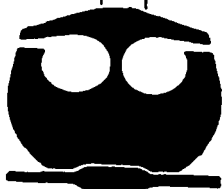


UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

SUBPRODUCTOS DE CLORACIÓN (TRIHALOMETANOS) Y PARÁMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS EN AGUA DE LA CIUDAD DE MÉXICO

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
Q U Í M I C A
P R E S E N T A:
BRIANDA BARRIOS LÓPEZ



FACULTAD DE QUÍMICA

MÉXICO, D.F.



EXAMENES PROFESIONALES
FACULTAD DE QUÍMICA

2002



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Paginación

Discontinua

JURADO ASIGNADO

PRESIDENTE	SANTIAGO CAPELLA VIZCAÍNO
VOCAL	ERNESTINA CERVERA FLORES
SECRETARIO	FRANCISCO ROJO CALLEJAS
1ER. SUPLENTE	JOSE ALEJANDRO BAEZA FLORES
2NDO. SUPLENTE	GEORGINA ARTEMISA DUARTE LISCI

El tema fue desarrollado en el:

Laboratorio de Ecología Química
Instituto de Ecología.
Universidad Nacional Autónoma de México.

ASESOR DEL TEMA



FRANCISCO ROJO CALLEJAS

SUPERVISORA TÉCNICA



MARISA MAZARI HIRIART

SUSTENTANTE



BRIANDA BARRIOS LÓPEZ

AGRADECIMIENTOS

- A todos los mexicanos que pagan sus impuestos y hacen posible que la mejor educación universitaria en México sea gratuita.
- Al proyecto “CONACYT:32505-T” CALIDAD MICROBIOLÓGICA Y QUÍMICA DEL AGUA EN SISTEMAS ACUÁTICOS DE LA CIUDAD DE MÉXICO, por su apoyo para esta tesis.
- Al Biólogo Jaime Dehesa S. y a la Delegación Xochimilco por el apoyo y las facilidades brindadas para la toma de muestras, y la realización de este proyecto de tesis.
- Al Sr. José Luis Pacheco por el apoyo y las facilidades brindadas para el transporte dentro de la zona de canales de Xochimilco.
- A los Sres. Operarios: Florencio Del Angel Antonio, Javier Gómez y a los demás operarios que en ausencia de los anteriores nos brindaron su apoyo.
- Al pasante Biólogo Raúl Monroy Durán por su apoyo en la toma de muestras.
- A la Bióloga Pilar Islas Macías, por el apoyo en campo y técnico en la toma de muestras en la zona de canales de Xochimilco y en los pozos de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. Además, por la realización de los análisis de los parámetros: Cloro residual, Carbono total y Carbono inorgánico.
- A Francisco Rojo Callejas y a Marisa Mazari Hiriart por sus consejos y asesorías.

**Te dedico a ti madre el resultado de mi sueño.
A ti Edgar, la obra de nuestra complicidad.
A Pame por creer siempre en mí.
A mis amigas: Rome, Angie, Alma, Walda
y Miroslawa por hacer inolvidable la
Universidad.
Por ser mi padre ...a ti.**

**SUBPRODUCTOS DE CLORACIÓN
(TRIHALOMETANOS) Y PARÁMETROS
FÍSICOS Y QUÍMICOS EN AGUA DE LA
CIUDAD DE MÉXICO.**

I.INDICE GENERAL

		página	
II	Indice de Figuras	ii	
III	Indice de Tablas	iv	
IV	Abreviaciones	vi	
V	Resumen	vii	
1	Objetivos e Hipótesis	1	
2	Introducción	2	
3	Generalidades	7	
	3.1	Zona de estudio	7
	3.2	Legislación en materia de agua	9
	3.3	Calidad del Agua	12
	3.3.1	Parámetros físicos	13
	3.3.2	Parámetros químicos	14
	3.4	Trihalometanos y sus efectos en la salud	19
	3.5	Instrumentos analíticos	22
	3.5.1	Cromatografía de gases	22
	3.5.2	Análisis del vapor confinado	22
	3.5.3	Analizador de Carbono Orgánico Total	23
4	Desarrollo Experimental	24	
	4.1	Programa de muestreo	24
	4.2	Equipo Analítico	25
	4.3	Metodología	26
	4.3.1	Procedimiento para la determinación de THM	26
	4.3.2	Condiciones de Operación del headspace y del cromatógrafo	27
	4.3.3	Procedimiento para la cuantificación de los parámetros fisicoquímicos	27
	4.3.3.1	Nitratos	27
	4.3.3.2	Amoníaco	29
	4.3.3.3	Cloro residual	31
	4.3.3.4	Carbono Orgánico Total	32
5	Resultados y Discusiones	35	
	5.1	Resultados	35
	5.2	Análisis de Resultados	48
6	Conclusiones	67	
7	Referencias	70	
8	Anexos	72	

II.INDICE DE FIGURAS

	Pág.
1 Curvas de calibración de THM para muestras de Xochimilco (Epoca de lluvias 2000).	42
2 Curvas de calibración de THM para muestras de Xochimilco (Epoca de lluvias 2000).	43
3 Curvas de calibración de THM para muestras de Pozos de extracción de la ZMCM (Epoca de lluvias 2000).	44
4 Cromatograma total de la mezcla de las soluciones estándares de los compuestos utilizados en una concentración de 100 ug/L.	46
5 Cromatograma de una muestra.	47
6 Tendencia del oxígeno disuelto en muestras de Xochimilco (Descargas de Plantas de Tratamiento)La línea horizontal señala el mínimo requerido para la sobrevivencia de los peces.	51
7 Tendencia del oxígeno disuelto en muestras de Xochimilco (Zona Turística) La línea horizontal señala el mínimo requerido para la sobrevivencia de los peces.	51
8 Tendencia del oxígeno disuelto en muestras de Xochimilco (Zona Lacustre) La línea horizontal señala el mínimo requerido para la sobrevivencia de los peces.	52
9 Tendencia del nitrógeno total en muestras de Xochimilco (Zona Lacustre). La línea horizontal marca el límite establecido por la NOM-001-ECOL-1997.	53
10 Tendencia del nitrógeno total en muestras de Xochimilco (Zona Turística). La línea horizontal marca el límite establecido por la NOM-001-ECOL-1997.	53
11 Tendencia del nitrógeno total en muestras de Xochimilco (Descargas de Plantas de Tratamiento) La línea horizontal marca el límite establecido por la NOM-001-ECOL-1997.	53
12 Tendencia del pH en muestras de Xochimilco (Zona Turística). NOM-001-ECOL-1997.	54
13 Tendencia del pH en muestras de Xochimilco (Descargas de Planta de Tratamiento) NOM-001-ECOL-1997.	54
14 Tendencia del pH en muestras de Xochimilco (Zona Lacustre). NOM-001-ECOL-1997.	54
15 Tendencia de los THMt en muestras de Pozos de extracción antes y después de cloración. La línea horizontal muestra el valor aceptado por la NOM-127-SSA1-1994.	55
16 Tendencia del cloro residual en muestras de Pozos de extracción antes y después de cloración. Las líneas horizontales muestran el intervalo aceptado por la	56

NOM-127-SSA1-1994.

17	Tendencia del nitrógeno amoniacal en muestras de Pozos de extracción antes y después de cloración, La línea horizontal muestra el valor aceptado por la NOM-127-SSA1-1994.	56
18	Tendencia de los nitratos en muestras de Pozos de extracción antes y después de cloración. La línea horizontal muestra el valor aceptado por la NOM-127-SSA1-1994.	57
19	Tendencia del pH en muestras de Pozos de extracción antes y después de cloración. Las líneas horizontales muestran el intervalo aceptado por la NOM-127-SSA1-1994.	57
20	Tendencia de la conductividad en muestras de Pozos de extracción antes y después de cloración.	58
21	Tendencia del oxígeno disuelto en muestras de Pozos de extracción antes y después de cloración.	59
22	Tendencia del COT en muestras de Pozos de extracción antes y después de cloración.	59
23	Muestras que cumplen con las especificaciones de la Norma NOM-127-SSA1-1994 de los Pozos después de la cloración (época de lluvias 2000).	60
24	Muestras que cumplen con las especificaciones de la Norma NOM-127-SSA1-1994 de los Pozos antes de la cloración (época de lluvias 2000).	60
25	Tendencia de que los THM encontrados son proporcionales al cloro residual en muestras de pozos antes del proceso de cloración	62
26	Tendencia de que los THM encontrados son proporcionales al cloro residual en muestras de pozos después del proceso de cloración.	63

III.INDICE DE TABLAS

	Pág.
1 Lista parcial de subproductos de cloración (SPC) en agua potable.	4
2 Límites permisibles de características químicas establecidos en la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 (Agua para uso y consumo humano;DOF 2000).	11
3 Límites máximos permisibles para contaminantes básicos (Embalses Naturales y Artificiales) de la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1997 (DOF,1997).	12
4 Olores característicos del agua.	14
5 Parámetros físicos y químicos en agua de los Canales de Xochimilco. Epoca de lluvias 2000.	36
6 Parámetros físicos y químicos en agua de Pozos de extracción de la ZMCM.Epoca de lluvias 2000.	37
7 Trihalometanos en agua de los Canales de Xochimilco. Epoca de lluvias 2000.	39
8 Trihalometanos en agua de Pozos de extracción de la ZMCM. Epoca de lluvias 2000.	40
9 Correlación lineal de las Curvas de calibración de los THM para las muestras colectadas en los Canales de Xochimilco. Epoca de lluvias 2000.	43
10 Correlación exponencial de las Curvas de calibración de los THM de las muestras colectadas en los Pozos de extracción de la ZMCM. Epoca de lluvias 2000.	44
11 Tiempo de retención y límite de detección para los THM.	45
12 Localización y cultivos de los canales de la Zona Lacustre de Xochimilco.	49
13 Localización y características de los canales de la Zona Turística de Xochimilco.	50
14 Localización y características de las Descargas de las Plantas de Tratamiento de Xochimilco.	51
15 Porcentajes relativos de cada THM en el total de THMt encontrados en las muestras colectadas en los Pozos de extracción de la ZMCM antes del proceso de cloración.	61
16 Porcentajes relativos de cada THM en el total de THMt encontrados en las muestras colectadas en los Pozos de extracción de la ZMCM después del proceso de cloración.	62
17 Regresión Múltiple de los resultados obtenidos de las muestras colectadas en los Canales de Xochimilco: Zona Lacustre, Zona Turística y Descargas de Plantas de Tratamiento.(Origin, 2001)	64
18 Regresión Múltiple de los resultados obtenidos de las muestras colectadas en los Pozos de extracción de la ZMCM antes del proceso de cloración (Origin,2001)	65

IV. ABREVIACIONES

pH	Logaritmo de la concentración de iones de hidrógeno
CG	Cromatografía de gases
HS	Headspace
DCE	Detector de captura de electrones
PD	Procesador de datos
EPA	Environmental Protection Agency de los Estados Unidos de Norteamérica (Agencia de Protección Ambiental)
SPC	Subproductos de cloración
THM	Trihalometanos
THMt	Suma de las concentraciones de cloroformo, dibromoclorometano, diclorobromometano y bromoformo
HAN	Haloacetnitrilos
HC	Haloacetonas
HAA	Haloácidos
COT	Carbono orgánico total

V. RESUMEN

En el presente trabajo se realizó el análisis cuantitativo de compuestos halogenados conocidos como trihalometanos, específicamente cloroformo, diclorobromometano, dibromoclorometano y bromoformo y la determinación de otros parámetros físicos y químicos como son: la temperatura, conductividad, pH, oxígeno disuelto, amoníaco, nitratos, cloro residual y carbono orgánico total en agua de los canales de Xochimilco, así como del sistema de pozos de extracción de agua potable de la zona Metropolitana de la Ciudad de México.

Los trihalometanos son compuestos orgánicos volátiles, por lo que se consideró utilizar la técnica "headspace" que es muy utilizada para el análisis de contaminantes de este tipo en muestras acuosas. Esta técnica, aunada a un sistema de cromatografía de gases con detector de captura de electrones y procesador de datos proporciona un método de análisis que permite identificar y cuantificar compuestos orgánicos halogenados en muestras acuosas a bajos niveles de concentración.

Para medir las características físicas y químicas del agua como son pH, amoníaco, nitratos y cloro residual se utilizaron electrodos combinados sensibles a cada uno de ellas, y para la determinación de carbono orgánico total se uso un analizador de carbono orgánico total.

Los resultados muestran concentraciones de trihalometanos entre $0.0443\mu\text{g/L}$ y $250.6840\mu\text{g/L}$. El análisis estadístico muestra que el cloro residual es muy importante para la formación de los trihalometanos, lo que no se controla adecuadamente.

OBJETIVOS E HIPÓTESIS

Objetivos.

- **Cuantificar los trihalometanos y determinar otros parámetros como temperatura, pH, conductividad, oxígeno disuelto, amoníaco, nitratos, cloro residual, carbono orgánico total en el sistema de canales de Xochimilco, así como en el sistema de pozos de extracción de agua para uso y consumo humano de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM).**
- **Relacionar los datos obtenidos en la determinación de cloro residual, amoníaco, nitratos, pH, temperatura, conductividad, oxígeno disuelto, carbono orgánico total en la formación de THM**
- **Determinar si el agua potable de la ZMCM cumple con las regulaciones de agua para uso y consumo humano.**

Hipótesis.

Descubrir si en el agua de Xochimilco y en los pozos de extracción de agua de la ZMCM existen las condiciones necesarias para la formación de trihalometanos.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años se ha estudiado intensamente la presencia de trazas de compuestos orgánicos en el agua potable y sus efectos adversos en la salud. Desde la década de los cincuenta se sospechó que la presencia de compuestos cancerígenos en el agua de ríos y fuentes de abastecimiento de agua potable, se debía a las descargas de los desechos industriales [1].

En 1972, la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) identificó 46 compuestos orgánicos tóxicos, cancerígenos potenciales, en el agua potable de tres comunidades a lo largo del Río Mississippi en Louisiana y en 1974 identificó 66 compuestos orgánicos en el agua potable de Nuevo Orleans. Coleman *et al.* encontró más de 460 compuestos orgánicos en el agua de Cincinnati, Ohio. Los compuestos que fueron identificados incluían 41 compuestos aromáticos polinucleares, 15 bifenilos policlorados y una gran cantidad de aminas, amidas y otras especies halogenadas. Actualmente se han identificado más de 110 compuestos orgánicos en el agua potable, en niveles de $\mu\text{g/L}$. Muchos de estos agentes contaminantes orgánicos son disolventes orgánicos que llegaron al agua potable a través de descargas industriales, efluentes del sistema de alcantarillado, derrames y accidentes, fugas en tanques de almacenamiento de sustancias tóxicas y fertilizantes. Además, se ha encontrado que se forman compuestos cancerígenos durante el proceso de desinfección del agua [2-3].

Desde su introducción en 1908, se ha utilizado el cloro para prevenir la transmisión de enfermedades infecciosas a través del agua; pero recientemente ha sido reportado como contribuyente de agentes contaminantes orgánicos en el agua potable. A partir de 1974, se viene cuestionando la validez del cloro como desinfectante de agua para consumo humano, no por su reconocido poder bactericida, sino a causa de la formación de cloroformo y metanos cloro-bromados en el agua tratada [4], además de la formación de metanos trihalogenados después de la cloración de la misma [5].

Los procesos utilizados para la desinfección implican cloración y cloraminación. Es decir, la adición de sales de cloro y amoníaco como hipoclorito de sodio y monocloraminas al agua. Aunque con estos procesos se obtiene agua libre de microorganismos, se han considerado creadores de problemas en el agua potable como son: formación de cancerígenos y alteraciones en el olor, color, sabor y claridad [6].

Gran cantidad de plantas potabilizadoras de agua, tanto en México como en otros países, utilizan cloro para desinfectar el agua para consumo humano. El cloro adicionado puede reaccionar, tanto en el momento que es añadido como después de su hidrólisis en agua como ácido hipocloroso, con la materia orgánica natural presente en el agua, como los ácidos húmicos y fúlvicos, formando compuestos orgánicos halogenados. Estos compuestos se conocen como subproductos de cloración (SPC). Los SPC incluyen trihalometanos (THM), haloacetónitrilos (HAN), halocetonas (HC), cloropicrin (CP) y haloácidos (HAA) [7].

Si el agua a tratar contiene además nitrógeno orgánico o amoníaco libre, se forman dicloraminas y tricloraminas, que producen olores en el agua y se ha discutido la posibilidad de que sean también agentes cancerígenos. Si el agua contiene pequeñas

cantidades de fenoles se forman, por la adición de cloro, los denominados clorofenoles que producen en el agua olores y sabores desagradables que a concentraciones del orden de 0.01 mg/L la hacen inaceptable para el consumo humano.[8] En la Tabla 1 se presenta una lista parcial de subproductos de cloración.

Tabla 1. Lista parcial de subproductos de cloración (SPC) en agua potable[9].

<p style="text-align: center;">Hidroxifuranonas cloradas</p> <p>3-cloro-4-(diclorometil)-5-hidroxy-2(5H)-furanona E-2-cloro-3-(diclorometil)-4-ácido oxobutenoico</p>	<p style="text-align: center;">Haloaldehídos</p> <p>Cloroacetaldehído Dicloroacetaldehído Tricloroacetaldehído</p>
<p style="text-align: center;">Clorofenoles</p> <p>2,4-Diclorofenol 2,4,6-Triclorofenol 2-Hidroxilclorofenol</p>	<p style="text-align: center;">Halocetonas</p> <p>1,1,1-Tricloropropanona 1,1,3,3-Tetracloropropanona Hexacloropropanona 1,1-Dicloropropanona</p>
<p style="text-align: center;">Haloacetónitrilos</p> <p>Dicloroacetónitrilo Dibromoacetónitrilo Bromocloroacetónitrilo Tricloroacetónitrilo</p>	<p style="text-align: center;">Trihalometanos</p> <p>Cloroformo Bromoformo Dibromoclorometano Bromodiclorometano</p>
<p style="text-align: center;">Haloácidos</p> <p>Acido monocloroacético Acido dicloroacético Acido tricloroacético Acido monobromoacético Acido dibromoacético</p>	<p style="text-align: center;">Cloraminas</p> <p>Cloropicrin Cloruro de cianógeno Bencenos halogenados</p>

En México se inició la desinfección del agua potable para controlar la calidad bacteriológica a partir de 1937. Las primeras determinaciones sobre la calidad física, química y bacteriológica del agua se realizaron a partir de 1935, haciéndose más frecuentes y sistemáticas desde la década de los cincuenta[10]

A partir de 1978 se puso en operación el Sistema de Información y Vigilancia de la Calidad del Agua (SIVCA), con el cual se busca que el sistema de agua potable funcione eficientemente desde el punto de vista sanitario, con el propósito de reducir al máximo la probabilidad de una posible contaminación, mediante la permanente vigilancia de la calidad del agua que es suministrada[10]

También en 1978 se constituyó la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica (DGCOH) en el Departamento del Distrito Federal. Dentro de su organigrama se creó la Dirección Técnica y la Subdirección de Desarrollo Tecnológico. Esta subdirección está integrada a su vez por unidades departamentales: Laboratorio Central de Control de la Calidad del Agua, encargado de la vigilancia de la calidad del agua y Usos del Agua y Efectos en la Salud, donde se realizan los estudios de investigación y desarrollo tecnológico aplicado al tratamiento de agua residual y a la potabilización[11].

En esta dependencia así como en otras dependencias gubernamentales se realiza la determinación de parámetros físicos y químicos del agua potable. Su metodología de análisis está basada en las determinaciones por vía húmeda: espectrofotometría ultravioleta visible, gravimetría, volumetría, comparación visual, análisis por inyección de flujo, electrodos de ión específico, así como por cromatografía. Esta última se utiliza para

identificar y cuantificar compuestos orgánicos volátiles en agua potable, residual y residual tratada[11].

Con el interés de contribuir en aspectos de calidad del agua desde el punto de vista físico-químico y bacteriológico se inició un proyecto sobre el estudio de dichas características en el agua de la ZMCM. Esta tesis forma parte de dicho proyecto. Se espera que el análisis de estos puntos en conjunto permita sugerir algunos cambios en los procedimientos establecidos tanto a escala local como a nivel federal para la actualización y modernización de las normas de agua para uso y consumo humano.

GENERALIDADES

3.1 Zona de estudio

El sistema de agua potable de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México se integra por las fuentes internas (pozos) que suministran el 71% del caudal total, externas (Lerma y Cutzamala) de las cuales se extrae el 29% restante, así como por distintos componentes de la infraestructura que permiten obtener, conducir, regular y distribuir hasta los domicilios el caudal que requieren los diversos usuarios de la ciudad. En conjunto las fuentes proporcionan $67 \text{ m}^3/\text{s}$. Se suministra al Distrito Federal 52 % del caudal y 48% a los municipios conurbados del Estado de México[12].

La infraestructura hidráulica es operada, según su ámbito territorial, por la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica (DGCOH) del Gobierno del Distrito Federal, la Comisión de Aguas del Estado de México, la Gerencia Regional de Aguas del Valle de México de la Comisión Nacional del Agua, además de los organismos operadores de los municipios conurbados y de algunas empresas privadas para satisfacer sus propios requerimientos[12].

La demanda actual en la ZMCM es de $72 \text{ m}^3/\text{s}$; de los cuales $37 \text{ m}^3/\text{s}$ corresponden al Distrito Federal y $35 \text{ m}^3/\text{s}$ al Estado de México con un déficit total de $5 \text{ m}^3/\text{s}$. Debido a las condiciones de la infraestructura, la distribución del recurso no es equitativa, dando lugar a dotaciones diferenciales entre municipios y delegaciones [12].

Entre 1905 y 1914 se construyeron las cajas de agua, bombas y red hidráulica para conducir el agua de los manantiales de Xochimilco a la Ciudad de México, lo que propició el agotamiento de éstos y el consecuente impacto negativo en las actividades piscícolas y comerciales de la región[12].

El clima predominante en Xochimilco es templado subhúmedo con una temperatura media anual de 16 ° C y una precipitación media anual entre 700 y 900 mm al año. Existen aún vestigios de su antigua conformación lacustre al tener 189 km de canales, los cuales, sin embargo, ya no son alimentados por manantiales sino por plantas de tratamiento ubicadas en el Cerro de la Estrella y en el poblado de San Luis Tlaxialtemalco[12].

La calidad agrológica de los suelos, junto con la abundancia de agua, ha determinado en gran medida que una buena parte del suelo se utilice en actividades agropecuarias. Las zonas lacustres son las que se han visto más afectadas con el cambio de uso agrícola tradicional de las chinampas a otros usos tales como habitacional y pecuario, los cuales provocan nuevos problemas de saneamiento regional[12].

En la toma de muestras de esta tesis se seleccionaron al azar distintos puntos en la zona lacustre y turística de Xochimilco y en pozos de extracción de agua potable que fueran representativos de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. Se anexan dos mapas de ambas zonas (Anexo 1 y 2).

De acuerdo al programa de trabajo establecido, las muestras fueron tomadas en los diferentes puntos durante la época de lluvias (julio, agosto, septiembre y octubre del año 2000). En los pozos de agua potable cuando fue posible se tomó una muestra antes del proceso de cloración y otra después de clorar el agua. De esta manera, el total de sitios de muestreo fue de 94 (Xochimilco 42; pozos 52)

3.2 Legislación en materia de Agua.

En México el marco legal ambiental comprende: Disposiciones constitucionales, Leyes Federales y Leyes locales de protección al ambiente, Reglamentos Federales y Normas Oficiales Mexicanas, además de convenios y tratados internacionales.

Dentro de las disposiciones Constitucionales, se puede mencionar a los siguientes artículos:

Artículo 4. Establece el derecho a la salud.

Artículo 27. Se refiere a la tenencia de la tierra y recursos naturales.

Artículo 25. Plantea el desarrollo sostenible.

Artículo 73. Establece las facultades del Congreso de la Unión para legislar sobre aspectos ambientales.

Artículo 115. Establece las facultades de los municipios en materia ambiental.

La más importante de las leyes federales es la LGEEPA (Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al medio Ambiente). Mediante la cuál se reglamenta la preservación y restauración del equilibrio ecológico, además de la protección del medio ambiente en el territorio nacional; es una ley de orden público e interés social aprobada el 28 de enero de 1988, teniendo su última modificación el 13 de diciembre de 1996.

Consta de seis títulos, disposiciones generales, biodiversidad, aprovechamiento sustentable de elementos naturales, protección al ambiente, participación social e información ambiental y por último medidas de control y seguridad y sanciones. Cuenta además con reglamentos anexos como son:

1. Prevención y control de la contaminación de aguas
2. Protección del ambiente contra la contaminación por ruido
3. Prevención y control de la contaminación del mar por vertimiento de desechos y otros materiales.

Otras leyes federales son:

- Ley General de Salud
- Ley de Aguas Nacionales
- Ley de Obras Públicas
- Ley General de Asentamientos Urbanos
- Ley de Sanidad Fitopecuaria

La Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, "Salud Ambiental, Agua para uso y consumo Humano-Límites Permisibles de Calidad y Tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización" (DOF,1996) establece los límites permisibles de las características químicas del agua. En la tabla 3 se indican los intervalos para los compuestos de interés para este proyecto y tesis. Cabe aclarar que la modificación de la

NOM-127-SSAI-1994 fue publicada en octubre del 2000, posterior a la fecha de muestreo.

En este trabajo se cuantificó usando la norma vigente en ese momento (DOF,1996).

La Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1997 (Tabla 4), establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reutilicen en servicio público y bienes nacionales (D.O.F., 1998). Por esta razón las concentraciones de las características evaluados en este trabajo para la zona de Xochimilco fueron comparadas con los límites marcados por esta norma .

Tabla 2. Límites permisibles de características químicas establecidos en la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994.(Agua para uso y consumo humano; DOF, 2000)

Características	Límite permisible
Cloro residual libre (mg/L)	0.2-1.50
Nitratos (como N; mg/L)	10.00
Nitrógeno amoniacal (como N;mg/L)	0.50
pH (potencial de hidrógeno) en unidades de pH)	6.5-8.5
Trihalometanos totales (mg/L)	0.20

Tabla 3. Límites máximos permisibles para contaminantes básicos de la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1997 (Embalses Naturales y Artificiales; DOF, 1997).

Parámetros	Uso en riego agrícola
Temperatura °C	40
Grasas y Aceites(mg/L)	15
Materia Flotante(mg/L)	Ausente
Sólidos sedimentables (ml/L)	1
Sólidos suspendidos totales(mg/L)	75
Demanda Bioquímica de Oxígeno(mg/L)	75
Nitrógeno total(mg/L)	40
Fósforo total(mg/L)	20
pH (unidades de pH)	5.5-10.5

3.3 Calidad del Agua.

En épocas pasadas al evaluar la calidad del agua potable el consumidor dependía por completo de sus sentidos. Ciertos componentes del agua pueden afectar su apariencia, olor y sabor, y el consumidor evaluaba la calidad y aceptabilidad del agua basándose esencialmente en esos criterios. Se consideraba peligrosa y se rechazaba el agua que era muy turbia, tenía un color acentuado o un sabor desagradable. No obstante, hoy en día ya no podemos confiar por completo en nuestros sentidos cuando se trata de juzgar la calidad

del agua potable y la ausencia de efectos sensoriales negativos no garantiza la inocuidad de este elemento.

Los métodos que actualmente se usan en la química analítica, permiten la determinación de algunos de los numerosos componentes del agua, en especial, de los que pertenecen a la fracción orgánica, de forma mucho más sensible que la que era posible hace un decenio. Esto tiene particular importancia pues los progresos de la tecnología han llevado al empleo y eliminación de cantidades cada vez mayores de sustancias químicas orgánicas e inorgánicas que representan un riesgo potencial en la salud[13].

3.3.1 Parámetros físicos.

- Olor.

Los olores asociados con el agua usualmente resultan de la descomposición de materia orgánica, o en el caso de sustancias inorgánicas, por la reducción u oxidación de compuestos, por ejemplo la reducción de sulfatos por bacterias a ácido sulfhídrico en forma de gas. En la descomposición de la materia orgánica por las bacterias anaerobias se producen gases nocivos. Las fuentes de compuestos orgánicos incluyen restos de plantas y vegetales, animales muertos, microorganismos y descargas de aguas residuales[14,15].

Tabla 4. Olores característicos del agua[14].

Compuesto	Fórmula	Olor característico
Aminas	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_n\text{NH}_2$	Pescado
Amoniaco	NH_3	Amoniacal
Diaminas	$\text{NH}_2(\text{CH}_2)_n\text{NH}_2$	Carne en descomposición
Acido sulfhídrico	H_2S	Huevo podrido
Mercaptanos	$\text{CH}_3\text{SH}; \text{CH}_3(\text{CH}_2)_n\text{SH}$	Secreción de zorrillo
Sulfuros orgánicos	$(\text{CH}_3)_2\text{S}; \text{CH}_3\text{SSCH}_3$	Descomposición de col
Indoles	$\text{C}_8\text{H}_5\text{NHCH}_3$	Fecal

- Temperatura

La temperatura influye en las velocidades de las reacciones químicas y/o bioquímicas que se llevan a cabo en el agua. La solubilidad de los gases disminuye y la solubilidad mineral se incrementa con ésta. La velocidad de crecimiento y de respiración de los organismos acuáticos puede incrementarse o disminuir en base a ella, y muchos organismos se reproducen solo en ciertos intervalos de temperatura [14-16].

3.3.2 Parámetros químicos

- Conductividad

Cuando se aplica una diferencia de potencial a través de dos electrodos sumergidos en una disolución iónica, se produce un movimiento neto de los iones hacia uno u otro de los electrodos y hay una conducción de corriente eléctrica a través de la disolución. La conductividad de una disolución, que se debe a las contribuciones de los cationes y aniones,

depende del número de iones presentes. El agua destilada tiene una conductividad de 0.5-2 $\mu\text{S/cm}$, mientras que en el agua potable generalmente es de 50-1500 $\mu\text{S/cm}$ [14-17].

- pH

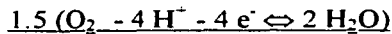
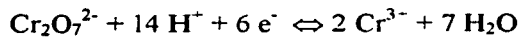
La concentración del ion hidrógeno en el agua es importante porque afecta múltiples reacciones químicas. Muchos sistemas biológicos funcionan solamente en intervalos relativamente pequeños de pH (típicamente 6.5 a 8.5) [14,16].

- Oxígeno disuelto

El oxígeno es requerido para la mayor parte de los organismos vivos, y la presencia o ausencia del oxígeno es probablemente uno de los factores más importante en la calidad del agua. Las reacciones de oxidación química y bioquímica que toman lugar en ambientes acuáticos tienen el objetivo de oxidar al carbón orgánico a CO_2 para producir energía (respiración aerobia). La solubilidad del oxígeno atmosférico en el agua depende principalmente de la presión, temperatura y el contenido de sales [14].

Hay dos mediciones muy importantes que se hacen para conocer la calidad del agua con respecto al oxígeno y son: *la demanda química de oxígeno y la demanda bioquímica de oxígeno*.

La *demandas química de oxígeno (DQOs)* se define como la cantidad de O_2 químicamente equivalente a la de dicromato consumido en un proceso de reflujos del agua contaminada durante dos horas con un exceso de dicromato patrón en una solución de ácido sulfúrico.



La *demanda bioquímica de oxígeno* (DBOs) mide la cantidad de oxígeno que se requiere para la degradación bioquímica de materia orgánica por microorganismos. La DBOs incluye el oxígeno requerido por especies tales como sulfuro y Fe^{2+} que pueden estar presentes en el agua. Se agregan inhibidores específicos para impedir la oxidación de especies nitrogenadas, como NH_3 . Para la medición se requiere incubar la muestra a 20°C por cinco días en la oscuridad, en un recipiente sellado sin espacios de aire. El oxígeno disuelto en la solución se mide antes y después de la incubación, la diferencia es la DBOs[18].

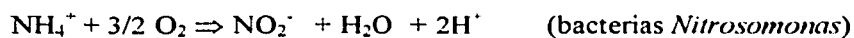
•Nitritos y Nitratos

El nitrógeno, un importante constituyente de las proteínas y los ácidos nucleicos, después del carbono y el oxígeno, es el elemento más requerido para un gran número de organismos. De los cientos de compuestos que contienen nitrógeno, los que son importantes en la calidad del agua son: amoníaco (NH_3), nitrito (NO_2^-), nitrato(NO_3^-), urea [$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$] y nitrógeno gas (N_2).

Los compuestos reducidos del nitrógeno (NH_4^+ , NH_3 , NO_2^-) pueden ser oxidados aeróbicamente por bacterias autótrofas, que usan los compuestos del nitrógeno como su fuente de energía y el CO_2 como fuente de carbono. En el proceso de nitrificación ocurren dos pasos. El primero, la oxidación de ion amonio al estado nitrito es realizada por bacterias del género *Nitrosomonas*, *Nitrosococcus*, *Nitrosospira*, *Nitrosocystis* y

Nitrosogluca. Estas bacterias pueden utilizar compuestos de carbono pero siempre requieren al amoníaco (NH₃) como fuente de energía. Las bacterias Nitroso son generalmente referidas como *Nitrosomonas*. La oxidación del nitrito al estado más oxidado del nitrógeno, nitrato, es realizado por bacterias del género *Nitrobacter*, *Nitrospira*, y *Nitrocystis*. Las bacterias oxidantes del nitrito son autótrofas facultativos, esto es, si el NO₂⁻ esta ausente, utilizarán compuestos de carbón como ácidos volátiles; estas bacterias son referidas como *Nitrobacter*[14-16].

La cantidad de colonias requeridas para los dos pasos es pequeña (menos de 0.05 g de células/g de N oxidado) y la estequiometría de las reacciones puede ser representada con bastante aproximación utilizando las siguientes ecuaciones:



Se puede observar la importancia de la demanda de oxígeno ya que 2 moles de O₂ son requeridos por cada mol de amonio oxidado (4.6 g O₂/ g N). La cinética de nitrificación no está bien documentada, pero es raro observar grandes cantidades de nitrito, y las medidas de velocidad de crecimiento reportadas para *Nitrobacter* son más altas que para *Nitrosomona*. El paso limitante de la velocidad de reacción parece ser el primero y afecta la conversión de amonio a nitrato. La adición del nitrógeno a la atmósfera es a través de otras bacterias conocidas como desnitrificantes.[14-16].

Los nitratos son uno de los principales iones en el agua natural. La concentración media del nitrato en la superficie del agua deben estar cerca de 1 a 2 mg/L. Si los nitratos están en cantidades excesivas pueden contribuir a la enfermedad infantil llamada metahemoglobinemia.. La metahemoglobinemia ocurre porque los nitratos son reducidos a nitrito en la saliva y el tracto digestivo. Esto ocurre en mayor grado en los infantes que en los adultos (x 100 veces) debido a condiciones más alcalinas en su tracto digestivo superior. El nitrito entonces oxida a la hemoglobina a metahemoglobina, la cual no puede actuar como transportador de oxígeno en la sangre. Pudiendo ocurrir asfixia y muerte. También los nitratos están relacionados con la formación de los compuestos cancerígenos nitrosaminas [15].

- Amoniaco

El NH_3 se encuentra en el agua en equilibrio con el NH_4^+ , es un compuesto muy tóxico para los peces, algunas veces siendo letal a 0.1 g/m^3 [14-16].

- Materia orgánica:

La cantidad de materia orgánica presente en el agua natural es baja. La fuente de la materia orgánica en el agua es producida cuando se caen las hojas, ramas y troncos de los árboles. Los ácidos húmicos son compuestos de una alta masa molecular derivados de la descomposición de plantas, se encuentran generalmente en el agua superficial. En la actualidad, tanto el agua superficial como el agua subterránea contiene materia orgánica de origen humano, como son: hidrocarburos, alcoholes y fenoles, éteres, compuestos halogenados, aldehidos y cetonas, ácidos carboxílicos, ésteres, aminas y amidas, etc.[14].

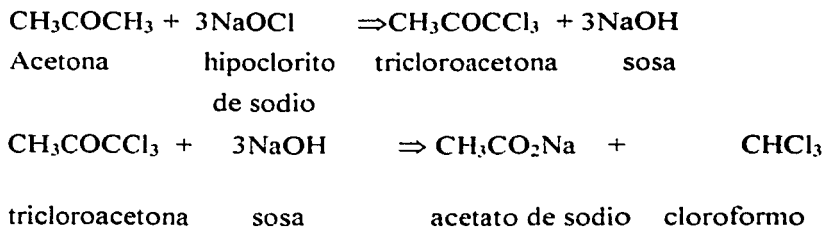
La presencia de materia orgánica en el agua trae consigo problemas por muchas razones, como son: formación de color, problemas de olor y sabor, reducción del oxígeno

disuelto, interferencia con los procesos de tratamiento de agua, y la formación de compuestos halogenados cuando el cloro es añadido para la desinfección del agua. Existe un gran número de compuestos sintéticos orgánicos que es posible detectar en el agua, pero en los que centramos nuestro interés son los **trihalometanos**.

3.4 Los trihalometanos y sus efectos en la salud

El cloro usado para la desinfección del agua potable puede reaccionar con sustancias orgánicas presentes en el agua para formar cloroformo y otros hidrocarburos clorados. Las sustancias orgánicas involucradas en las reacciones con el cloro son identificadas como *precursores*. La formación de THM y otros hidrocarburos clorados fue objeto de estudio debido a la sospecha que estos compuestos eran cancerígenos [14].

En general, los THM se forman cuando un miembro de la familia de los halógenos (comúnmente cloro, bromo y yodo) reacciona con sustancias orgánicas. Los principales THM encontrados en agua son: cloroformo, bromodiclorometano, dibromoclorometano y bromoformo. La formación de cloroformo es el resultado de la adición de cloro que se puede ilustrar con las siguientes reacciones:



En las reacciones anteriores, la acetona es el precursor orgánico en la formación del cloroformo, pero existe una enorme variedad de sustancias orgánicas de origen natural y humano que pueden servir como precursores[14].

La formación de los trihalometanos está en función de la concentración del precursor, tiempo de contacto, dosis de cloro y pH[13 , 15].

Entre 1974 y 1982, se reportaron estudios epidemiológicos en diferentes áreas de los Estados Unidos, incluyendo Lousiana, Ohio, Missouri, Kentucky, Nueva York, Massachusetts y Iowa. Los tipos de cáncer más comunes, asociados estadísticamente con varias mediciones de agua clorada, fueron en vesícula, estómago, colon y recto, esófago, hígado, páncreas, riñones y pulmón. Las mediciones de la exposición al agua incluían cálculos sobre las fuentes de suministro, prácticas de desinfección y datos actuales de la calidad del agua. En 1978 un subcomité de la Academia Nacional de Ciencias sobre la seguridad del agua potable en Estados Unidos anunció que los niveles de THM y cloroformo en agua potable estaban asociados con la mortalidad de cáncer y su incidencia [9,19].

Una propuesta alternativa para la identificación de productos cancerígenos potenciales en suministros de agua es el uso de estudios en animales a largo plazo [19-20].

Un estudio fue hecho en residentes que tenía edades entre 40 y 85 años, los cuales dieron su consentimiento. Se tenía un grupo de individuos (1,452) los cuales ya habían sido diagnosticados con cáncer durante 1986-1989 y un grupo control (2,164 individuos) el cual se escogió por azar con base a la lista de licencias de conducir de dicho estado, de este grupo de control se omitieron a personas que ya habían tenido algún tipo de diagnóstico de cáncer positivo o negativo (población total del estado 2.92 millones). Todos los pacientes llenaron un cuestionario el cual incluía información demográfica, tiempo de fumar, ocupación, estilo de vida, así como cuestionario médico. Se preguntó frecuencia de consumo de agua, dentro y fuera de la casa, tipos de bebidas consumidas (café, té, jugos,

aguas de frutas, sopas concentradas). Se calculó el tiempo de vida media de residencia en el último año así como la fuente del agua potable, como pozos privados o suministro comunitario. También se localizó geográficamente la fuente de agua de la casa y el empleo. Después se recolectaron dos muestras de agua antes del proceso de cloración y después de dicho proceso cerca de los sistemas de abastecimiento. Los resultados encontrados demuestran un incremento del cáncer de vejiga durante el uso de agua clorada, Pero el resultado más importante indica que el tiempo de exposición a los subproductos es más importante que la concentración de los subproductos [21].

La EPA anunció una disminución del nivel contaminante de los THMs en un 20% esto es a 80 $\mu\text{g/L}$, las nuevas reglas permitirán a la agencia estar regulando 3 de los compuestos sospechosos de causar cáncer: ácidos haloacéticos, compuestos bromados y clorados. Ya que muchos compuestos utilizados para desinfectar son también sospechosos de ser tóxicos a altas concentraciones, también se dan límites para las cantidades de cloro, cloraminas y dióxido de cloro utilizadas que pueden estar presentes en el agua potable[22].

Se han desarrollado muchos métodos para la medición de los trihalometanos. Muchos de estos son específicos para estos compuestos y otros son de un amplio espectro para compuestos halogenados:

A) Método de extracción líquido-líquido con cromatografía de gases y detector de electrones es altamente sensible y muy preciso para estos compuestos.

B) Método de purga-trampa con cromatografía de gases-espectrometría de masas puede detectar no solo THM sino también un amplio rango de compuestos.

C) Método de purga-trampa con cromatografía de gases con detector de electrones.

D) Método de inyección directa al cromatógrafo de gases con detector de electrones₂₁

Todos estos métodos tiene aproximadamente la misma sensibilidad para los trihalometanos, el método escogido depende de la disponibilidad del equipo[15].

3.5 Instrumentos analíticos.

3.5.1 Cromatografía de gases

La técnica de Cromatografía de Gases se utiliza para separar mezclas de compuestos volátiles [23]. Dichos compuestos volátiles son acarreados a través de una columna por un gas inerte conocido también como gas acarreador o fase móvil. Al mismo tiempo que la mezcla es llevada a través de la columna, ésta se distribuye entre el gas acarreador y un disolvente poco volátil o fase estacionaria [24].

La función de la fase estacionaria es la de retardar en forma selectiva los componentes de la muestra. De esta manera se generan bandas, las cuales son registradas en función del tiempo, a este registro se le denomina cromatograma, el cual es una relación de la concentración o perfil de masas de los componentes de la muestra como una función de la acción de la fase móvil.

El tiempo de retención de un compuesto puro es una constante bajo específicas condiciones, incluyendo la columna, temperatura y el flujo de velocidad usada.

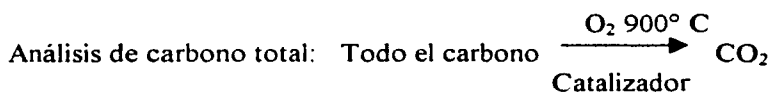
3.5.2 Análisis del vapor confinado

El "headspace analysis" o análisis del vapor confinado es un método indirecto en el cual la muestra se encuentra en un sistema cerrado y la fase vapor que se encuentra en equilibrio térmico con ella se analiza por cromatografía de gases. La distribución de los componentes en las dos fases depende de la temperatura, de la presión de vapor de cada

compuesto, de la influencia de la matriz sobre los coeficientes de actividades de los compuestos y de la relación de fase vapor/fase líquida o en su caso fase vapor/fase sólida.[18].

3.5.3 Analizador de Carbono Orgánico Total:

A menudo, la emisión de desechos industriales se caracteriza y regula con base en su contenido de carbono o demanda de oxígeno. El *carbono total* (CT) se define como la cantidad de CO₂ que se produce cuando una muestra se oxida por completo a alta temperatura:



Los analizadores comerciales en línea someten a este procedimiento muestras de 20 μL de agua y miden el CO₂ por absorción de infrarrojo o análisis coulombimétrico; el análisis completo requiere tres minutos. El carbono total incluye materia orgánica disuelta (llamada *carbono orgánico total*, COT) y carbonato y bicarbonato disueltos (llamados *carbono inorgánico*, CI). Por definición, CT= COT + CI

Para discriminar entre COT y CI, el pH de una muestra reciente se reduce a menos de 2 para convertir en CO₂ el carbonato y el bicarbonato. Purgando la muestra con N₂ se elimina todo el CI y entonces puede realizarse el análisis de carbono total antes descrito. Puesto que se ha eliminado el CI, el CO₂ producido en este experimento es sólo COT. El contenido de CI se calcula por diferencia entre los dos experimentos. La medición de COT se utiliza ampliamente para verificar el cumplimiento de las regulaciones sobre emisión de contaminantes [18].

DESARROLLO EXPERIMENTAL

4.1 Programa de muestreo.

Para las muestras de la zona de canales de Xochimilco la colecta se inició ubicando el punto donde se tomaría la muestra en un mapa, una vez que se encontró dicho punto en el canal, se midió la profundidad del canal con ayuda de una plomada y se recolecta a 2/3 partes de la profundidad el agua con ayuda de una botella de acero. Esta botella se cierra herméticamente. El agua penetra por la parte superior a través de un ducto con 7 mm de diámetro, y así se evita que se introduzcan objetos que estuvieran flotando en el agua como hojas, plásticos, botellas, musgos, etc. Se tomó una segunda muestra en un frasco de propileno de un litro, que sirvió para hacer las mediciones de temperatura, pH, conductividad y oxígeno disuelto *in situ*.

En las muestras de los pozos, el procedimiento fue similar, aquí la toma de la muestra fue de la llave de paso del agua sin clorar y después de clorar. Las llaves se enjuagaban previamente con alcohol etílico comercial y se dejaba correr el agua de 3 a 5 minutos antes de tomar la muestra.

Las muestras para la determinación de THM y COT se recolectaron por duplicado en frascos de borosilicato (color ámbar) con septa de teflón con una capacidad de 40 mL cada uno. Las muestras fueron inmediatamente refrigeradas a 4° C y se conservaron en refrigeración hasta su análisis. A las muestras para THMs se les agregó un agente reductor, que en nuestro caso fue sulfito de sodio 0.2 M[13]. Se le agregaba 160 µL de dicha solución, para que reaccionará con el cloro residual que pudiera tener la muestra. Teóricamente la

muestra debe de contener ente 0.2 y 1.5 mg/L de cloro residual. Y así evitar la formación THMs cuando las muestras estuvieran almacenadas.

Las muestras de parámetros fisicoquímicos se recolectaron en un frasco de polipropileno con una capacidad de un litro. Las muestras fueron almacenadas a 4 °C al igual que las muestras de THM hasta su análisis.

4.2 Equipo Analítico.

El equipo utilizado para la determinación de THM es un Headspace marca Hewlett Packard Modelo HP 7694 acoplado a un cromatógrafo de gases Hewlett Packard Serie II Modelo 5890 con columna de sílice fundida con 0.25 µm de película de HP-1 como fase estacionaria y una longitud de 30 m, con una temperatura máxima de 280°C. El detector de captura de electrones tiene como fuente radioactiva al isótopo ⁶³Ni, controlado por una computadora HP Vectra 486/33 N con una impresora.

El equipo utilizado para la medición de los parámetros físicos y químicos fue un medidor portátil de la marca Yellow Springs Instrument Modelo 3500 (No. Serie 93JO9730). Y los electrodos específicos utilizados fueron: a) Para nitratos: un electrodo combinado Marca Corning Modelo 476137, b) Para el amonio: un electrodo combinado Marca Corning Modelo 487234, c) Para cloro: un electrodo combinado Marca Orion Modelo 9770BN, d) Para oxígeno disuelto: un oxímetro Modelo 51B (No. Serie 95A27799) y para el COT se utilizó un analizador de carbono Modelo UI59.

4.3 Metodología

4.3.1 Procedimiento para la determinación de THM.

La metodología de análisis utilizada fue con base a un trabajo presentado en el Congreso de Química Analítica de 1999, el título del escrito es: Trihalometanos y haloácidos en agua de la Zona Sur de la Ciudad de México[25].

Cabe mencionar que el procedimiento de análisis tanto para las muestras problema como las soluciones estándar fue el mismo, para ello se pusieron en un vial de vidrio con septa de teflón 10 mL de la muestra y 1 mL de solución de estándar interno (1,2-dibromopropano, 99%); se introdujo dicha solución al Headspace con parámetros de operación establecidos (ver condiciones de operación). Una vez que el horno del cromatógrafo se encuentra a la temperatura adecuada, el detector a la temperatura establecida y la computadora con las instrucciones de operación adecuadas, se acciona el ciclo automático del Headspace. En el momento que el Headspace inyecta la muestra al cromatógrafo se corre el programa de la rampa de temperatura en el horno del cromatógrafo y se hace que la computadora empiece con el registro de los datos.

Utilizando una computadora se consigue almacenar en forma automática toda la información generada y desplegar en dicha terminal el perfil cromatográfico que va resultando.

Habiendo eluido los compuestos de la muestra de la columna cromatográfica se interrumpe la adquisición en la computadora, se enfría el horno del cromatógrafo automáticamente para una nueva corrida.

Finalmente, la información obtenida es procesada para el análisis cuantitativo, que se discute en el siguiente apartado.

4.3.2 Condiciones de Operación del headspace y el cromatógrafo:

Para el Headspace:	Temperatura (°C)
Horno	80
Línea de Trayecto	150
Serpentín	150
Para el Cromatógrafo:	
Detector CDE	250
Inyector	160
Horno	80 (1 minuto)- /min-140°C(1 minuto)

El equipo CG estaba equipado con un detector de captura de electrones (Ni 63), con una columna capilar HP-1 (composición dimetilpolisiloxano 100%) con un diámetro interno de 0.53 mm y 30 m de largo, con una fase estacionaria de 2.65 μm de grosor. La temperatura del inyector y el detector fueron de: 160° C y 250°C, respectivamente. La temperatura del horno fue la siguiente: una isoterma de un minuto en 80°C, una rampa de 6°C por minuto hasta llegar a 140°C y de nuevo una isoterma en esa temperatura por un minuto. Se utilizó como gas acarreador Helio a una presión de 60 psi, el gas auxiliar del detector fue una mezcla de Ar-CH₄ a una presión de 60 psi. El volumen de inyección al cromatógrafo fue de 1 mL.

4.3.3 Procedimiento para la cuantificación de los parámetros físicos y químicos

4.3.3.1 Nitratos:

El electrodo que se utilizó para medir nitratos tiene un intervalo de concentración de 0.8-62000 ppm y se debe utilizar entre pH de 2.5-11, manteniendo la temperatura de 0-50°C y tiene una reproducibilidad de 2 %.

Se necesitan las siguientes soluciones:

- solución ISAB (Ionic Strength Adjustment Buffer) la cual es una solución de sulfato de amonio $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 2M,
- Solución estándar de Nitrato Corning, No. Catálogo:478163, 0.1 M de iones NO_3^- (6200 ppm NO_3^-).

Para preparar el electrodo se debe remover el capuchón de plástico que lo recubre y rellenar la cámara del electrodo con la solución de sulfato de amonio 2M, ajustando el nivel interno de la solución por debajo del orificio de dicha cámara, evitando en lo posible la formación de burbujas.

Una vez verificado que el nivel interno de la solución es el adecuado, se conecta el electrodo al potenciómetro y se pone en el estándar de concentración más baja por 30 minutos.

Para preparar la curva de calibración se deben hacer diluciones de la solución estándar de 6200 ppm de nitratos. Los puntos para la curva de calibración son : 1.24 ppm, 6.2 ppm, 62 ppm, 620 ppm.

Se ponen en un vaso de precipitado de 250 mL, 50 mL de la solución estándar y se le agregan 50 mL de la solución ISAB, también se debe de preparar un blanco. Las muestras se deben preparar igual, teniendo en cuenta que deben ser acuosas y no contener partículas o residuos orgánicos, que puedan disolver la membrana del electrodo.

Una vez hecho esto, se agitan las muestras y se toman las lecturas de las soluciones de la curva. Hay que recordar que entre cada una de las lecturas es necesario enjuagar el electrodo con agua destilada para evitar contaminación cruzada y solo se debe secar la punta del electrodo sin frotarlo. Después se procede a tomar las lecturas de las muestras.

Por último se hace una gráfica de los logaritmos de las concentraciones estándar contra mV de respuesta. Teniendo la gráfica se interpolan los puntos de las muestras para obtener su concentración.

Si es necesario el almacenamiento de las muestras, éstas solo se pueden guardar un máximo de 24 horas a 4°C. Si se requiere un almacenamiento más prolongado se deben preservar con 2 mL de H₂SO₄ concentrado en un litro y guardar a la misma temperatura.

Ciertos aniones causan interferencia en las lecturas del electrodo y pueden dar lugar a un mal funcionamiento o lecturas totalmente erróneas. Dichos iones son: Cl⁻, NO₂⁻, Br⁻, CN⁻, ClO₃⁻, I⁻ y ClO₄⁻.

Las interferencias causadas por los cloruros, yoduros, bromuros y cianuros pueden ser removidas por precipitación con 0.5 gramos de sulfato de plata por cada 100 mL de muestra. La interferencia por nitritos pueden ser removida utilizando 0.3 g de ácido sulfámico por cada 100 mL de muestra. Los carbonatos y bicarbonatos, los cuales causan una débil interferencia, pueden ser removidos acidificando la muestra a pH 4.5 con ácido sulfúrico. Los aniones orgánicos como los ácidos carboxílicos obstruyen la respuesta del electrodo y pueden ser removidos adicionando a la muestra 10 g de sulfato de amonio a 100 mL de muestra.

4.3.3.2 Amoníaco:

El electrodo que se utiliza tiene un intervalo de concentración de 0.017-17000 ppm y se debe utilizar a pH de 11 a 13 a una temperatura ente 0-50°C.

Se necesitan las siguientes soluciones:

- Solución ISAB: Solución de NaOH 10N.
- Soluciones estándar de amonio: Corning No. 478161 de concentración 1700 ppm de NH_4^+ .
- Solución de buffer de pH 4 de Corning No. 478671 y de pH 7 de Corning No. 478670

Cuando se va a utilizar por primera vez o se ha dejado de utilizar el electrodo por mucho tiempo hay que colocarlo en un buffer de pH 7 de 6 a 12 horas. Después se enjuaga el electrodo con agua destilada y se seca con un pedazo de papel. Posteriormente se le introduce al electrodo 15 gotas de la solución de llenado interna del electrodo (Solución de cloruro de amonio, azul de timol y agua desionizada. Corning No. 477394), se cierra perfectamente y se procura sacar todas las burbujas de aire. Después se debe colocar el electrodo en un buffer pH 4 por 30 minutos antes de cualquier medición.

Para preparar la curva de calibración se deben hacer diluciones de la solución estándar de 1700 ppm del ión amonio. Los puntos preferenciales para la curva de calibración son : 0.255 ppm, 1.7 ppm, 17 ppm, 170 ppm de ión amoníaco.

Se ponen en un matraz Erlenmeyer de 250 mL, 100 mL de la solución estándar y se le agregan 50 mL de la solución ISAB. También se debe preparar un blanco que debe ser de agua desionizada y solución ISAB. Las muestras se preparan de la misma manera, teniendo en cuenta que deben mantenerse a la misma intensidad iónica, es por eso que se les agrega la solución ISAB, además de tener las muestras un pH básico.

Las soluciones estándar y las muestras se deben agitar cuando se toman las lecturas. Una vez realizada la lectura se lava el electrodo con agua destilada, se seca con papel sin frotarse.

Una vez que se hicieron las lecturas se procede a graficar los datos: logaritmo de las concentraciones de amonio contra mV. Cuando se obtiene la recta, los mV de las muestras se interpolan y así se conoce la concentración de amonio.

Las muestras deben ser medidas inmediatamente después de ser colectadas y si no es posible, se deben preservar agregando 0.8 mL de ácido sulfúrico concentrado por cada litro de muestra.

Las aminas volátiles como la hidrazina y las ciclo hexilaminas interfieren en el potencial del electrodo dando como resultados valores muy altos de amonio.

Si hay altas concentraciones de ciertos iones metálicos como el cobre, mercurio y la plata pueden dar lugar a complejos de amonio, lo cual produce valores muy bajos de potencial.

4.3.3.3 Cloro residual:

Para llevar acabo la determinación de cloro residual se requieren los siguientes reactivos:

- Buffer de acetatos: Disolver 73 g de acetato de sodio en 200 ml de agua desionizada. Adicionar 240 mL de ácido acético concentrado y aforar a 500 mL. Almacenar en un frasco ámbar.
- Solución de yoduro de potasio: Disolver 42 g de yoduro de potasio y 0.2 g de carbonato de sodio en 200 mL de agua desionizada y aforarlo a 250 mL.
- Solución estándar de cloro utilizada es Orion Cat. No. 977010 con concentración de 100 ± 0.5 ppm de yoduro de potasio como cloruro.

Las soluciones para la curva de calibración pueden ser de 0.2 ppm, 1.0 ppm y 5.0 ppm. Se debe de agregar 1 mL de buffer de acetatos y 1 mL de la solución de yoduro de

potasio a cada matraz, posteriormente aforar a 100 mL. Las muestras se preparan de la misma manera, tomando en cuenta que el pH debe estar entre 4 ó 5, sino ajustarlas con ácido acético.

Para hacer las lecturas las soluciones y muestras se deben agitar con una barra magnética. Una vez registrado el valor de la lectura, se retira el electrodo y se lava con agua destilada y se seca con cuidado.

Cuando se tienen las lecturas de la curva de calibración se hace una gráfica de logaritmo de la concentración de la solución de la curva contra mV. Después se interpolan los valores de mV de las muestras para obtener la concentración de cloro.

4.3.3.4 Carbono Orgánico Total.

Los valores del COT se obtuvieron por diferencia entre las determinaciones del Carbono Total (CT) y el Carbono Inorgánico Total (CIT)

a) Análisis de Carbono Total:

Se preparó y se ensamblaron los componentes para operación del aparato. Después se determinó un blanco y se corrió un estándar para confirmar la operación del sistema. Se llenó una jeringa con 200 μ L de la muestra y se insertó en el puerto de introducción. Luego se dejó aproximadamente un minuto para que el sistema se purgara y se limpiara del CO₂ atmosférico. En seguida se inyectó la muestra y encendió el coulombímetro de CO₂. Cuando todo el CO₂ ha sido evaluado y titulado, (se reconocerá esto por una lectura estable en la pantalla del Coulombímetro), se grabó la lectura y se calculó la cantidad de carbono en las unidades deseadas.

b) Análisis de Carbono Inorgánico Total.

Se ensamblaron los componentes (incluyendo el accesorio de purga) y preparó el aparato para operación. Luego se determinó un blanco y se corrió un estándar para confirmar operaciones del sistema. Después se llenó el tubo de prueba (u otra contenedor apropiado) con 5 mL de muestra. Se acidificó la muestra aproximadamente a pH 2. Entonces se purgó la muestra acidificada de 6 a 12 minutos en los accesorios de purga con un flujo de oxígeno de 50-100 cm³/min. Finalmente se llenó la jeringa y se inyectó la muestra como se describe en el análisis de Carbono Total.

Debe considerarse que:

Si un volumen 200 µL es usado y la densidad de la muestra es aproximadamente la del agua (1g/mL) entonces el coulombimetro de CO₂ puede ser puesto en el modo directo de mg C /L.

Si las muestras contienen grandes cantidades de sales o partículas, es deseable el uso de componentes de introducción los cuales permiten la introducción de las muestras en botes o tubos capilares. La inyección directa de muestras es simple y rápida, pero este otro modo evita que las sales ataquen el tubo de combustión. Poniendo las muestras en botes se permite la mezcla de la muestra con trióxido de tungsteno (WO₃) el cual minimiza el contacto de la sales con el tubo de combustión. WO₃ también elimina la formación de carbonatos que puedan alargar el tiempo de análisis e incrementar los blancos.

Cuando los 200 µL de la muestra son inyectados, hasta 20, 000 mg C/L pueden ser determinados sin requerir de un factor de dilución. La exactitud es típicamente ± 0.5 % relativa para muestras que contengan más de 500 ppm de C. Para bajas concentraciones, la exactitud es limitada por la consistencia de los blancos. La exactitud puede ser tan buena

como ± 0.5 mg C/L para agua potable. A altos niveles, la exactitud es limitada por la medida del volumen y puede ser mejorada por pesada de la jeringa antes y después de la inyección. Los tiempos de análisis varían con la concentraciones siendo determinadas y la exactitud buscada, pero el tiempo típico es de 3 a 5 minutos con una exactitud de 0.3%.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

5.1 Resultados.

Los parámetros medidos en las muestras de agua para riego de Xochimilco fueron: profundidad del canal, temperatura del agua, pH, conductividad, oxígeno disuelto, concentración de amoníaco, nitratos, cloro residual, carbono orgánico total y trihalometanos. Los cinco primeros parámetros fueron medidos *in situ* y para los restantes se colectaron muestras para cuantificarlos en el laboratorio. Los resultados obtenidos se publican en la Tabla 5.

A las aguas de los pozos de extracción se le realizaron las mismas determinaciones con excepción de la profundidad y se muestran en la Tabla 6.

Tabla 5. PARÁMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS EN AGUA DE LOS CANALES DE XOCHIMILCO. EPOCA DE LLUVIAS 2000.

Fecha de muestreo	Clave	Profundidad m	Temperatura °C	Conductividad µs/cm	pH	O ₂ disuelto mg/L	NH ₃ mg/L	NO ₃ mg/L	Cl ₂ mg/L	COT mg/L	THMt µg/L
20-Jun	IX-1	1.70	20.60	467.00	8.8	7.4	0.17	2.50	≤0.007	26.19	20.88
20-Jun	IX-39	1.20	21.40	1189.00	5.5	5.2	≤0.13	9.90	≤0.007	23.83	19.93
20-Jun	IX-34	1.12	22.10	595.00	7.5	5.0	≤0.13	20.80	≤0.007	85.11	19.06
20-Jun	IX-35	1.77	21.90	1096.00	7.6	4.8	0.17	22.80	≤0.007	25.03	19.30
20-Jun	IX-36	1.42	21.40	581.00	7.4	4.0	0.21	8.99	≤0.007	143.15	44.13
26-Jun	IX-63	1.60	20.90	992.00	7.6	6.0	≤0.13	5.70	≤0.007	88.19	26.40
26-Jun	IX-60	1.30	20.90	983.00	7.6	6.0	1.12	17.30	≤0.007	34.08	24.25
26-Jun	IX-57	0.98	20.90	982.00	7.5	6.0	0.20	27.50	≤0.007	354.1	27.06
26-Jun	IX-134	1.03	19.80	1077.00	7.7	4.6	0.45	4.05	≤0.007	26.11	21.64
27-Jun	IX-136	1.00	19.40	1642.00	7.3	3.5	≤0.13	14.52	≤0.007	208.23	22.31
27-Jun	IX-157	1.32	20.90	1035.00	7.6	7.6	1.93	46.31	≤0.007	150.84	22.73
27-Jun	IX-180	1.67	21.70	1088.00	7.3	0.8	0.17	12.93	≤0.007	33.96	24.87
27-Jun	IX-101	0.76	18.80	939.00	7.0	1.4	4.57	29.12	≤0.007	23.91	35.87
03-Jul	IX-104	1.40	19.10	1079.00	7.0	0.8	4.78	14.52	≤0.007	23.29	19.38
03-Jul	IX-110	1.08	19.02	989.00	6.8	1.4	2.53	32.70	≤0.007	24.98	19.50
03-Jul	IX-44	2.25	20.00	831.00	6.8	1.2	3.04	20.56	0.110	15.96	28.11
04-Jul	IX-182	1.87	20.20	1127.00	7.3	0.6	0.68	16.31	≤0.007	25.31	18.04
04-Jul	IX-169	1.62	20.50	1008.00	7.3	0.8	2.31	29.12	0.015	374.8	23.76
04-Jul	IX-171	1.62	20.30	1000.00	7.3	1.2	4.57	20.56	0.012	45.15	23.87
04-Jul	IX-125	1.83	21.40	905.00	7.5	7.0	≤0.13	6.50	0.012	23.12	25.72
10-Jul	IX-121	1.65	19.60	849.00	7.2	1.8	2.19	2.90	0.014	63.8	27.39
10-Jul	IX-118	1.15	19.70	783.00	6.9	3.2	≤0.13	5.20	0.008	53.08	29.82
10-Jul	IX-52	1.10	19.20	701.00	6.9	1.0	1.57	0.90	≤0.007	90.74	26.66
10-Jul	IX-B	2.10	19.70	941.00	6.7	3.4	2.19	0.90	≤0.007	87.14	23.78
17-Jul	IX-84	2.00	21.00	646.00	6.8	2.2	2.19	35.30	0.019	120.22	48.16
17-Jul	IX-79	2.10	20.40	646.00	7.0	2.0	3.04	39.17	0.020	9.71	46.63
17-Jul	IX-28	2.10	21.20	643.00	7.3	1.4	5.90	17.09	0.022	172.7	40.24
17-Jul	IX-98	1.50	21.30	697.00	7.3	2.8	1.57	43.46	0.008	7.56	47.93
18-Jul	IX-131	0.87	17.70	1281.00	7.1	0.6	0.96	35.32	≤0.007	100.63	19.10
18-Jul	IX-94	1.80	19.50	930.00	7.0	0.6	0.42	7.50	11.580	121.53	19.59
18-Jul	IX-29	1.39	21.40	612.00	6.8	3.8	1.13	53.50	2.410	43.87	26.92
18-Jul	IX-127	2.00	21.90	655.00	6.9	2.4	0.22	28.70	0.150	39.11	31.07
18-Jul	IX-124	1.70	21.80	654.00	7.0	1.6	0.59	17.09	0.060	180.86	32.86
24-Jul	IX-81	1.37	20.20	711.00	7.0	2.0	0.26	48.20	≤0.007	13.71	24.03
24-Jul	IX-77	0.98	20.10	711.00	7.1	1.8	≤0.13	43.45	≤0.007	228.45	23.63
24-Jul	IX-75	1.10	20.00	797.00	7.3	0.8	1.13	53.50	≤0.007	22.08	18.47
25-Jul	IX-23	1.30	19.90	688.00	7.0	3.8	0.65	17.09	0.080	103.73	38.35
25-Jul	IX-20	1.44	18.60	985.00	7.3	2.0	1.52	6.72	≤0.007	159.34	16.80
25-Jul	IX-C	0.80	19.80	683.00	6.9	4.0	0.83	7.50	0.070	7.88	45.58
14-Ago	IX-D	1.05	19.00	530.00	6.8	6.0	1.00	15.72	0.050	24.37	35.77
14-Ago	IX-A	1.00	20.00	638.00	6.8	5.4	1.00	36.27	0.051	0.00	17.96
16-Ago	IX-E	1.00	18.10	746.00	7.0	6.8	1.00	43.68	0.024	126.95	15.43
	Media aritmética	1.43	20.27	860.29	7.1	3.2	1.38	21.95	0.351	126.95	27.21
	Limite de detección						0.13	0.29	0.007		

IX: Muestreo I Xochimilco

Tabla 6. PARAMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS EN AGUA DE POZOS DE EXTRACCIÓN DE LA ZMCM. EPOCA LLUVIAS 2000.

Fecha de muestreo	Clave	Temperatura °C	Conductividad µs/cm	pH	O ₂ disuelto mg/L	NH ₃ mg/L	NO ₃ mg/L	Cl ₂ mg/L	COT mg/L	THMt µg/L
19-Jun	IP-2397-S	20.00	1455.00	7.2	3.5	≤0.13	22.79	0.163	253.80	132.39
19-Jun	IP-2397-C	26.00	1444.00	7.6	4.2	0.22	2.03	0.163	186.25	150.37
19-Jun	IP-250(SE-1)-S	16.10	248.00	7.6	6.8	0.92	17.25	≤0.007	45.50	61.27
19-Jun	IP-250(SE-1)-C	16.10	439.00	7.3	6.4	0.63	2.50	0.226	22.20	157.52
21-Ago	IP-SCE3-S	29.90	821.00	7.3	3.5	1.00	17.25	0.043	70.70	50.67
21-Ago	IP-100-S	26.60	1876.00	6.8	3.2	1.00	7.47	≤0.007	5.10	44.02
22-Ago	IP-163-S	20.80	562.00	7.0	3.2	1.00	27.45	0.022	24.05	57.32
22-Ago	IP-163-C	20.90	543.00	7.3	2.4	1.00	9.87	0.004	65.40	72.36
22-Ago	IP-52 OSA-S	20.20	325.00	6.8	4.0	1.00	22.79	0.247	30.53	188.57
22-Ago	IP-7A-S	18.30	585.00	6.9	3.4	1.00	17.25	0.022	93.00	38.05
28-Ago	IP-4A-S	16.00	483.00	6.5	4.4	12.23	6.20	0.018	35.53	32.74
28-Ago	IP-11B-S	18.90	1044.00	7.0	5.0	16.40	19.05	0.039	55.85	62.70
28-Ago	IP-No.4-S	19.40	958.00	6.6	3.2	0.14	11.08	0.013	56.25	44.71
29-Ago	IP-PS21-S	15.00	393.00	6.4	8.6	24.24	7.53	0.019	56.60	29.90
29-Ago	IP-PS21-C	14.80	397.00	6.2	8.4	15.36	4.20	≤0.007	34.25	32.46
29-Ago	IP-PER2-S	19.70	291.00	7.0	7.0	24.24	24.03	0.016	22.05	48.87
29-Ago	IP-316-S	18.00	769.00	7.1	3.4	3.91	5.21	0.014	52.95	36.42
29-Ago	IP-316-C	18.00	771.00	7.1	4.2	1.60	3.97	0.073	10.40	42.85
29-Ago	IP-CUL-C	19.80	771.00	7.1	6.8	1.60	3.61	≤0.007	84.68	23.73
04-Sep	IP-317-S	15.00	338.00	6.4	6.4	≤0.13	1.90	0.010	30.38	48.06
04-Sep	IP-159-S	15.00	193.00	6.8	7.0	7.80	1.01	≤0.007	43.00	40.04
04-Sep	295 CAST-C	18.00	616.00	6.9	3.4	10.91	2.86	0.008	29.80	85.48
05-Sep	IP-ATN23-C	18.10	1290.00	7.0	1.6	13.71	3.27	≤0.007	71.85	49.91
05-Sep	IP-S5-S	14.60	156.00	6.7	4.2	15.40	11.52	≤0.007	44.40	43.97
05-Sep	IP-SL5-S	14.90	309.00	6.8	4.5	6.20	7.53	0.010	8.65	42.14
11-Sep	IP-TEC21-S	19.60	6750.00	10.1	14.4	9.54	11.64	22.329	82.35	386.96
11-Sep	IP-TEC21-C	20.10	7090.00	10.2	4.2	7.52	2.95	19.091	66.85	599.36
11-Sep	IP-TUL5-S	14.70	412.00	6.7	3.1	12.10	18.40	0.014	66.95	54.00
11-Sep	IP-TUL4-S	16.30	697.00	7.1	5.0	21.02	21.43	≤0.007	65.55	21.17
11-Sep	IP-TUL4-C	16.30	609.00	7.3	4.0	0.65	3.99	≤0.007	66.65	30.92
11-Sep	IP-TUL12-S	15.50	500.00	6.7	2.4	5.50	9.99	≤0.007	32.45	41.65
11-Sep	IP-TUL12-C	14.50	454.00	6.1	4.2	3.70	2.53	≤0.007	45.35	49.39
12-Sep	R-XOCH-C	15.60	260.00	6.5	3.6	2.50	9.99	0.058	24.45	82.16
12-Sep	R-NATIV-C	15.60	254.00	6.2	3.4	0.82	3.43	0.013	18.10	51.91
12-Sep	R-SANT-C	16.00	216.00	6.6	3.4	0.76	0.64	0.481	0.00	96.19
12-Sep	R-XOCHIT-C	19.40	406.00	7.3	3.0	1.32	1.37	0.073	66.00	92.82
12-Sep	R-NORIA-C	20.20	462.00	7.3	3.2	1.13	0.47	0.238	21.80	87.24
12-Sep	IP-224-S	20.80	436.00	7.3	2.6	11.20	2.94	0.014	31.30	113.54
18-Sep	IP-4-S	15.20	348.00	6.1	2.6	0.36	≤0.29	0.022	12.80	134.45
18-Sep	IP-4-C	16.30	381.00	6.6	3.4	≤0.13	≤0.29	0.130	25.55	173.02
18-Sep	R-S JERO-C	19.00	296.00	6.5	2.8	2.03	1.39	0.030	60.80	52.79
18-Sep	IP-6-C	20.20	232.00	6.3	3.2	≤0.13	0.63	0.412	40.66	109.00
19-Sep	IP-R2-S	14.10	317.00	6.4	8.2	≤0.13	5.24	0.030	24.45	94.85
19-Sep	IP-TN11	23.00	545.00	6.8	2.4	0.32	1.07	0.018	0.00	52.75
19-Sep	IP-TN1-S	19.60	784.00	7.0	2.6	0.83	≤0.29	0.008	46.75	41.02
25-Sep	IP-A11-S	18.20	198.00	6.5	6.6	0.46	37.55	≤0.007	51.60	47.72
25-Sep	IP-A116-C	21.70	419.00	7.0	1.6	0.54	≤0.29	≤0.007	21.45	53.03
25-Sep	IP-A255-C	21.50	392.00	7.0	6.4	0.46	1.80	2.412	11.85	198.84
25-Sep	IP-GC-1-S	27.50	748.00	7.4	4.8	35.93	≤0.29	0.040	7.80	119.73
26-Sep	IP-FLACSO-S	14.00	379.00	6.4	7.0	11.60	6.33	0.012	42.65	57.57
26-Sep	IP-FLACSO-C	13.80	376.00	6.5	6.2	≤0.13	1.40	0.028	43.65	64.98
26-Sep	IP-UNITEC-S	20.20	734.00	7.1	2.4	0.90	3.81	≤0.007	37.20	32.46
	Media aritmética	18.44	803.31	7.0	4.5	5.63	7.87	0.896	47.08	87.62
	Límite de detección					0.13	0.29	0.007		

IP: Muestreo I Pozos

R: Rebombéo

-C : Muestras con cloro

-S: Muestras sin cloro

Se identificaron y cuantificaron por cromatografía de gases los siguientes cuatro compuestos que pertenecen al grupo de los trihalometanos: cloroformo, bromodichlorometano, dibromoclorometano y bromoformo. En la Tabla 7 se reportan los resultados para la zona de Xochimilco.

Tabla 7. TRIHALOMETANOS EN AGUA DE LOS CANALES DE XOCHIMILCO. EPOCA DE LLUVIAS 2000.

Fecha muestreo	Clave	CHCl ₃ µg/L	CHBrCl ₂ µg/L	CHBr ₂ Cl µg/L	CHBr ₃ µg/L	THMt µg/L
20-Jun	IX-1	11.9457	4.4222	4.5076	≤0.0443	20.8755
20-Jun	IX-39	11.9779	4.4338	3.5203	≤0.0443	19.9320
20-Jun	IX-34	11.0212	4.4104	3.6239	≤0.0443	19.0555
20-Jun	IX-35	11.2755	4.4337	3.5894	≤0.0443	19.2986
20-Jun	IX-36	33.1507	4.4074	6.5710	≤0.0443	44.1291
26-Jun	IX-63	16.6383	4.4813	5.2808	≤0.0443	26.4004
26-Jun	IX-60	14.7257	4.6462	4.8820	≤0.0443	24.2539
26-Jun	IX-57	16.8117	4.8535	5.3939	≤0.0443	27.0591
26-Jun	IX-134	12.7107	4.4590	4.4668	≤0.0443	21.6365
27-Jun	IX-136	14.7753	4.4074	3.1296	≤0.0443	22.3123
27-Jun	IX-157	13.8602	4.4143	4.4600	≤0.0443	22.7345
27-Jun	IX-180	12.0475	5.1622	7.6612	≤0.0443	24.8709
27-Jun	IX-101	20.7380	8.6989	6.4310	≤0.0443	35.8679
03-Jul	IX-104	10.5903	4.4494	4.3399	≤0.0443	19.3796
03-Jul	IX-110	11.9645	4.4074	3.1296	≤0.0443	19.5015
03-Jul	IX-44	16.1553	5.4661	6.4837	≤0.0443	28.1051
04-Jul	IX-182	10.4985	4.4074	3.1296	≤0.0443	18.0355
04-Jul	IX-169	14.5699	4.7766	4.4178	≤0.0443	23.7643
04-Jul	IX-171	13.8281	4.5621	5.4768	≤0.0443	23.8670
04-Jul	IX-125	14.4311	4.9001	6.3920	≤0.0443	25.7232
10-Jul	IX-121	14.5034	6.1266	6.7594	≤0.0443	27.3894
10-Jul	IX-118	15.4713	6.3362	8.0131	≤0.0443	29.8206
10-Jul	IX-52	18.0007	4.4826	4.1722	≤0.0443	26.6555
10-Jul	IX-B	13.7848	4.4751	5.5208	≤0.0443	23.7807
17-Jul	IX-84	23.9162	7.5587	16.6861	≤0.0443	48.1610
17-Jul	IX-79	23.5070	6.8939	16.2288	≤0.0443	46.6297
17-Jul	IX-28	19.5019	6.7491	13.9858	≤0.0443	40.2368
17-Jul	IX-98	22.2825	7.2191	18.4309	≤0.0443	47.9325
18-Jul	IX-131	9.8868	4.4665	4.7438	≤0.0443	19.0971
18-Jul	IX-94	10.3534	4.4892	4.7507	≤0.0443	19.5933
18-Jul	IX-29	12.9871	6.4173	7.5151	≤0.0443	26.9195
18-Jul	IX-127	14.4551	6.4393	10.1770	≤0.0443	31.0714
18-Jul	IX-124	15.8149	6.6765	10.3648	≤0.0443	32.8562
24-Jul	IX-81	11.2673	6.0409	6.7267	≤0.0443	24.0349
24-Jul	IX-77	11.5563	5.4401	6.6369	≤0.0443	23.6333
24-Jul	IX-75	9.0953	4.4918	4.8832	≤0.0443	18.4703
25-Jul	IX-23	20.3699	6.3966	11.5801	≤0.0443	38.3466
25-Jul	IX-20	8.3768	4.4340	0.0000	3.9882	16.7990
25-Jul	IX-C	24.9351	8.1148	12.5298	≤0.0443	45.5797
14-Ago	IX-D	18.3468	11.6650	5.7591	≤0.0443	35.7709
14-Ago	IX-A	7.8021	5.5114	4.6485	≤0.0443	17.9620
16-Ago	IX-E	6.7996	3.2225	5.4123	≤0.0443	15.4344
Media aritmética		14.9222	5.4725	6.7241	0.0950	27.2137
Limite de detección		0.0561	0.0154	0.0555	0.0443	

En la Tabla 8 se presentan los resultados de los trihalometanos para los pozos de extracción de la ZMCM.

Tabla 8. TRIHALOMETANOS EN AGUA DE POZOS DE EXTRACCIÓN DE LA ZMCM. EPOCA DE LLUVIAS 2000.

Fecha muestreo	Clave	CHCl ₃ µg/L	CHBrCl ₂ µg/L	CHBr ₂ Cl µg/L	CHBr ₃ µg/L	THMt µg/L
19-Jun	IP-2397-S	88.1340	44.2566	≤0.0555	≤0.0443	132.3906
19-Jun	IP-2397-C	99.8910	50.4775	≤0.0555	≤0.0443	150.3685
19-Jun	IP-250(SE-1)-S	55.2520	6.0198	≤0.0555	≤0.0443	61.2718
19-Jun	IP-250(SE-1)-C	73.0240	68.7193	15.7750	≤0.0443	157.5183
21-Ago	IP-SCE3-S	43.7942	6.8755	≤0.0555	≤0.0443	50.6697
21-Ago	IP-100-S	33.1350	10.8835	≤0.0555	≤0.0443	44.0185
22-Ago	IP-52 OSA-S	88.3480	77.0840	10.4363	12.6970	188.5653
22-Ago	IP-7A-S	38.0482	≤0.0154	≤0.0555	≤0.0443	38.0482
22-Ago	IP-163-S	49.2216	8.1012	≤0.0555	≤0.0443	57.3228
22-Ago	IP-163-C	63.9330	8.4225	≤0.0555	≤0.0443	72.3555
28-Ago	IP- 4A-S	32.7359	≤0.0154	≤0.0555	≤0.0443	32.7359
28-Ago	IP-11B-S	48.4540	11.8105	2.4361	≤0.0443	62.7006
28-Ago	IP-No.4-S	44.7130	≤0.0154	≤0.0555	≤0.0443	44.7130
29-Ago	IP-PS21-S	29.9024	≤0.0154	≤0.0555	≤0.0443	29.9024
29-Ago	IP-PS21-C	32.4617	≤0.0154	≤0.0555	≤0.0443	32.4617
29-Ago	IP-PER2-S	48.8708	≤0.0154	≤0.0555	≤0.0443	48.8708
29-Ago	IP-316-S	33.0190	3.4001	≤0.0555	≤0.0443	36.4191
29-Ago	IP-316-C	42.8502	≤0.0154	≤0.0555	≤0.0443	42.8502
29-Ago	IP-CUL-C	23.7252	≤0.0154	≤0.0555	≤0.0443	23.7252
04-Sep	IP-317-S	38.4272	9.6354	≤0.0555	≤0.0443	48.0626
04-Sep	IP-159-S	36.6240	3.4154	≤0.0555	≤0.0443	40.0394
04-Sep	IP-295 CAST-C	54.9382	24.7092	5.8285	≤0.0443	85.4759
05-Sep	IP-ATN23-C	33.6943	16.2130	≤0.0555	≤0.0443	49.9073
05-Sep	IP-S5-S	43.9734	≤0.0154	≤0.0555	≤0.0443	43.9734
05-Sep	IP-SL5-S	42.1383	≤0.0154	≤0.0555	≤0.0443	42.1383
11-Sep	IP-TEC21-S	144.2695	107.824	70.5432	64.3237	386.9604
11-Sep	IP-TEC21-C	250.6840	148.201	125.7634	74.7143	599.3636
11-Sep	IP-TUL5-S	48.8156	5.1804	≤0.0555	≤0.0443	53.9960
11-Sep	IP-TUL4-S	20.1954	0.9725	≤0.0555	≤0.0443	21.1679
11-Sep	IP-TUL4-C	26.4724	4.4448	≤0.0555	≤0.0443	30.9172
11-Sep	IP-TUL12-S	41.6541	≤0.0154	≤0.0555	≤0.0443	41.6541
11-Sep	IP-TUL12-C	36.5581	12.8328	≤0.0555	≤0.0443	49.3909
12-Sep	IP-224-S	71.9860	41.5559	≤0.0555	≤0.0443	113.5420
12-Sep	R-XOCH-C	76.0773	6.0796	≤0.0555	≤0.0443	82.1569
12-Sep	R-NATIV-C	42.5953	9.3166	≤0.0555	≤0.0443	51.9120
12-Sep	R-SANT-C	42.1315	25.3992	28.6560	≤0.0443	96.1866
12-Sep	R-XOCHIT-C	44.0897	34.6949	14.0361	≤0.0443	92.8207
12-Sep	R-NORIA-C	52.0664	29.5093	≤0.0555	5.6688	87.2445
18-Sep	IP-4-S	62.5381	24.3979	17.9073	29.6051	134.4484

Fecha muestreo	Clave	CHCl ₃ µg/L	CHBrCl ₂ µg/L	CHBr ₂ Cl µg/L	CHBr ₃ µg/L	THMt µg/L
18-Sep	R-S JERO-C	41.4064	11.3879	≤0.0555	≤0.0443	52.7943
18-Sep	IP-6-C	56.6015	42.1644	10.2341	≤0.0443	109.0000
18-Sep	IP-4-C	79.1119	25.9457	17.4747	50.4851	173.0175
19-Sep	IP-R2-S	87.1491	7.7009	≤0.0555	≤0.0443	94.8500
19-Sep	IP-TN11-S	41.7546	10.9915	≤0.0555	≤0.0443	52.7461
19-Sep	IP-TN1-S	36.2513	4.7661	≤0.0555	≤0.0443	41.0174
25-Sep	IP-A11-S	40.3259	7.3958	≤0.0555	≤0.0443	47.7217
25-Sep	IP-GC-1-S	75.0302	44.6974	≤0.0555	≤0.0443	119.7276
25-Sep	IP-A116-C	40.0221	13.0129	≤0.0555	≤0.0443	53.0350
25-Sep	IP-A255-C	71.7600	34.8390	42.6420	49.5975	198.8384
26-Sep	IP-FLACSO-S	51.5329	6.0326	≤0.0555	≤0.0443	57.5655
26-Sep	IP-FLACSO-C	58.9711	6.0070	≤0.0555	≤0.0443	64.9780
26-Sep	IP-UNITEC-S	32.4617	≤0.0154	≤0.0555	≤0.0443	32.4617
Media aritmética		55.6119	19.5264	6.9564	5.5210	87.6158
Límite de detección		0.0561	0.0154	0.0555	0.0443	

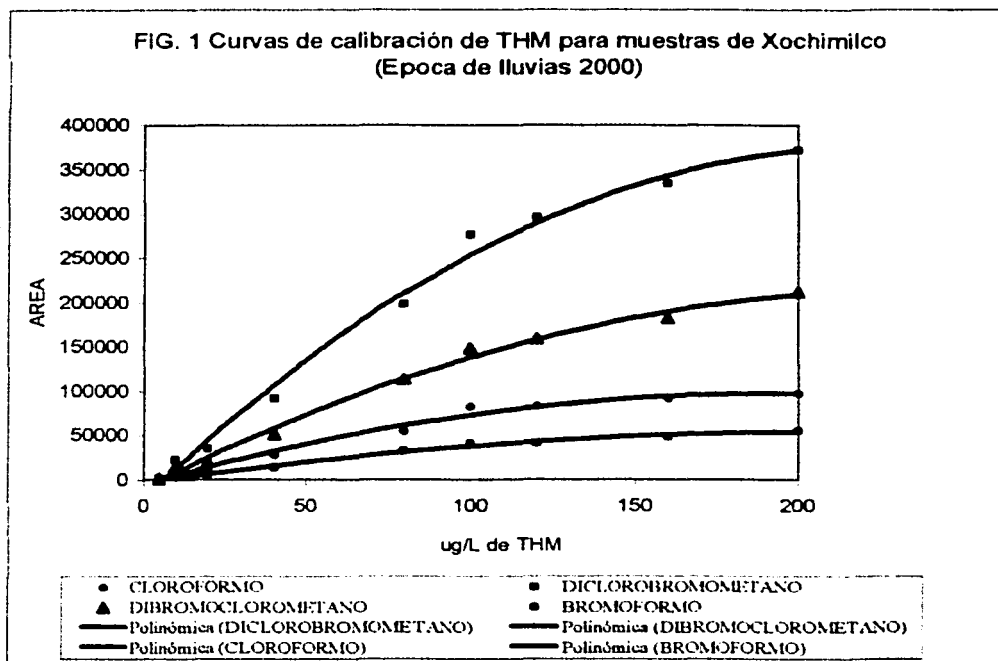
IP: Muestreo I Pozos

R: Rebombeo

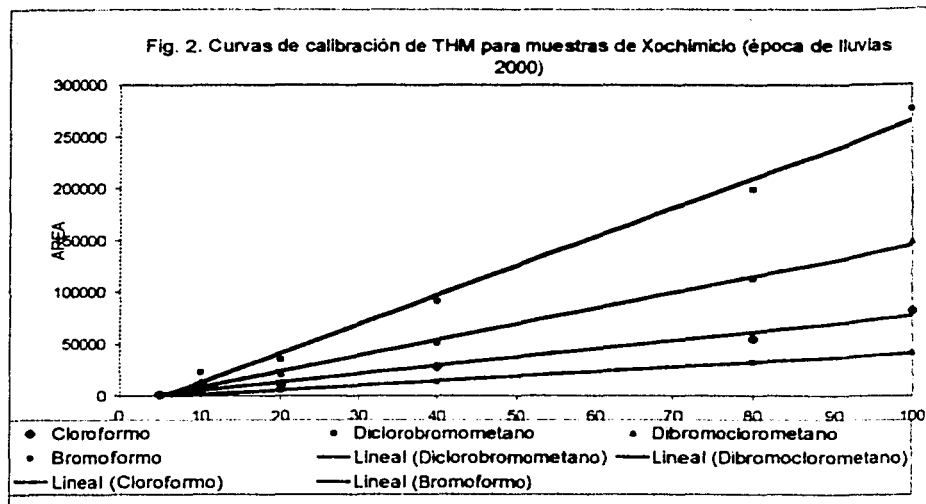
-C : Muestras con cloro

-S: Muestras sin cloro

En la Figura 1 se muestra la curva de calibración (área vs. cantidad) de 0 a 200 $\mu\text{g/L}$ para los compuestos en las muestras de Xochimilco.



En la Figura 1 se puede apreciar que la curva tiene una pérdida de linealidad en 100 $\mu\text{g/L}$. Por lo que se utilizará la curva únicamente hasta dicho punto, lo que se puede ver en la Figura 2.

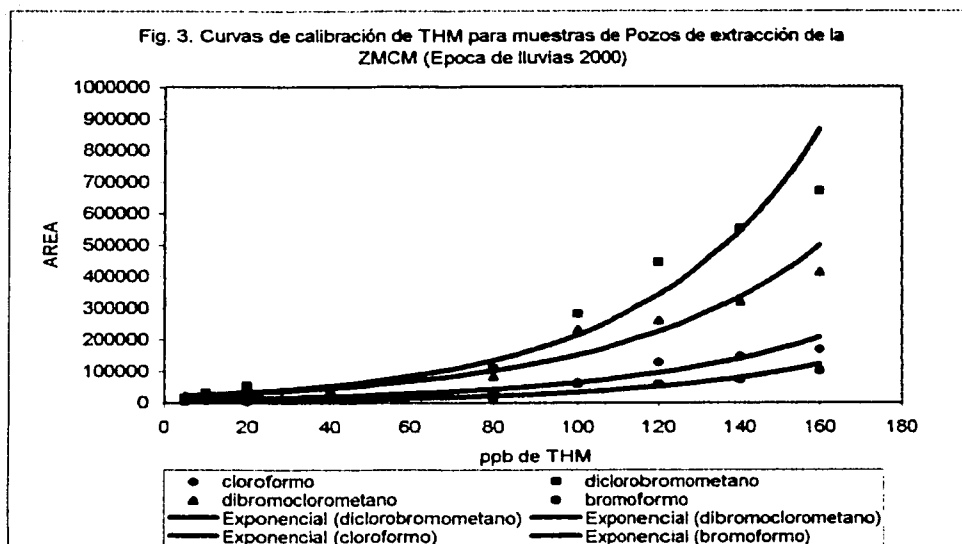


La correlación lineal que se obtuvo para cada compuesto en la Figura 2 se muestra en la Tabla 9.

Tabla 9. CORRELACIÓN LINEAL DE LAS CURVAS DE CALIBRACIÓN DE LOS THM PARA LAS MUESTRAS COLECTADAS EN LOS CANALES DE XOCHIMILCO. ÉPOCA DE LLUVIAS 2000.

Compuesto	Correlación
Cloroformo	0.9822
Bromodichlorometano	0.9822
Dibromoclorometano	0.9969
Bromoformo	0.9984

En la Figura 3 se muestra la curva de calibración (área vs. cantidad) para los compuestos estudiados para las muestras de los pozos de agua potable.



Se puede observar que el detector no tiene una respuesta lineal a la concentración de los compuestos por lo que se hizo un ajuste exponencial .

Tabla 10. CORRELACIÓN EXPONENCIAL DE LAS CURVAS DE CALIBRACIÓN DE LOS THM DE LAS MUESTRAS COLECTADAS EN LOS POZOS DE EXTRACCIÓN DE LA ZMCM . ÉPOCA DE LLUVIAS 2000.

Compuesto	Correlación
Cloroformo	0.9873
Bromodichlorometano	0.9879
Dibromoclorometano	0.9873
Bromoformo	0.9941

La Tabla 11 muestra los tiempos de retención para cada compuesto en las condiciones cromatográficas dadas y el limite de detección inferior para cada compuesto.

Tabla 11. TIEMPO DE RETENCIÓN Y LÍMITE DE DETECCIÓN PARA LOS THM.

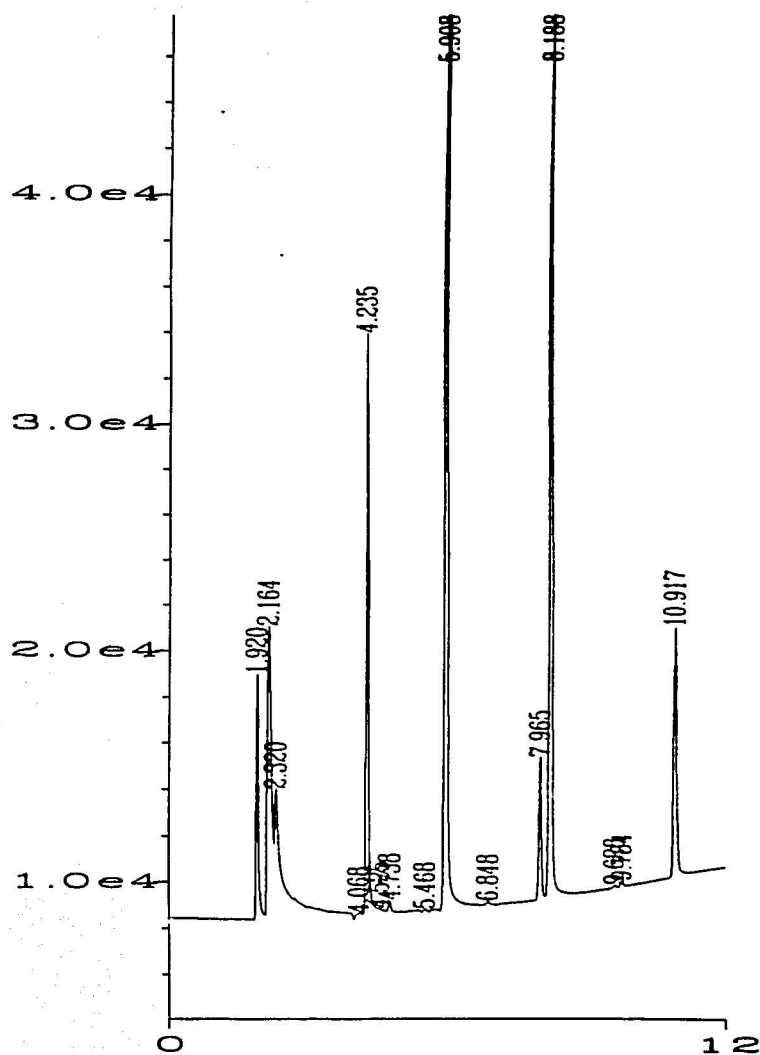
Compuesto	Tiempo de retención (minutos)	Límite de detección (µg/L)
Cloroformo	4.2	0.0561
Diclorobromometano	5.9	0.0154
Dibromoclorometano	8.1	0.0555
Bromoformo	10.9	0.0443

Para obtener el límite de detección (MDL) se siguió el siguiente procedimiento:

1. Se estimó el límite de detección en el cromatógrafo en base a las especificaciones marcadas en el instructivo del mismo.
2. Se observaron las curvas de calibración ya hechas y se observó en donde el aparato pierde sensibilidad. Se hizo una curva de calibración con 5 puntos cerca de este intervalo.
3. Se preparó un blanco, el cual era agua bidestilada para estar seguros de que no contenía nada de los compuestos orgánicos a determinar.
4. Se prepararon siete muestras de la solución que contenía cloroformo, diclorobromometano, dibromoclorometano y bromoformo a una concentración cercana a la que señala el límite de detección en el instructivo. Se corrió también el blanco para sustraer su valor.
5. Se calculó la varianza y la desviación estándar. Se calculó el límite de detección en base a la siguiente fórmula:

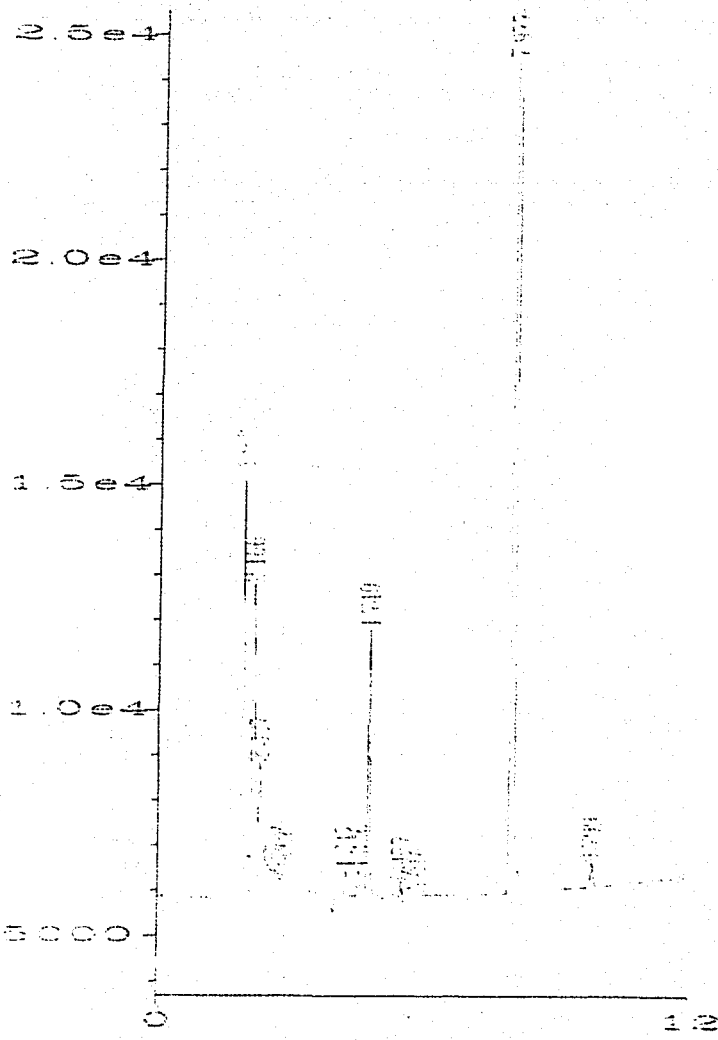
$$MDL = t_{\alpha=0.01} * s$$

En la Figura 4 se muestra el cromatograma total de la mezcla de las soluciones estándares de los compuestos utilizados en una concentración de 100 µg/L y en la Figura 5 el cromatograma de una muestra.



TIEMPO DE RETENCION	COMPUESTO
1.920, 2.164 Y 2.320	METANOL
4.235	CLOROFORMO
5.908	DICLORBROMOMETANO
7.965	1,2 DIBROMOPROPANO
8.188	DIBROMOCLOROMETANO
10.917	BROMOFORMO

Figura 4. Cromatograma total de la mezcla de las soluciones estándares de los compuestos utilizados en una concentración de 100 ug/L



TIEMPO DE RETENCION	COMPUESTO
1.922, 2.166 Y 2.327	METANOL
4.749	CLOROFORMO
7.977	1,2 DIBROMOPROPANO

Figura 5. Cromatograma de una muestra.

5.2 Análisis de Resultados.

Para llevar a cabo el análisis de resultados las muestras de Xochimilco se dividieron en tres grupos de acuerdo a la localización del canal. Los grupos son:

- a) **Zona Lacustre:** Son canales cuya agua se utiliza para riego de hortalizas y flores de ornamento. Observar el anexo 1.

Tabla 12. Localización y cultivos de los canales de la Zona Lacustre de Xochimilco.

Fecha de Muestreo	Clave	Ubicación del Sitio	Observaciones
20-junio-2000	IX-1	Club de Marina, por la casa blanca (anchura del canal 60-70 m)	Cultivos de maíz.
20-junio-2000	IX-39	Laguna de Tlilac	Hortalizas, maíz y pastizales.
20-junio-2000	IX-34	Atizapa por Carrizal	Maíz, vacas, burbujas de degradación en el agua (metano).
20-junio-2000	IX-35	Atizapa, antes de llegar a un ramal de Güero lobos	Pastizales y vacas.
20-junio-2000	IX-36	Atizapa	Hortalizas.
26-junio-2000	IX-63	Chicoco	Hortalizas.
26-junio-2000	IX-60	Chicoco por Otenco	Maíz y quelites.
26-junio-2000	IX-57	Ramal Chicoco	Cultivos de epazote, verdolaga y manzanilla.
27-junio-2000	IX-134	El Bordo	Cultivos de maíz, jitomate e invernaderos.
27-junio-2000	IX-136	Comunidad y el Bordo	Agua estancada con burbujas de descomposición (metano).
27-junio-2000	IX-157	Japón	Tiraderos de cascajo, basura. Pastizales y vacas.
27-junio-2000	IX-180	San Gregorio	Juncos y hortalizas.
3-julio-2000	IX-101	Almoloaya/Comunidad	Hortalizas, agua con burbujas de descomposición (metano).
3-julio-2000	IX-104	Comunidad	Cultivos de hortalizas, jitomate, brócoli, calabazas, acelgas, flor de calabaza.
3-julio-2000	IX-110	Paso del Águila (anchura del canal 20 m)	Cultivos de maíz, cerrado por carrizal.
3-julio-2000	IX-44	Trancatitla	Zona de casas e invernaderos.
4-julio-2000	IX-182	Urrutía por San Gregorio, caseta de la DGCOH	El agua se encuentra muy estancada y del lado contrario hay gran cantidad de casas, cuyos drenajes van a dar al canal, gran cantidad de lentejilla.
4-julio-2000	IX-169	San Gregorio	Zona de inundación, pastizales y maíz.
4-julio-2000	IX-171	San Gregorio	Pastizales y vacas.
4-julio-2000	IX-125	Apatlaco y Petos	Casas e Invernaderos de plantas ornamentales.
10-julio-2000	IX-121	Huexocoapa	Cultivos de maíz.
10-julio-2000	IX-118	Tezhuilo (anchura del canal 24 m)	Asentamientos irregulares.
10-julio-2000	IX-52	Cotetexpan	Zona con gran cantidad de casas sin drenaje.

- b) Zona Turística: Son canales más cercanos al área urbana en donde se llevan a cabo los recorridos de las trajineras turísticas y se practica el canotaje en forma intensiva. Observar el anexo I.

Tabla 13. Localización y características de los canales de la Zona Turística de Xochimilco.

Fecha de Muestreo	Clave	Ubicación del Sitio	Observaciones
17-julio-2000	IX-84	Canal de la curva Compuerta	Invernaderos y casas.
17-julio-2000	IX-79	Ayocotitla saliendo por	Asentamientos irregulares.
17-julio-2000	IX-28	Puente de San Cristóbal	Zona con gran cantidad de casas. cuyos drenajes van hacia los canales.
17-julio-2000	IX-98	Miramar	Zona con gran cantidad de casas. cuyos drenajes van hacia los canales.
18-julio-2000	IX-94	Canal Aya, para llegar aquí llegamos por la compuerta.	Invernaderos de plantas ornamentales.
18-julio-2000	IX-29	Escalantes	Zona con gran cantidad de casas. cuyos drenajes van hacia los canales.
18-julio-2000	IX-127	Pizocoxpa	Zona de casas e invernaderos
18-julio-2000	IX-124	Pizocoxpa	Casas e invernaderos
24-julio-2000	IX-81	Apatlaco muy cerca de la Santísima	Asentamientos irregulares. escaleras.
24-julio-200	IX-77	Canal de la Santísima por Pizocoxpa	Casas.
24-julio-2000	IX-75	Santísima	Zona de casas y cría de cerdos.
25-julio-2000	IX-23	Jilopa por Seminario y Laguna de San Diego.	Zona con gran cantidad de casas. cuyos drenajes van hacia los canales.
25-julio-2000	IX-20	Seminario	Zona con gran cantidad de casas. cuyos drenajes van hacia los canales.

c) Descargas de Plantas de Tratamiento: Son los puntos donde se recarga con agua tratada los canales.

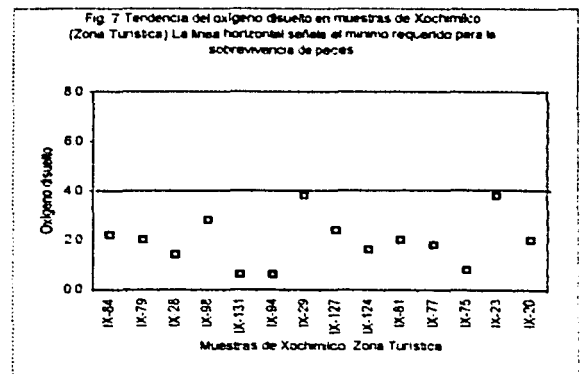
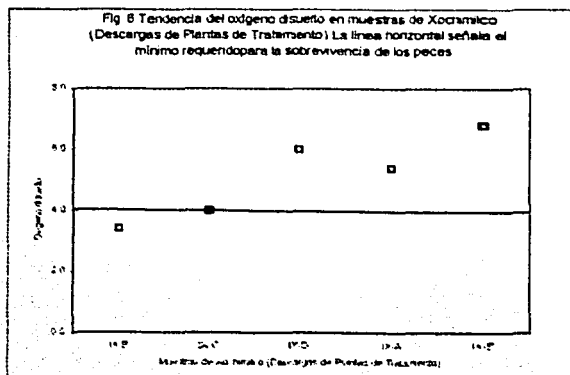
Tabla 14. Localización y características de las Descargas de las Plantas de Tratamiento de Xochimilco.

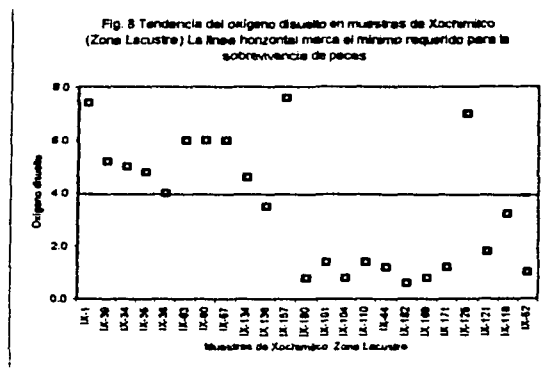
Fecha de Muestreo	Clave	Ubicación del Sitio	Observaciones
14-agosto-00	IX-A	Salida de la planta de tratamiento	
14-agosto-00	IX-B	Salida de la planta de tratamiento	Club de remo Antares por Canal Nacional, cerca del campamento la Draga.
25-julio-2000	IX-C	Cerro de la Estrella Salida de la planta de tratamiento	Se encuentra en la Santísima.
14-agosto-00	IX-D	Salida de la planta de tratamiento	Laguna de Xaltocan.
16-agosto-00	IX-E	Salida de la planta de tratamiento	San Gregorio (agua sucia)

Interpretación de los resultados de las Muestras de Xochimilco.

• Oxígeno disuelto en muestras de Xochimilco.

A continuación se muestra la tendencia según la zona de muestreo.

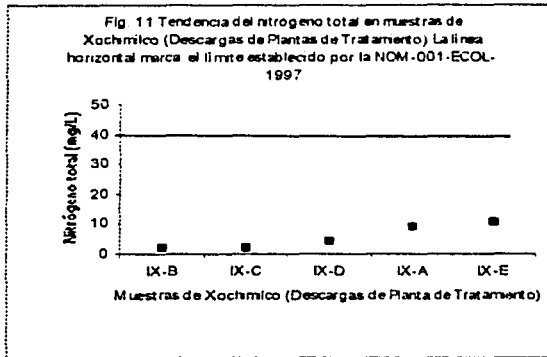
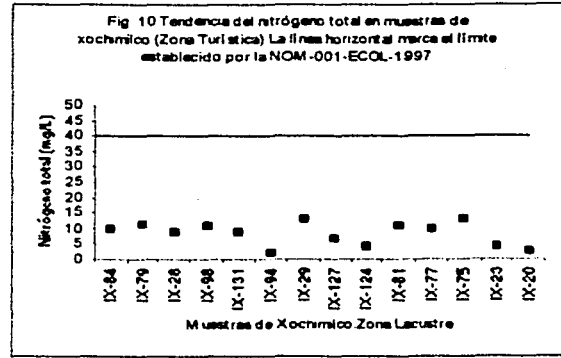
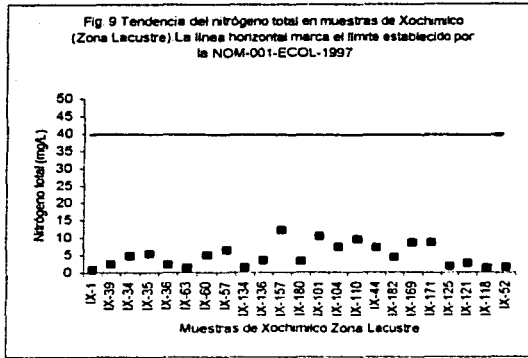




Como se sabe el oxígeno disuelto en el agua afecta principalmente las reacciones de óxido-reducción en compuestos que contienen nitrógeno y azufre. No se recomienda ningún valor guía porque la aceptabilidad de concentraciones bajas de oxígeno disuelto depende de la presencia de otros componentes del agua. No obstante, es conveniente mantener esas concentraciones tan cerca como sea posible de la saturación y para lograrlo las concentraciones de las sustancias biológicamente oxidables, incluido el amoníaco deben ser las más bajas posibles. Si consideramos que se requiere un mínimo de 4.0 mg/L de oxígeno disuelto para que puedan sobrevivir la mayoría de los peces y que el valor para la saturación del agua es de 9.6 mg/L aproximadamente para la presión en la Ciudad de México, la concentración es reportada en las tres zonas es relativamente baja, siendo la zona lacustre la que presenta mejores condiciones con respecto a éste parámetro.

- Nitrógeno total en muestras de Xochimilco.

Para poder comparar los resultados obtenidos con lo que marca la NOM-001-ECOL-1997 fue necesario obtener la cantidad en mg de Nitrógeno total contenido en el nitrógeno amoniacal y en los nitratos por medio de factor unitario (multiplicando 14/17 y 14/62 respectivamente) y posteriormente adicionar ambas cantidades.

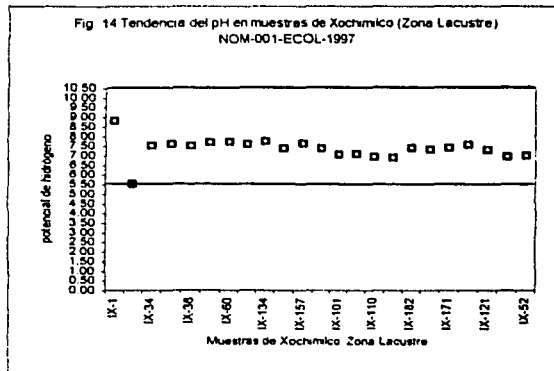
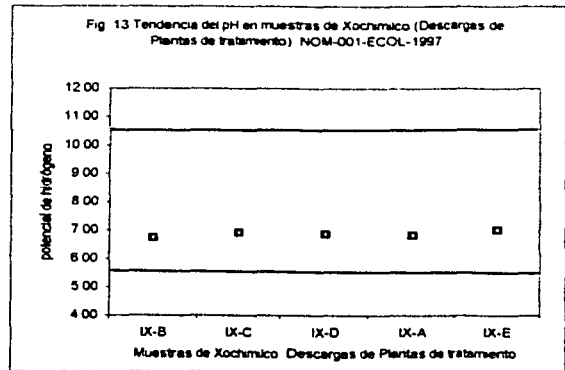
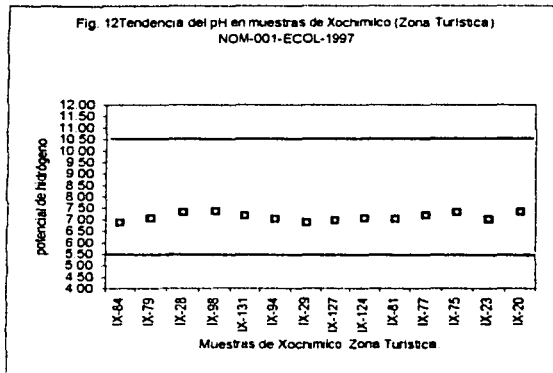


En las tres zonas se puede apreciar que las concentraciones de Nitrógeno Total se encuentran dentro de los límites permisibles señalados por la norma, aunque se detectó nitrógeno amoniacal esto puede ser atribuido a la presencia de fertilizantes o alto contenido de bacterias anaeróbicas.

Es importante llevar un control estricto para que las descargas de las plantas de tratamiento estén dentro de los parámetros que fija la norma así como asegurar que de la zona urbanizada no se descarguen las aguas residuales a los canales sino más bien a un sistema de alcantarillado.

•pH en muestras de Xochimilco.

En las siguientes figuras se muestran los intervalos de pH de acuerdo a la NOM-001-ECOL –1997 y se puede apreciar que en los tres casos las muestras están contenidas dentro de ese intervalo lo que significa que el agua es de calidad aceptable para riego.



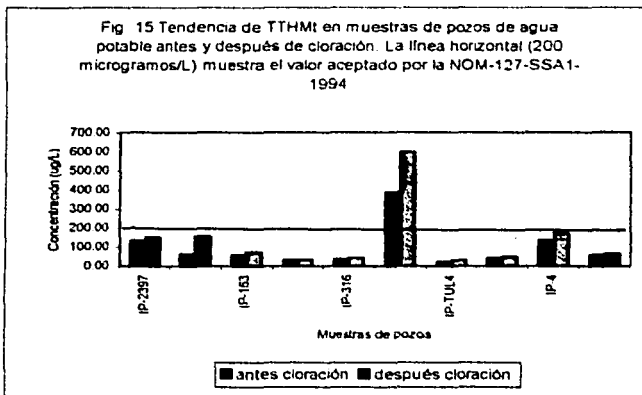
- Trihalometanos y cloro residual en muestras de Xochimilco.

En la Norma Oficial Mexican NOM-001-ECOL-1997 no se establece ningún límite para estos dos parámetros. No se encontró una norma internacional que muestre algún límite para dichos parámetros en aguas residuales. Por lo que no se hizo ningún análisis cuantitativo , aunque los valores de ambos parámetros son muy bajos en todas las muestras.

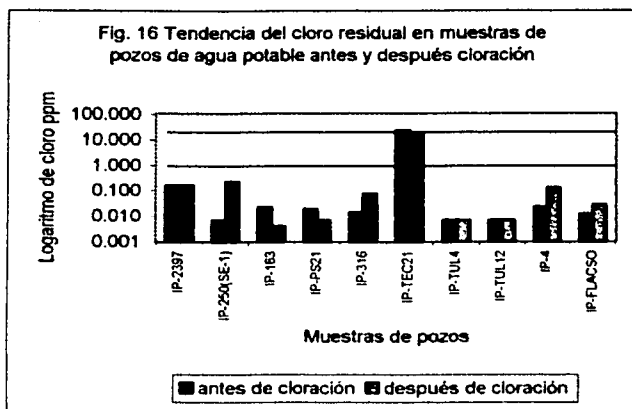
Interpretación de los Resultados de las Muestras de Pozos.

Tal y como se menciona en el proceso experimental se efectuaron análisis en los pozos de agua antes y después de cloración, obteniendo los siguientes resultados:

- Trihalometanos en muestras de pozos.



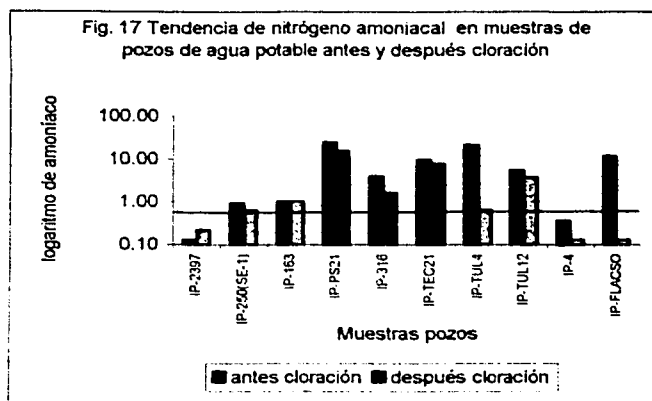
La tendencia observable en esta gráfica es que la cantidad de trihalometanos presente en el agua aumenta ligeramente después de la cloración aunque las concentraciones en general no alcanzan a exceder los límites fijados por la norma en ninguno de los dos casos, a excepción del pozo IPTEC 21, en el cual incluso antes de clorar existía una concentración superior a la marcada por la norma.

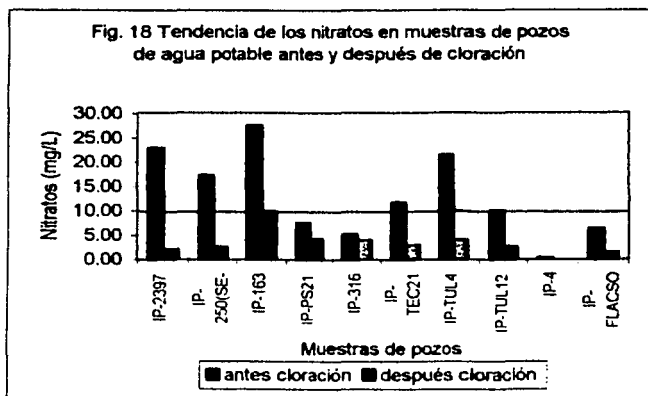


•Cloro residual en muestras de pozos.

En general las concentraciones de cloro no se encuentran dentro de los límites establecidos por la norma mexicana vigente, esto tiene implicaciones negativas, ya que la desinfección que propicia la destrucción o inactivación de microorganismos patógenos especialmente bacterias no está cumpliendo con su función. Es posible afirmar que el sistema de cloración es deficiente.

•Nitratos y nitrógeno amoniacal en muestras de pozos.

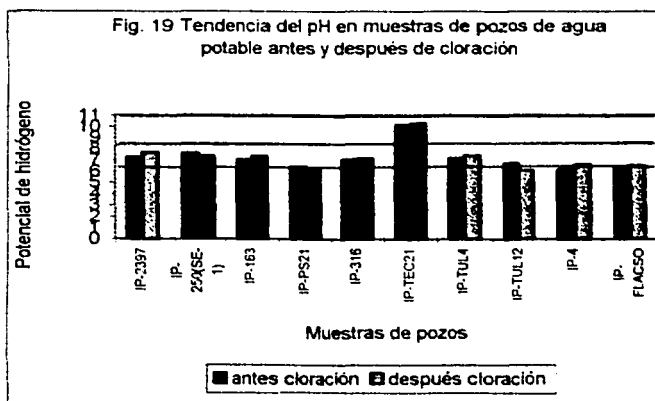




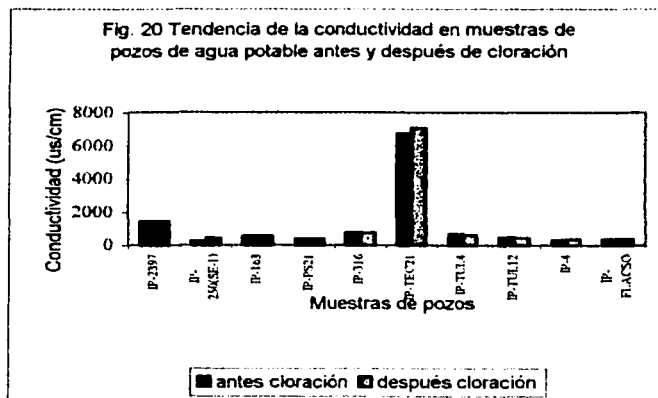
A partir de estas gráficas podemos intuir que las colonias de bacterias disminuyeron ya que la concentración de nitratos se reduce drásticamente por debajo de la concentración que establece la norma. No se puede decir que fue debido al proceso de cloración por que el cloro como ya se vio esta fuera de norma; sin embargo, esto se puede deber a otros factores, los cuales no se estudiaron como sedimentación o aereación del agua.

•pH y conductividad en muestras de pozos.

En la figura 19 observamos que el pH está dentro del intervalo que marca la norma aunque después de cloración se aprecia un ligero incremento en los valores del mismo debido probablemente a la sosa del hipoclorito.

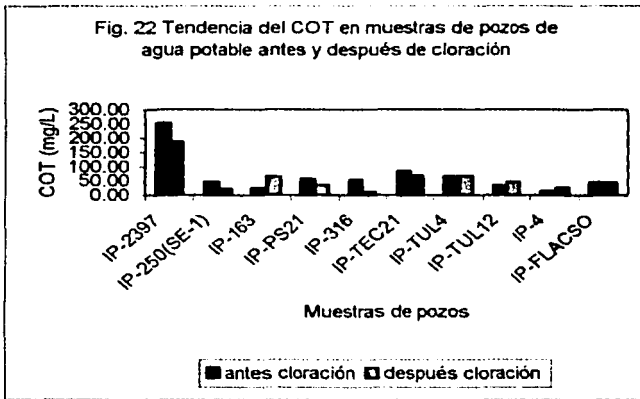
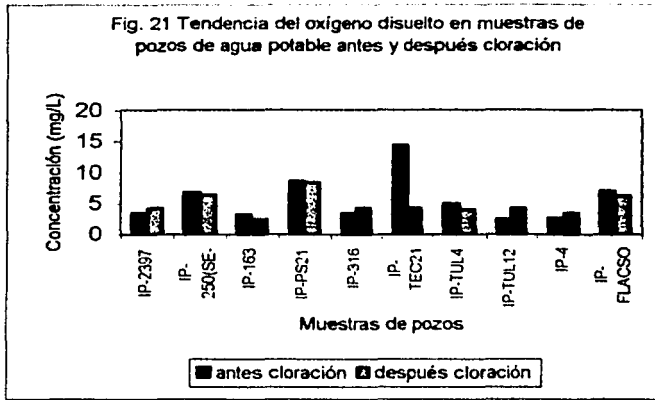


Uno de los principales propósitos de la regulación del pH es reducir al mínimo la corrosión y las incrustaciones en el sistema de distribución que son consecuencia de las complejas relaciones entre el pH y el dióxido de carbono, la dureza, la alcalinidad y la temperatura.



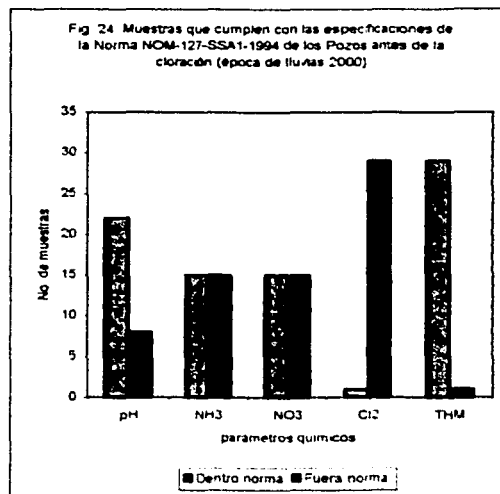
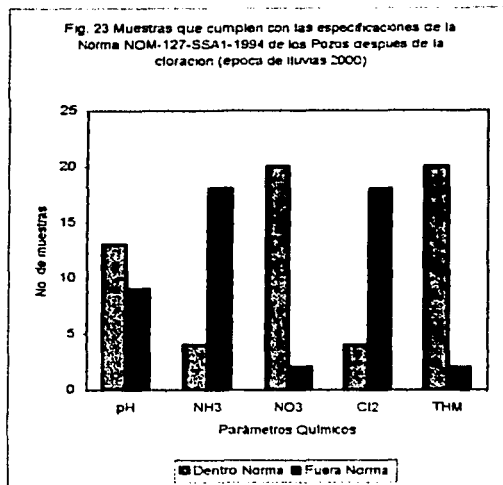
En este caso la conductividad presenta variaciones muy pequeñas antes y después de cloración, esto puede deberse a que la presencia de iones en solución no se ve alterada pues la pérdida de nitratos u otros iones antes de cloración, se compensa con la adición del hipoclorito de sodio.

•Oxígeno disuelto y COT en muestras de pozos.



De estas gráficas se puede apreciar que no existe una relación aparente entre la formación de trihalometanos y el oxígeno disuelto, simplemente que el contenido de este último en las muestras depende básicamente de la aereación del agua.

Analizando los resultados obtenidos de acuerdo a la cantidad de muestras que cumplían con la norma correspondiente se obtuvo lo siguiente:



El pH muestra una disminución en la cantidad de muestras contenidas dentro de la norma, ya que antes de la cloración el porcentaje de las mismas fue de 73% mientras que después de cloración fue de 59%. Esto debido a que durante el proceso de cloración se utiliza hipoclorito que contiene sosa lo cual afecta directamente al pH.

El amoníaco también presenta una reducción en el número de muestras que entran dentro de la norma, del 50% antes de cloración al 18% después del proceso. A pesar de que debería existir una disminución de la contaminación bacteriana la cual se refleja por medio de este parámetro se obtiene una respuesta contraria, lo cual se puede atribuir a que los tanques de cloración no reciben el mantenimiento y lavados adecuados presentando una gran acumulación de moho y hongos.

El cloro aumenta del 3% al 18% de muestras dentro de norma, esto es lógico si consideramos que el agua extraída de los pozos no contienen cloro, sin embargo se esperaría el 100% o por lo menos un 90% después de cloración para poder decir que el proceso se efectúa de manera eficiente. Esto tiene consecuencias relacionadas con aspectos microbiológicos al no cumplir con su objetivo como desinfectante.

Las tablas 15 y 16 muestran que los productos clorados de los THM en las muestras de pozos de agua potable antes y después del proceso de cloración son mucho más altos que los bromados. Los niveles de residuos de los THM siguen el siguiente orden: cloroformo, bromodichlorometano, dibromoclorometano y bromoformo

Tabla 15. Porcentajes relativos de cada THM en el total del THMt encontrados en las muestras colectadas en los pozos de extracción de la ZMCM antes del proceso de cloración:

Cloroformo	59.97%
Diclorobromometano	20.94%
Dibromoclorometano	9.26%
Bromoformo	9.82%

Tabla 16. Porcentajes relativos de cada THM en el total de THMt encontrados en las muestras colectadas en pozos de extracción de la ZMCM después del proceso de cloración:

Cloroformo	55.60%
Diclorobromometano	23.66%
Dibromoclorometano	11.60%
Bromoformo	9.14%

Este orden indica en estas muestras que la concentración de los THM es proporcional al cloro residual encontrado. Esta afirmación está relacionada con la presencia de cloro en algunas de las muestras recolectadas durante el período de estudio y el intervalo para las muestras tomadas antes del proceso de cloración está entre [0.007 – 22.329] mg/L y para las recolectadas después del proceso está entre [0.007-19.091] mg /L.

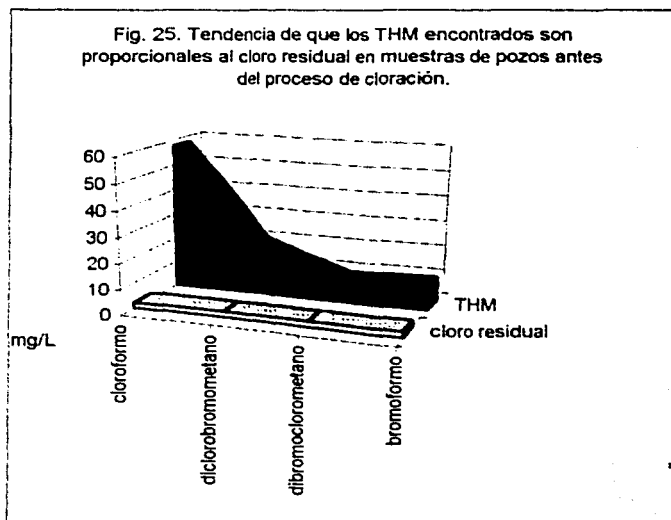
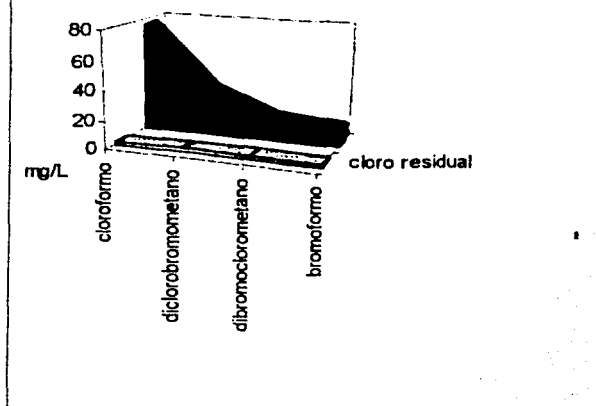


Fig. 26. Tendencia de que los THM encontrados son proporcionales al cloro residual en muestras de pozos después del proceso de cloración.



Para comprobar la hipótesis propuesta en esta tesis era cierta, se hizo una regresión múltiple, la cual es un método estadístico que se utiliza para hacer predicciones y en especial optimizaciones, determinando que valores de la variable(s) independiente(s) tienen un máximo o un mínimo con base a las variables dependientes.

Los métodos estadísticos de predicción y optimización son nombrados en general como *análisis de superficie respuesta*. Existen dos métodos de este tipo: la *regresión múltiple* y la *experimentación factorial*.

La regresión múltiple se realizó con el Programa "Origin" y se realiza de la siguiente manera $n (r+1)$ -tiples $(x_1, x_2, \dots, x_r, y)$, donde las x 's son considerados como conocidos sin error mientras que los valores y 's son valores aleatorios. Para este caso las y 's son los valores de los trihalometanos totales y las x 's son los parámetros químicos.

Los datos se dividieron como se han venido separando: a) Zona Turística, Zona Lacustre y Zona de Descargas de Plantas de Tratamiento, b) Pozos antes de clorar y c) Pozos después de clorar.

Siendo estas las variables consideradas:

Dependiente: Columna(A): trihalometanos
 Independiente: Columna(B): profundidad del canal
 Columna(C): temperatura
 Columna(D): conductividad
 Columna(E): pH
 Columna(F): oxígeno disuelto
 Columna(G): amoníaco
 Columna(H): nitratos
 Columna(I): cloro residual
 Columna(J): carbono orgánico total

Tabla 17. Regresión Múltiple de los resultados obtenidos las muestras de Xochimilco (Zona Lacustre, Zona Turística y Descargas de Plantas de Tratamiento). (Origin, 2001)

Parámetro	Valor	Error	t-Valor	Prob> t
A	0.81377	0.24322	3.34573	0.00211
B	0.09879	0.18566	0.53212	0.59832
C	0.00913	0.23465	0.03893	0.96919
D	-0.76182	0.22353	-3.40816	0.00178
E	-0.41808	0.32143	-1.3007	0.20265
F	-0.02592	0.17546	-0.14773	0.88349
G	-0.38135	0.26325	-1.44866	0.15716
H	-0.00639	0.14961	-0.04272	0.96619
I	-0.32123	0.26395	-1.21702	0.2325
J	0.08462	0.17688	0.47839	0.63562

Y para los datos de los pozos:

Dependiente: Columna(A): trihalometanos
 Independiente: Columna(B): temperatura
 Columna(C): conductividad
 Columna(D): pH
 Columna(E): oxígeno disuelto
 Columna(F): nitratos
 Columna(G): amoníaco
 Columna(H): cloro residual
 Columna(I): carbono orgánico total

Tabla 18. Regresión Múltiple de los datos de las muestras de los pozos antes del proceso de cloración. (Origin,2001)

Parámetro	Valor	Error	t-Valor	Prob> t
A	0.11068	0.05171	2.14039	0.04712
B	0.06491	0.10373	0.62571	0.53982
C	-0.35528	0.37749	-0.94117	0.3598
D	-0.13081	0.22587	-0.57914	0.57009
E	-0.06133	0.11754	-0.52173	0.60859
F	1.07495E-4	0.0679	0.00158	0.99876
G	-0.07713	0.07295	-1.0573	0.30517
H	1.01406	0.40828	2.48375	0.02372
I	0.10367	0.10281	1.00838	0.32741

Tabla 19. Regresión Múltiple de los datos de las muestras de los pozos después del proceso de cloración. (Origin,2001)

Parámetro	Valor	Error	t-Valor	Prob> t
A	0.11829	0.06023	1.96401	0.0753
B	-0.04134	0.1609	-0.2569	0.802
C	-0.4729	0.75905	-0.62302	0.54597
D	0.18044	0.24645	0.73217	0.47938
E	-0.04348	0.166586	-0.26216	0.79804
F	-0.27416	0.27441	-0.99909	0.33992
G	-0.0748	0.2035	-0.36758	0.72016
H	1.40522	0.7085	1.98336	0.07285
I	0.14178	0.18582	0.76303	0.4615

Donde el valor es el coeficiente de la ecuación del tipo: $Y' = \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_r x_r$; t-Valor es la t de Student calculada y $\text{Prob}>|t|$ es *calculada* $>$ *tabulada*, por lo que se puede apreciar que los coeficientes con mayor valor pesarán más en la ecuación así como los que tenga un valor más pequeño de $\text{Prob}>|t|$ ya que si el valor de t calculado es mayor que el valor tabulado, las dos series de resultados son significativamente diferentes para el nivel de confianza considerado (99).

Así que para los datos de las muestras de Xochimilco los coeficientes que cumplan con estas dos condiciones son los trihalometanos en sí mismo y la conductividad. Lo que implica que la conductividad está fuertemente relacionada con la formación de los trihalometanos en la zona de Xochimilco.

Para las muestras de los pozos antes del proceso de cloración y después del proceso de cloración son los trihalometanos por sí mismos y el cloro residual.

CONCLUSIONES

Considerando la evidencia de los efectos en la salud que se produce por la ingestión de trihalometanos, en diversos países se han establecido regulaciones para trihalometanos totales. La Secretaría de Salud ha establecido un límite permisible de trihalometanos totales de 200 $\mu\text{g/L}$ para agua potable (DOF 1996). Sin embargo en Estados Unidos se requiere un máximo de 80 $\mu\text{g/L}$ (US EPA, 1998). De acuerdo a los resultados obtenidos fue posible verificar que en el caso del agua potable existe un pozo en particular que excede los 200 $\mu\text{g/L}$ (IP-TEC21) desde antes de la cloración, sin embargo una vez efectuado el proceso de cloración la concentración prácticamente se duplica, teniendo un caso similar en el pozo IP250 (SE-1) en el cual antes de clorar la concentración es inferior a los 70 $\mu\text{g/L}$ pero una vez efectuado este proceso se presenta un aumento aproximado al 150 por ciento

En todos los pozos analizados se observa un incremento en la concentración de trihalometanos posterior al proceso de cloración que como mínimo tiene un incremento del 9 por ciento y un máximo del 157 por ciento. Si bien los niveles de trihalometanos se encuentran en casi todos los pozos por debajo del límite permisible que indica la norma oficial mexicana se observa que la cloración produce THMt, pues al existir materia orgánica y reaccionar ésta con el cloro residual se incrementa la formación de compuestos clorados, por lo que es deseable controlar este parámetro antes del proceso de desinfección.

Por otra parte se pudo comprobar que después de efectuar el proceso de cloración el cloroformo disminuye en proporción a los otros trihalometanos, mientras que para el bromoformo, diclorobromometano y dibromoclorometano estos aumentan su proporción, debido a que el medio básico favorece la introducción del bromo a la materia orgánica.

Respecto a la materia orgánica presente y a su influencia en la formación de trihalometanos, fue posible comprobar su importancia efectuando una prueba de hipótesis de una variable (programa origen) donde después del cloro residual la siguiente variable fundamental fue el Carbono orgánico Total, el cual está relacionado directamente con la materia orgánica. Por lo tanto es posible concluir que la hipótesis planteada es correcta también en lo referente a la materia orgánica.

En la zona de Xochimilco (turística, lacustre y de descargas) la media de concentración de Carbono Orgánico Total medida fue de 127 mg/L, mientras que para los pozos de agua potable fue de 47 mg/L, lo cual obedece a los parámetros recomendados para materia orgánica presente en el agua potable y obtener así la calidad del agua requerida en aspectos físicos como son: color, olor, sabor etc. Por esta y otras razones es que el agua potable es filtrada antes de que llegue al consumidor siendo esta uno de los motivos por los cuales la materia orgánica presente y medida a través del COT disminuye después de efectuar el proceso de cloración, pues la mayoría de los filtros se ubican antes de los tanques de cloración.

En lo que se refiere al nitrógeno amoniacal se observó una disminución en la concentración de este compuesto en las muestras tomadas después de llevarse a cabo el proceso de cloración, lo cual puede ser atribuido a que las bacterias del género nitrosomonas son oxidadas por el hipoclorito de sodio, aunque existen otros factores que influyen en este proceso como puede ser: la filtración, sedimentación u oxigenación del agua durante el proceso de cloración. El rango de disminución en porcentaje para la concentración de nitrógeno amoniacal después del proceso de cloración alcanza valores de hasta el 99 por ciento y tiene una media del 49%. De la prueba de hipótesis de una variable se pudo constatar que no existe relación directa entre la formación de trihalometanos y la presencia de nitrógeno amoniacal.

Respecto a los nitratos, el 100% de los pozos se encuentran dentro de norma una vez efectuado el proceso de cloración, lo cual indica una disminución en el contenido de las bacterias del género nitrobacter.

De acuerdo a lo anteriormente mencionado el cloro residual es una variable fundamental en la formación de trihalometanos, sin embargo algo que se pudo observar fue que las concentraciones de cloro no están debidamente controladas, ya que antes de cloración aproximadamente el 97% de las muestras tomadas está fuera de los límites establecidos por la norma mexicana (127-SSA1-1994) y después del mismo proceso alrededor del 83% están fuera de norma; para las tres zonas de Xochimilco el 100 por ciento de las muestras están fuera de norma.

REFERENCIAS

1. Hites RA, Bieman K (1972) Science 178:158
2. Lucas SV (1985) GC/MS analysis of organics in drinking water concentrates and advanced treatment concentrates. National Technical Information Service, Springfield, Virginia.
3. Westrick JJ (1990) In: Ram, Chrisman R, Cantor k (eds) Significance and treatment of organic compounds in water supplies. Lewis, Chelsea, MI (in press)
4. Rook JJ (1974) J. Soc. Water Treat. Exam. 23:234
5. Bellar TA, Lichtenberg JJ, Kroner Rc (1974) J. Am. Water Works Assoc. 66:703
6. Connell, J., 2000. The chlorination/Chloramination Handbook. American Water Works Association, U.S.A., Water Disinfection Series, pag. 12-50
7. Chen, W.J., Weisel, C.P. (1998). Halogenated DBP concentrations in a distribution system. Journal AWWA 90:151-163
8. <http://www.cepis.org.pe/eswww/fulltext/repind53/rea/rea.html>
9. Hutzinger, O. 1991. The Handbook of Environmental Chemistry. Springer-Verlag, Alemania, quinta Edición, volumen 5, Parte A, pag. 1-43.
10. Folleto publicado por la CNA, agosto 1999.
11. Folleto publicado por la CNA, enero 2000.
12. Garza, G, 2000. La Ciudad de México en el fin del Segundo Milenio. Colegio de México, México, pag. Varias.
13. APHA, AWWA, WPCT, 1998. Métodos normalizados para el análisis de agua potable y residuales. Ed. Diaz de Santos, España, 17ª edición, Capítulo 5, pag. 20-49.

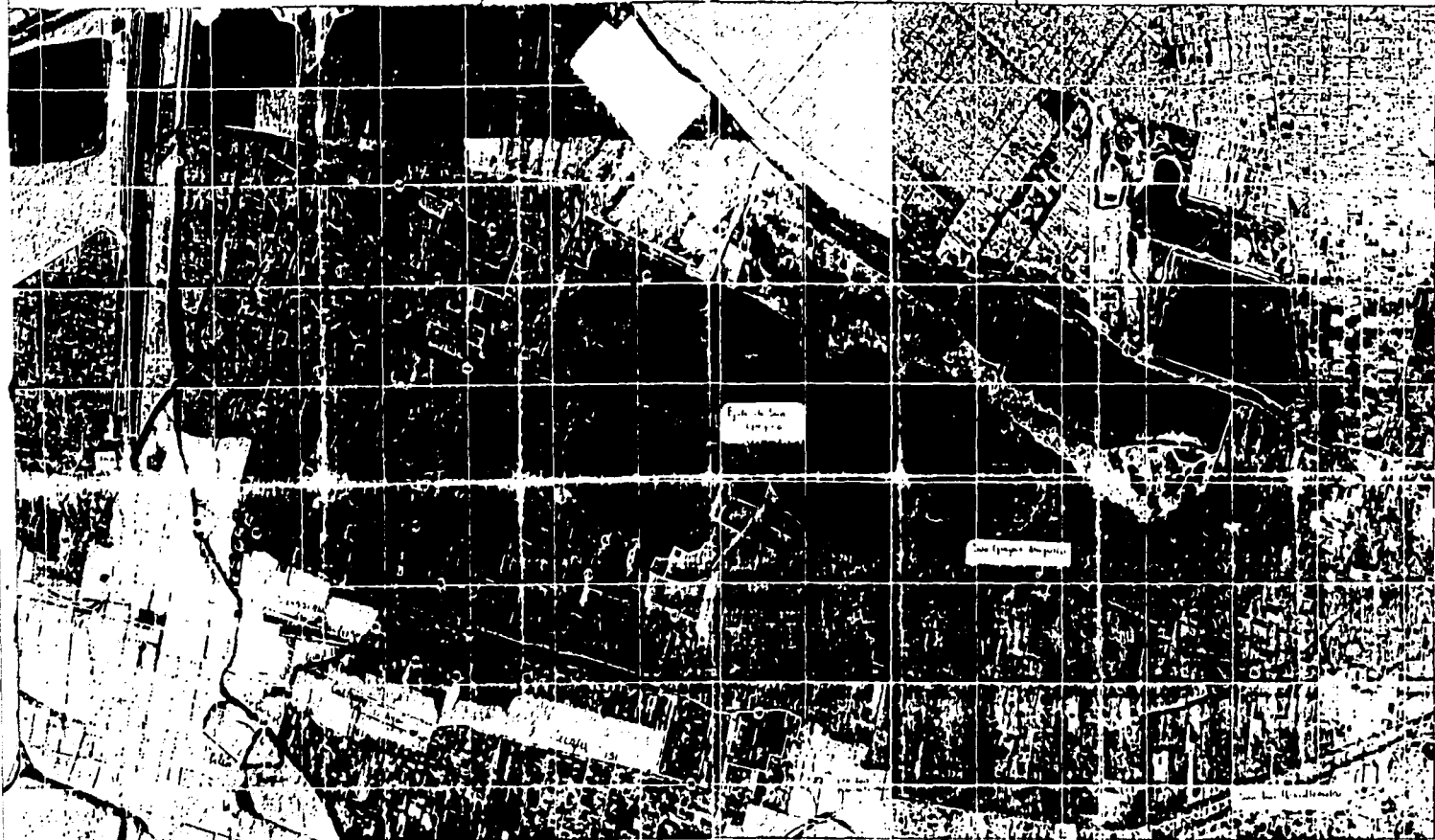
14. Pojasek, R., 1997. Drinking Water Quality Enhancement Through Source Protection. Ann Arbor Science Publisher Inc. U.S.A., pag 393-416.
15. AWWA, 1990. Water Quality and Treatment: A handbook of Community Water Supplies. Mc Graw Hill, U.S.A. , 4ª edición, pag. Varias.
16. Encyclopedia of Chemical Technology Kirk-Othmer, 1984, John Wiley & Sons, U.S.A. 3ª edición, Volumen 24, pag. 315-441.
17. Atkins, 1991, Fisicoquímica. Addison-Wesley Iberoamericana, U.S.A., 3ª edición, pag. Varias.
18. Harris, 1992. Análisis Químico Cuantitativo. Grupo Editorial Iberoamérica. México, pag. Varias.
19. Dodds, L. King, W., Woolcott (1999) Trihalometanes in Public Water Supplies and adverse Birth Outcomes. Epidemiology Resources Inc. 10:233-237.
20. Cantor, K, Lynch C.F., Hildesheim, M.E., Dosemeci, M, (1997). Drinking Water source and Chlorination Byproducts I. Risk of Bladder Cancer. Epidemiology Resources Inc. 9:21-28.
21. Cancho B, Ventura F, Galceran T (1990). Determination and Behaviour of Disinfection By-Products at the water Treatment Plant of Barcelona (Spain)
22. <http://pubs.acs.org/isubscribe/journals/esthag-a/32/123/html/betts.html>
23. James, A.T. and Martin, J.P. (1951) Biochemistry Journal Processing 48:70-76
24. Mc Nair, H.M. and Bonelli, E.J. 1970. Basic Gas Chromatography, 6ª edición, Varian Aerograph, California.
25. Mazari, M., Hernández, C., Rojo, F. 1999. Trihalometanos y Haloácidos en agua de la zona Sur de la Ciudad de México. Congreso de Química Analítica.

ANEXO I



Proyecto: Censo de Productores y Chinampas

ANEXO II



Simbología

Esferoide de Clark 1866
Proyección Universal Transversa
de Mercator
Cuadrícula UTM cada 500 metros

Escala 1:10 000

0 250 500 750 1000 1250 1500
Metros



Plano Llave



CIUDAD DE MEXICO

Gobierno del Distrito Federal
Delegación de Xochimilco
Subdelegación Plan Lago



Chinampas no productivas