg/l	
Piridato	$C_{19}H_{23}ClN_2O_2S$	100 µg/l	
Simacina	$C_7H_{12}ClN_5$	2 µg/l	
Trifluralín	$C_{13}H_{16}F_3N_3O_4$	20 µg/l	
Clorofenoxi herbicidas (excluyendo and MCPA)	2,4-DB	$C_{10}H_{10}Cl_2O_3$	90 µg/l
	Diclorprop	$C_9H_8Cl_2O_3$	100 µg/l
	Fenoprop	$C_9H_7Cl_3O_3$	9 µg/l
	MCPB	$C_{11}H_{13}ClO_3$	No hay directriz
	Mecoprop	$C_{10}H_{11}ClO_3$	10 µg/l
	2,4,5-T	$C_8H_5Cl_3O_3$	9 µg/l

Desinfectantes y subproductos de desinfectantes.

Grupo	Sustancia	Fórmula	Directriz de la OMS basada en la salud	
Desinfectantes	Cloraminas	$NH_nCl^{(3-n)}$, where $n = 0,$ 1 or 2	3 mg/l	
	Cloro	Cl_2	5 mg/l	
	Dióxido de cloro	ClO_2	No hay directriz	
	Yodo	I_2	No hay directriz	
Subproductos de desinfectantes	Bromato	$Br O_3^-$	25 μ g/l	
	Clorato	$Cl O_3^-$	No hay directriz	
	Clorito	$Cl O_2^-$	200 μ g/l	
	Clorofenoles	2-Clorofenol (2-CP)	$C_6 H_5 Cl O$	No hay directriz
		2,4-Diclorofenol (2,4-DCP)	$C_6 H_4 Cl_2 O$	No hay directriz
		2,4,6-Triclorofenol (2,4,6-TCP)	$C_6 H_3 Cl_3 O$	200 μ g/l
	Formaldehido	HCHO	900 μ g/l	
	MX (3-Cloro-4-diclorometil-5-hidroxi-2(5H)-furanona)	$C_5 H_3 Cl_3 O_3$	No hay directriz	
	Trihalometanos	Bromoformo	$C H Br_3$	100 μ g/l
		Dibromoclorometano	$CH Br_2 Cl$	100 μ g/l
		Bromodiclorometano	$CH Br Cl_2$	60 μ g/l
		Cloroformo	$CH Cl_3$	200 μ g/l
	Ácidos acéticos clorinados	Ácido monocloroacético	$C_2 H_3 Cl O_2$	No hay directriz
		Ácido dicloroacético	$C_2 H_2 Cl_2 O_2$	50 μ g/l
		Ácido tricloroacético	$C_2 H Cl_3 O_2$	100 μ g/l
	Hidrato clórico (tricloroacetaldehido)	$C Cl_3 CH(OH)_2$	10 μ g/l	
	Cloroacetonas	$C_3 H_5 O Cl$	No hay directriz	
	Acetonitrilos halogenados	Dicloroacetonitrilo	$C_2 H Cl_2 N$	90 μ g/l
		Dibromoacetonitrilo	$C_2 H Br_2 N$	100 μ g/l
		Bromocloroacetonitrilo	$CH Cl_2 CN$	No hay directriz
Tricloroacetonitrilo		$C_2 Cl_3 N$	1 μ g/l	
Cianuro de cloro	$Cl CN$	70 μ g/l		
Cloropicrina	$C Cl_3 NO_2$	No hay directriz		

Parámetros químicos.

Parámetro	Símbolo/fórmula	Valor paramétrico (mg/l)
Acrilamida	C ₃ H ₅ NO	0,0001
Antimonio	Sb	0,005
Arsénico	As	0,01
Benceno	C ₆ H ₆	0,001
Benzo(a)pireno	C ₂₀ H ₁₂	0,00001
Boro	B	0,001
Bromo	Br	0,01
Cadmio	Cd	0,005
Cromo	Cr	0,05
Cobre	Cu	2,0
Cianuro	CN =	0,05
1,2-dicloroetano	Cl CH ₂ CH ₂ Cl	0,003
Epiclorohidrin	C ₃ H ₅ OCl	0,0001
Fluor	F	1,5
Plomo	Pb	0,01
Mercurio	Hg	0,001
Níquel	Ni	0,02
Nitrato	NO ₃	50
Nitrito	NO ₂	0,50
Pesticidas		0,0001
Pesticidas - Total		0,0005
PAHs	C ₂ H ₃ N ₁ O ₅ P _{1 3}	0,0001
Selenio	Se	0,01
Tetracloroetano y tricloroetano	C ₂ Cl ₄ /C ₂ HCl ₃	0,01
Trihalometanos - Total		0,1
Cloruro de vinilo	C ₂ H ₃ Cl	0,0005

Parámetros indicadores.

Parámetro	Símbolo/fórmula	Valor paramétrico
Aluminio	Al	0,2 mg/l
Amonio	NH ₄	0,50 mg/l
Cloruro	Cl	250 mg/l
<i>Clostridium perfringens</i> (incluyendo esporas)		0/100 ml
Color		Aceptable para los consumidores y sin cambios anormales
Conductividad		2500 μS/cm a 20°C
Concentración de protones	[H ⁺]	≥ 6,5 y ≤ 9,5
Hierro	Fe	0,2 mg/l

Manganeso	Mn	0,05 mg/l
Olor		Aceptable para los consumidores y sin cambios anormales
Oxidabilidad		5,0 mg/l O ₂
Sulfato	SO ₄	250 mg/l
Sodio	Na	200 mg/l
Sabor		Aceptable para los consumidores y sin cambios anormales
Conteo de colonias a 22°		Sin cambios anormales
Bacterias coliformes		0/100 ml
Carbono Orgánico Total (TOC)		Sin cambios anormales
Turbidez		Aceptable para los consumidores y sin cambios anormales
Tritio	H ₃	100 Bq/l
Dosis total indicativa		0,10 mSv/año

Parámetros microbiológicos.

Parámetro	Valor paramétrico
<i>Escherichia coli (E. coli)</i>	0 en 250 ml
<i>Enterococci</i>	0 en 250 ml
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	0 en 250 ml
Conteo de colonias a 22°C	100/ml
Conteo de colonias a 37°C	20/ml

Comparación de los estándares europeos con los estándares de la OMS.

	<i>Estándares de la OMS 1993</i>	<i>Estándares europeos 1998</i>
<i>Sólidos suspendidos</i>	<i>No hay directriz</i>	<i>No se menciona</i>
<i>DQO</i>	<i>No hay directriz</i>	<i>No se menciona</i>
<i>DBO</i>	<i>No hay directriz</i>	<i>No se menciona</i>
<i>Oxidabilidad</i>		<i>5,0 mg/l O₂</i>
<i>Grasas/aceites</i>	<i>No hay directriz</i>	<i>No se menciona</i>
<i>Turbidez</i>	<i>No hay directriz⁽¹⁾</i>	<i>No se menciona</i>
<i>pH</i>	<i>No hay directriz⁽²⁾</i>	<i>No se menciona</i>
<i>Conductividad</i>	<i>250 microS/cm</i>	<i>250 microS/cm</i>
<i>Color</i>	<i>No hay directriz⁽³⁾</i>	<i>No se menciona</i>
<i>Oxígeno disuelto</i>	<i>No hay directriz⁽⁴⁾</i>	<i>No se menciona</i>
<i>Dureza</i>	<i>No hay directriz⁽⁵⁾</i>	<i>No se menciona</i>
<i>SDT</i>	<i>No hay directriz</i>	<i>No se menciona</i>
<i>cationes (iones positivos)</i>		
<i>Aluminio (Al)</i>	<i>0,2 mg/l</i>	<i>0,2 mg/l</i>

Amonio (NH ₄)	No hay directriz	0,50 mg/l
Antimonio (Sb)	0,005 mg/l	0,005 mg/l
Arsénico (As)	0,01 mg/l	0,01 mg/l
Bario (Ba)	0,3 mg/l	No se menciona
Berilio (Be)	No hay directriz	No se menciona
Boro (B)	0,3 mg/l	0,001 mg/l
Bromato (Br)	No se menciona	0,01 mg/l
Cadmio (Cd)	0,003 mg/l	0,005 mg/l
Cromo (Cr)	0,05 mg/l	0,05 mg/l
Cobre (Cu)	2 mg/l	2,0 mg/l
Hierro (Fe)	No hay directriz ⁽⁶⁾	0,2
Plomo (Pb)	0,01 mg/l	0,01 mg/l
Manganeso (Mn)	0,5 mg/l	0,05 mg/l
Mercurio (Hg)	0,001 mg/l	0,001 mg/l
Molibdeno (Mo)	0,07 mg/l	No se menciona
Níquel (Ni)	0,02 mg/l	0,02 mg/l
Nitrógeno total (N total)	50 mg/l	No se menciona
Selenio (Se)	0,01 mg/l	0,01 mg/l
Plata (Ag)	No hay directriz	No se menciona
Sodio (Na)	200 mg/l	200 mg/l
Estaño (Sn) inorgánico	No hay directriz	No se menciona
Uranio (U)	1,4 mg/l	No se menciona
Zinc (Zn)	3 mg/l	No se menciona
aniones		
(iones negativos)		
Cloruro (Cl)	250 mg/l	250 mg/l
Cianuro (CN)	0,07 mg/l	0,05 mg/l
Fluor (F)	1,5 mg/l	1,5 mg/l
Sulfato (SO ₄)	500 mg/l	250 mg/l
Nitrato (NO ₃)	(Ver Nitrógeno)	50 mg/l
Nitrito (NO ₂)	(Ver Nitrógeno)	0,50 mg/l
Parámetros		
microbiológicos		
Escherichia coli	No se menciona	0 en 250 ml
Enterococci	No se menciona	0 en 250 ml
Pseudomonas		
aeruginosa	No se menciona	0 en 250 ml
Clostridium		
perfringens	No se menciona	0 en 100 ml
Bacterias coliformes	No se menciona	0 en 100 ml
Conteo de colonias a 22°C	No se menciona	100/ml
Conteo de colonias a 37°C	No se menciona	20/ml
Otros parámetros		
Acrilamida	No se menciona	0,0001 mg/l
Benceno (C ₆ H ₆)	No se menciona	0,001 mg/l
Benzo(a)pireno	No se menciona	0,00001 mg/l
Dióxido de cloro (ClO ₂)	0,4 mg/l	
1,2-dicloroetano	No se menciona	0,003 mg/l

<i>Epiclorohidrín</i>	<i>No se menciona</i>	<i>0,0001 mg/l</i>
<i>Pesticidas</i>	<i>No se menciona</i>	<i>0,0001 mg/l</i>
<i>Pesticidas - Total</i>	<i>No se menciona</i>	<i>0,0005 mg/l</i>
<i>PAHs</i>	<i>No se menciona</i>	<i>0,0001 mg/l</i>
<i>Tetracloroetano</i>	<i>No se menciona</i>	<i>0,01 mg/l</i>
<i>Tricloroetano</i>	<i>No se menciona</i>	<i>0,01 mg/l</i>
<i>Trihalometanos</i>	<i>No se menciona</i>	<i>0,1 mg/l</i>
<i>Tritio (H3)</i>	<i>No se menciona</i>	<i>100 Bq/l</i>
<i>Cloruro de vinilo</i>	<i>No se menciona</i>	<i>0,0005 mg/l</i>

ANEXO 3. ESTÁNDARES DE LA NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-127-SSA1-1994.

TABLA 1

CARACTERISTICA	LIMITE PERMISIBLE
Organismos coliformes totales	Ausencia o no detectables
E. coli o coliformes fecales u organismos termotolerantes	Ausencia o no detectables

Las características físicas y organolépticas deberán ajustarse a lo establecido en la Tabla 2.

TABLA 2

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

El contenido de constituyentes químicos deberá ajustarse a lo establecido en la Tabla 3. Los límites se expresan en mg/l, excepto cuando se indique otra unidad.

TABLA 3

CARACTERISTICA	LIMITE PERMISIBLE
Aluminio	0,20
Arsénico (Nota 2)	0,05
Bario	0,70
Cadmio	0,005
Cianuros (como CN-)	0,07
Cloro residual libre	0,2-1,50
Cloruros (como Cl-)	250,00
Cobre	2,00
Cromo total	0,05
Dureza total (como CaCO ₃)	500,00
Fenoles o compuestos fenólicos	0,3
Fierro	0,30
Fluoruros (como F-)	1,50

Hidrocarburos aromáticos en microgramos/l:	
Benceno	10,00
Etilbenceno	300,00
Tolueno	700,00
Xileno (tres isómeros)	500,00
Manganeso	0,15
Mercurio	0,001
Nitratos (como N)	10,00
Nitritos (como N)	1,00
Nitrógeno amoniacal (como N)	0,50
pH (potencial de hidrógeno) en unidades de pH	6,5-8,5
Plaguicidas en microgramos/l:	
Aldrín y dieldrín (separados o combinados)	0,03
Clordano (total de isómeros)	0,20
DDT (total de isómeros)	1,00
Gamma-HCH (lindano)	2,00
Hexaclorobenceno	1,00
Heptacloro y epóxido de heptacloro	0,03
Metoxicloro	20,00
2,4 – D	30,00
Plomo	0,01
Sodio	200,00
Sólidos disueltos totales	1000,00
Sulfatos (como SO ₄ =)	400,00
Sustancias activas al azul de metileno (SAAM)	0,50
Trihalometanos totales	0,20
Yodo residual libre	0,2-0,5
Zinc	5,00

El contenido de constituyentes radiactivos deberá ajustarse a lo establecido en la Tabla 4. Los límites se expresan en Bq/l (Becquerel por litro).

TABLA 4

CARACTERISTICA	LIMITE PERMISIBLE Bq/l
Radiactividad alfa global	0,56
Radiactividad beta global	1,85

BIBLIOGRAFIA

Carlos Díaz Delgado y Danilo Antón. (2000) “Sequía en un mundo de agua” Editores Piriguazú ediciones y CIRA-UAEM, Costa Rica, 411 p.

J. Rositano¹, G. Newcombe¹, B. Nicholson^{1M} and P. Sztajn². (2001) “OZONATION OF NOM AND ALGAL TOXINS IN FOUR TREATED WATERS” *Wat. Res.* Vol. 35 No.1 pp 23-32.

Lionel Ho, Gayle Newcombe, Jean- Philippe Croue. (2002) “Influence of the character of NOM on the ozonation of MIB and Geosmin. *Water Research.* Vol .36 pp 511-518.

Shala Lalezary, Massuond Pirbazari and Michael J. McGuire. March (1986). “Oxidation of Five Earthy-Musty Taste and Odor Compounds” *J. American Water Works Assoc. Research and Technology, Journal AWWA*, pp 62-69.

K. Hattori. (1988) “Water Treatment systems and Technology for the removal of Odor compounds.” *Water Sci. Techvol.* 20, No. 8/9, pp, 237-234.

Terashima K. (1988), “Reduction of musty odor substances in drinking water – a pilot plant study. *Water Sci. Techvol.* 20 No. 8/9 pp. 275-81.

Seoáñez Calvo, Mariano, Elena Bellas Velasco, Pilar Seoáñez Oliet. (2003) “Manual de tratamiento, reciclado, aprovechamiento y gestión de las aguas industriales agroalimentarias”.

Rolf A. Deininger, Janice Skadsen, Larry Sanford, Anthony G. Myers (1992) “Desinfección de agua con ozono Simposio regional sobre calidad del agua: desinfección efectiva” / Lima Buffin, Lisa Webster. “Treatment of Algae-Induced Tastes and Odors by Chlorine, Chlorine Dioxide and Permanganate” Master of Science Thesis, Virginia Tech.

Everpure, Inc., “SURFACE WATER TREATMENT, H₂O₂. COM ISSUES OF WATER QUALITY”, Vol. 9 (1997)

Hoehn, Robert C. (1996). “Water and Wastewater Treatment Design Course Notes”. Spring.

Greenberg, A., Clesceri, L., Eaton, a ed. (1992). “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater”. American Public Health Association

Rashash, D., Hoehn, R., Dietrich, A., Grizzard, T., Parker, B. (1996). “Identification and Control of Odorous Algal Metabolites”. AWWA Research Foundation and American Water Works Association.

Alex A. Yavich, Kyung-Hyuk Lee, Kuan-Chung Chen, Lars Pape and Susan J. Masten (2004). "Evaluation of biodegradability of NOM after ozonation"

Water Science and Technology Vol. 40 No. 6 pp 209-216 IWA Publishing.

CESPEDES. (1999) "Competitividad y Protection Ambient: Iniciativa Estratégica del Sector Industrial Mexicano".

CESPEDES. (2000). "Economía, Instituciones y Cambio Climático: Contexto y Bases para una Estrategia Mexicana".

CÉSPEDES. (2001). "Índice de Sustentabilidad Ambiental para las Entidades Federativas de México".

Chapman, L.E. & Wilcox. L.W. (1979). "Algae". Journal of General Microbiology Vol. 111 pp. 1-61

.K. Avery, A. Lemley y A.G. Hornsby (2003).
"Cryptosporidium: Un Patógeno Transmitido por el Agua".

Milton Sommerfeld August (2002) "Reducing Taste and Odor and Other Algae-Related Problems for Surface Water Supplies in Arid Environments" .

Rolf A. Deininger (1998). "OZONO"

Dra. Maria Teresa Orta Ledesma, Junio de (2000) "Desinfección para sistemas de agua potable y saneamiento. Desinfección. Manual de agua potable y alcantarillado". Subdirección General Técnica, Gerencia de Ingeniería Básica y normas técnicas. Comisión Nacional del Agua (*MOrtaL@iingen.unam.mx*). Instituto de Ingeniería (UNAM).

Dr. Ignacio Monje Ramírez, Rosario Rosaura Gutiérrez Castro (2000) "Eliminación de color en lixiviados de rellenos sanitarios por oxidación química con ozono y peroxide de hidrogeno----Fe⁺³" Instituto de Ingeniería (UNAM).

Rojas-Valencia, M.T. Orta-de-Velásquez, M. Vaca-Mier and V. Franco (2004) "Ozonation by-products issued from the destruction of microorganisms present in wastewaters treated for reuse M.N" Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México. Water Science and Technology Vol 50 No 2 pp 187-193 © IWA Publishing.

Dra. Maria Teresa Orta Ledesma, Juan Manuel Altamirano Corro, Abril del (1997) "Mejoramiento mediante ozono del proceso de coagulación-floculación en un tratamiento físico químicos para aguas residuales Instituto de Ingeniería (UNAM)".

APHA. AWWA. WPCE. "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater", 19 th Ed. Washington D.C. 1995 and (1992).

Jaime Sainz Santamaría, Mariana Becerra Pérez, (2005)
“Los conflictos por agua en México”: Avances de investigación, Instituto Nacional de Ecología.

“EL SUMINISTRO DE AGUA DE LA CIUDAD DE MEXICO “
Mejorando la Sustentabilidad, National Research Council, Academia de la Investigación Científica, A.C. Academia Nacional de Ingeniería, A.C.
NATIONAL ACADEMY PRESS Washington, D.C. (1995)

OSHA (Administración Ocupacional de Seguridad y de la Salud)

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA)

Instituto Nacional de Ecología (INE)

M.I. David Gómez Salas; Ingeniería ambiental, pag6 año13, num.53 enero-febrero (2002).

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI)

Jaime Sainz Santamaría, Mariana Becerra Pérez, Instituto Nacional de Ecología 2002

Organización Panamericana de la Salud, (OPS)

Organización Mundial de la Salud (OMS)

Agua latina americana Tratamiento de Aguas Residuales en Latinoamérica –
Identificación del Problema por Kelly A. Reynolds, MSPH, Ph.D. septiembre/octubre (2002): Volumen 2, Número 5

Agua Latinoamericana mayo/junio (2003): Volumen 3, Número 3, ONU clasifica el agua mundial por Peter Cornelius, del Foro Mundial de Economía, y Daniel Estay, catedrático clínico de ley y política ambiental en la Universidad de Yale.
Métodos Normalizados para el análisis de agua potables y residuales DIAZ DE SANTOS, (1992).

United States Office of Water EPA 832-F-99-063
Environmental Protection Agency Washington, D.C. Septiembre de (1999)

OPS, OMS. (1996). “La calidad del agua potable en América Latina. Ponderación de los riesgos microbiológicos contra los riesgos de los subproductos de la desinfección química”. Washington D. C.: Ilsi Press.

Las siguientes paginas WEB:

-Fondo Educación Ambiental, AGUA.ORG.MX El Centro Vrtual de Información del Agua es una iniciativa del Fondo Educación Ambiental, A.C. (FEA), el Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza, A.C. y es auspiciado por la Fundación Gonzalo Río Arronte.

-Agua de la ciudad de México www.df.gob.mx

-De Wikipedia, la enciclopedia libre <http://es.wikipedia.org/wiki/Clorofila>

-www.biologiamarina.com/dev/projects/algas.asp

-Hidritec, tecnología y Gestión de recursos Hídricos, 82005)

-BIBLIOTECA DOMINICO-VIRTUAL <http://www.bibliotecavirtual.com.do>

-Lentech (2006)

- www.funam.org.mx

-Jesús salas y Carlos garrido (1997-2006) España

-Mario Andrés Osorio latino_and@hotmail.com

-Las algas microscópicas y su efecto sobre el ambiente por Carlos Prósperi

www.funam.org.ar

-www.int-ozone-assoc.or