

00578

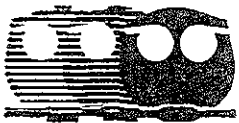


UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO

INFLUENCIA DEL AGUA DE RIEGO SOBRE LA
CALIDAD DEL AGUA SUBTERRANEA DEL
DR-03:COMPUESTOS ORGANICOS

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRO EN CIENCIAS QUIMICAS
(QUIMICA AMBIENTAL)
P R E S E N T A :
Q.A. LUZ MARIA VERONICA GARCIA MANZANO



MEXICO, D. F.

2000



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

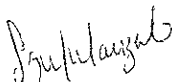
Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

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

JURADO

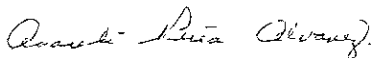
PRESIDENTE	M. en C SANTIAGO CAPELLA VIZCAÍNO
VOCAL	Dra. LUZ ELENA VERA ÁVILA
SECRETARIO	Dra. MA AURORA ARMIENTA H.
PRIMER SUPLENTE	Dra. PATRICIA GARCÍA CAMACHO
SEGUNDO SUPLENTE	Dra. EVANGELINA CAMACHO FRÍAS

La presente investigación se desarrolló en el Laboratorio de Cromatografía de Gases de la División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Química, en la Universidad Nacional Autónoma de México



SUSTENTANTE

Q.A LUZ MARIA-VERÓNICA GARCÍA MANZANO



DIRECTOR

Dra. ARACELI PEÑA ALVAREZ

Dedicatorias

*Especialmente dedicada a Manolo, la fuerza vital que me anima, apoya
y aconseja siempre*

A mis Padres por el amor y apoyo que en todo momento recibo

A mis hermanos y sobrinos por todo el cariño y aliento

A mis muy queridas Ecel y chiquita, donde quiera que se encuentren

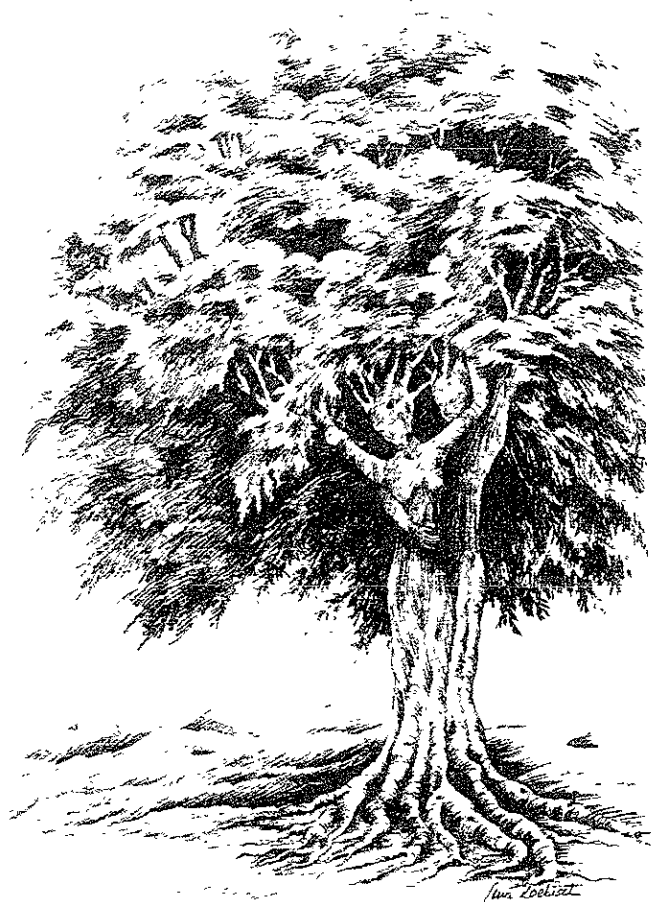
A mis amigos

Gracias Araceli por todas las enseñanzas, apoyo y cariño

*Agradezco a CONACYT y a la Dirección General de Estudios de
Posgrado por la beca otorgada Así como a mis Maestros por la
instrucción recibida*

*Es verdad que el
cambio conlleva el
riesgo del fracaso,
esa es la principal
razón del temor a la
libertad*

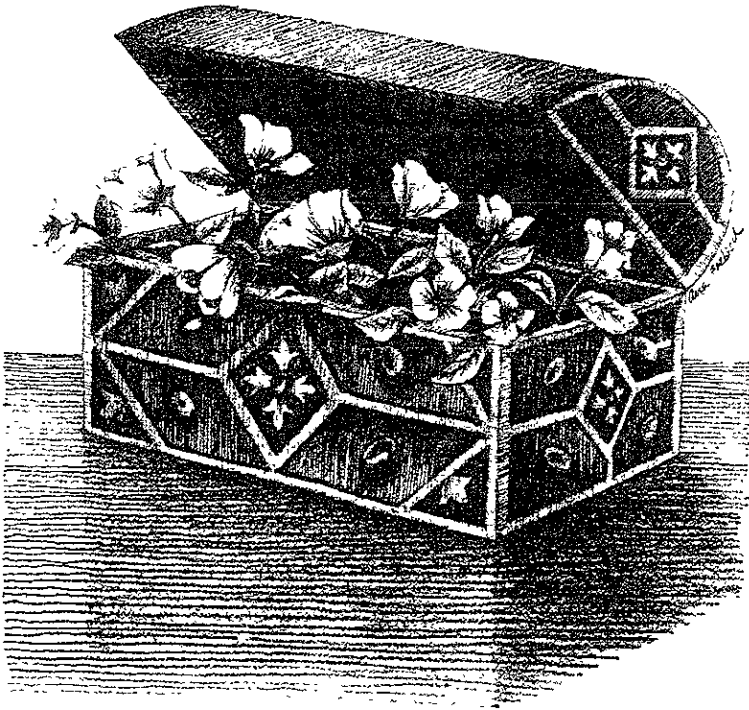
*Pero también es
verdad que en la
vida no hay errores,
sólo lecciones que
aprender*



Luís Loeblich

Agradezco especialmente las enseñanzas de Santiago Capella

La verdadera riqueza. está más allá de lo tangible



INDICE

1. RESUMEN	5
2. INTRODUCCIÓN	6
3. OBJETIVOS	7
4. ANTECEDENTES	
4.1 Descripción del Distrito de Riego 03	
4.1.1 Generalidades	8
4.1.2 Geología	13
4.1.3 Hidrogeología	15
4.1.4 Balance del DR-03	17
4.1.4 Legislación Mexicana para agua potable y tratada	18
4.2 Agua de Riego: Agua del drenaje de la Ciudad de México	20
4.2.1 Calidad del agua del drenaje	24
4.2.2 Legislación Mexicana para agua negra	25
4.3 Instrumentación Analítica	
4.3.1 Micro Extracción en Fase Sólida	28
4.3.2 Trampa de Retención	33
5. DESARROLLO EXPERIMENTAL	
5.1 Materiales y Métodos	33
5.2 Muestreo	36
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	
6.1 Generalidades	41
6.2 Caracterización del Agua Negra	53
6.3 Caracterización del Agua Subterránea	58
6.4 Caracterización del Grupo de Trazadores	62
6.5 Caracterización del Agua Tratada	64
6.6 Caracterización del Agua Potable	69
7. CONCLUSIONES	76
8. RECOMENDACIONES	77
9. ANEXOS	
9.1 Legislación de Estados Unidos para agua potable y residual	78
9.2 Cromatogramas	87
9.3 Prueba estadística	90
10. BIBLIOGRAFIA	92

Abstract

The underground water of the Irrigation District 03 (DR-03) is the principal source of supply for the urban, industrial, agricultural and cattle use, of a population of approximately 500 000 persons in the Hidalgo State (1) Situation which emerges the need of evaluating the impact of the reuse of the residual waters generated in the Valley of Mexico, as water for irrigation and its secondary effect, recharging the underground water.

The present investigation in cooperation with the Engineering Institute, intends to evaluate the quality of the underground water referred to organic compounds; in other words, the evaluation of the influence of the black water in the underground water, the qualitative characterization of each one of them and the establishment of the concentration orders of the organic compounds that they will be considered risky for the health by their toxicity.

As preliminary study, we were chosen three sites of water sampling underground (Tezontepec, San Salvador and Tlaxcoapan) and two wastewater (West and Central Emitting) Also, we were taken treated water samples (Cerro de la Estrella Plant) and drinkable water (in Xochimilco and a Laboratory of the Engineering Institute) in order to have references of quality to compare the underground water.

For the analysis was used the analytical methodology proposal by S. Capella and A. Pegueros (Master Thesis, F.Q., UNAM, unpublished- in which was carried out the analytical development for analysis wastewater and treated water), making modifications to adjust the technique with the current samples. The analytical methodology was:

- a) Extraction and preconcentration by Solid Phase MicroExtraction (SPME), with two different phases, in order to encompass the greater organic compounds presents.
- b) Qualitative Analysis, using the coupled system of Gas Chromatography - Mass Spectrometry.
- c) Analysis Semiquantitative, in which were established orders of compounds concentration organic as alquil aromatics, alquil di-aromatics, halogenated aromatics and phenols.

As result of the qualitative analysis of the underground water were found organic compounds of various chemistry families, finding a same group of compounds in the underground water as well as in the wastewater, founding the link between these two types of waters due to the infiltration. To this group was assigned the tracers name.

Comparing the composition of the underground water with the treated water it was found 50% less compounds in the first.

With respect to the comparison of the composition of the underground water against drinking water, was found a similar quantity of organic compounds in them, therefore the underground water can be considered of an equivalent quality like the drinkable water. The concentration levels of alquil-aromatics, alquil di-aromatics and halogenated aromatics in the underground water, they do not surpass the maximum limits established by United States for drinking water. Only is surpassed the value by phenols in the Mexican legislation (NOM-SSA-127) in the underground water situation that also was presented for one of the samplings of the drinkable water of Xochimilco

With the results of this work, we count for the first time, with a preliminary list of the organic material composition of the underground water of the DR-03, as well as a notion of the concentration order of the pollutants that they could be considered risky. However, it is recommendable repeat and widen this study so that it will be considered as representative of the DR-03.

FLUENCIA DEL AGUA DE RIEGO SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA DEL DR-03 COMPUESTOS ORGÁNICOS

RESUMEN

El agua subterránea del Distrito de Riego 03 (DR-03) es la principal fuente de abastecimiento para el sector urbano, industrial, agrícola y pecuario, de una población de aproximadamente 500 000 personas en el Estado de Hidalgo (1); situación por la cual surge la necesidad de evaluar el impacto del reuso de las aguas residuales generadas en el Valle de México, como agua para riego agrícola y que al infiltrarse, recarga los acuíferos

La presente investigación en colaboración con el Instituto de Ingeniería, pretende evaluar la calidad de la agua subterránea referida a compuestos orgánicos, es decir, la evaluación de la influencia del agua negra en el agua subterránea, la caracterización cualitativa de cada una de ellas y el establecimiento de los órdenes de concentración de los compuestos orgánicos encontrados que sean considerados riesgosos para la salud, por sus propiedades de toxicidad.

Existen múltiples citas referidas a la mala calidad del agua subterránea del DR-03, sin embargo pocas son soportadas en base a mediciones. Cabe mencionar que es el primer estudio con el contexto de compuestos orgánicos, pues anteriormente se ha evaluado la composición del agua subterránea por medio de la medición de sales disueltas (2), de metales en suelo (3) y parámetros fisicoquímicos en suelo (4,5).

Como estudio preliminar, se eligieron tres sitios de muestreo de agua subterránea (Tezontepec, San Salvador y Tlaxcoapan) y dos de agua negra (Emisores Central y Poniente). Así mismo, se tomaron muestras de agua tratada (planta Cerro de la Estrella) y de agua potable (de un pozo en Xochimilco) de un laboratorio del Instituto de Ingeniería) con el fin de tener referencias de calidad para comparar el agua subterránea.

Para el análisis se utilizó la metodología analítica propuesta por S. Capella y A. Pegueros (Tesis de Maestría, F.Q., UNAM, inédita- en la cual se llevó a cabo el desarrollo analítico para el análisis de agua negra y de agua tratada), haciendo modificaciones para ajustar o poner a punto la técnica con las muestras actuales. La metodología analítica se conformó de la siguiente manera:

- Extracción y preconcentración utilizando Micro Extracción en Fase Sólida (MEFS), con dos fases de polaridad diferente, con el fin de abarcar la mayor cantidad de compuestos presentes con diferente estructura molecular. Esta técnica resulta innovadora para la extracción de compuestos orgánicos en agua ya que presenta ventajas sobre las técnicas tradicionales.
- Análisis Cualitativo, utilizando el sistema acoplado de Cromatografía de Gases Capilar-Espectrometría de Masas (CGC-EM), donde se obtiene la separación por medio de la cromatografía y la identificación con el uso del espectrómetro de masas.
- Análisis Semicuantitativo, en donde se establecieron órdenes de magnitud en concentración para compuestos orgánicos como alquili aromáticos, alquili di-aromáticos, aromáticos halogenados y fenoles.

Como resultado del análisis cualitativo del agua subterránea se encontraron compuestos orgánicos de diversas familias químicas encontrando un mismo grupo de compuestos tanto en el agua subterránea como en el agua negra, hecho que pone manifiesto el vínculo existente entre éstos dos tipos de aguas debido a la infiltración. A este grupo se asignó el nombre de trazadores

Comparando la composición del agua subterránea con el agua tratada resultó haber 50% menos compuestos en la primera, aunque en ambos tipos de agua hubo el predominio de compuestos aromáticos

Respecto a la comparación de la composición del agua subterránea con la de agua potable se encontró una cantidad similar de compuestos orgánicos, por lo que el agua subterránea puede considerarse de una calidad equivalente a la del agua potable. Los niveles de concentración de alquii mono-aromáticos, alquii di-aromáticos y aromáticos halogenados en el agua subterránea, no sobrepasan los límites máximos establecidos por Estados Unidos para agua potable. Solo se sobrepasa la norma NOM-SSA-127 para fenoles en el agua subterránea, situación que también se presentó para uno de los muestreos del agua potable de Xochimilco

Con los resultados de este trabajo, se cuenta por primera vez, con un listado preliminar de la composición de material orgánico del agua subterránea del DR-03, así como una noción del orden de concentración de los contaminantes que pudieran considerarse riesgosos. Sin embargo, es recomendable repetir y ampliar este estudio para que sea considerado como representativo del DR-03.

2. INTRODUCCION

Desde el florecimiento de la cultura azteca en la antigua Tenochtitlán, el agua ha sido una preocupación para sus pobladores, en esa época para su desalojo (pues sufrían de inundaciones) y tiempo después para su abastecimiento. El plan propuesto por Enrico Martínez al virrey en 1607 de construir una serie de canales y túneles para drenar los lagos del norte de la ciudad es el primer indicio que se conoce, del desalojo de agua a través del río Tula rumbo al mar (6)

Las condiciones de desalojo cambiaron a fines del siglo XVII, mediante la apertura del Tajo de Nochistongo, construcción que permitió descargar el agua que producía inundaciones. Entonces el volumen de aguas superficiales en la cuenca del río Tula se vio incrementado con aproximadamente 50 millones de metros cúbicos al año. Cantidad que ha sido modificada en función de las obras que actualmente conducen el agua fuera de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM).

A principios del siglo XX, la operación del Gran Canal del Desagüe para la conducción de aguas negras causó disgusto a los pueblos ribereños, por considerarlas nocivas. Sin embargo, al ser utilizadas por los agricultores para el riego, las tierras que antes eran estériles se convirtieron en productivas (7), pues los nutrientes contenidos en el agua sustituyeron el uso de fertilizantes.

Para el año de 1920 la importancia económica de la agricultura debida al riego era creciente, por lo que se diseñó un programa para proporcionar la infraestructura necesaria. La construcción de la presa Requena con una capacidad de 71,000,000 m³ fue terminada en 1926, las presas Taxhimay (50,000,000 m³) y Endhó (182 000,000 m³) fueron concluidas para el año de 1934. La construcción del Emisor Central en 1975 trajo el agua del centro de la ciudad de México y fue reemplazando la salida del río Salado (7,8)

El uso de agua negra infiltrada a los acuíferos usados para el abastecimiento de agua potable puede causar serios problemas de contaminación; sin embargo, una disposición controlada de ésta o parcialmente tratada para ser usada en el riego agrícola, puede proporcionar un recurso adicional con una calidad tolerable. No obstante, se requiere del conocimiento de la hidrogeología de la zona, del proceso de infiltración y del movimiento y degradación de los contaminantes para lograr un manejo eficaz del sistema. Por lo cual la Comisión Nacional del Agua (CNA) tiene planeada la

planta en operación de Plantas de Tratamiento que se encarguen del tratamiento del agua residual generada en la Ciudad de México y su zona conurbada, con el fin de asegurar que el agua utilizada para riego agrícola en Hidalgo, no afecte la salud de sus pobladores, y no se afecte la calidad del agua subterránea. Además que continua la investigación de la región, que inició desde hace 6 años

En 1994 la CNA comenzó un proyecto de investigación trabajando en colaboración con el Grupo de hidrogeología del *British Geological Survey* (8), llevando a cabo la principal investigación de campo de modelado en el área del Valle de Mezquital (que incluye el DR-03). La escuela de Higiene y Medicina Tropical de Londres y su contraparte Mexicana el Instituto Nacional de Nutrición (con el apoyo de la Universidad Nacional Autónoma de México), realizaron los estudios microbiológicos del agua. Respecto al estudio de los recursos hídricos, en especial la evaluación de pérdidas de líquido en los canales de distribución, fueron realizados por la Universidad Birmingham. Este proyecto culminó en 1998, dejando el precedente de estudio más reciente y completo de la zona. Actualmente la CNA con la colaboración del Instituto de Ingeniería de la UNAM, continua realizando investigaciones en la zona.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivos Generales

- 1) Caracterizar cualitativamente el agua subterránea del Distrito de Riego 03 así como el agua negra que entra al distrito
- 2) Buscar evidencia de que el agua subterránea está contaminada con el agua negra
- 3) Evaluar el orden de concentración en que se encuentran los compuestos orgánicos que pudieran presentar riesgo para los usuarios por sus propiedades de toxicidad.

2.2 Objetivos Particulares

1. Establecer el plan de muestreo.
2. Ajustar la metodología de extracción y análisis propuesta por S. Capella y A. Pegueros para llevar a cabo la determinación de compuestos orgánicos en agua
3. Llevar a cabo la identificación y cuantificación parcial.
4. Verificar, de acuerdo a los resultados obtenidos, el grado de concordancia y cumplimiento, del agua negra, agua tratada y agua potable con la normatividad nacional vigente

puesta en operación de Plantas de Tratamiento que se encarguen del tratamiento del agua residual generada en la Ciudad de México y su zona conurbada, con el fin de asegurar que el agua utilizada para riego agrícola en Hidalgo, no afecte la salud de sus pobladores, y no se afecte la calidad del agua subterránea. Además que continua la investigación de la región, que inició desde hace 6 años

En 1994 la CNA comenzó un proyecto de investigación trabajando en colaboración con el Grupo de hidrogeología del *British Geological Survey* (8), llevando a cabo la principal investigación de campo de modelado en el área del Valle de Mezquital (que incluye el DR-03) La escuela de Higiene y Medicina Tropical de Londres y su contraparte Mexicana el Instituto Nacional de Nutrición (con el apoyo de la Universidad Nacional Autónoma de México), realizaron los estudios microbiológicos del agua. Respecto al estudio de los recursos hídricos, en especial la evaluación de pérdidas de líquido en los canales de distribución, fueron realizados por la Universidad Birmingham. Este proyecto culminó en 1998, dejando el precedente de estudio más reciente y completo de la zona. Actualmente la CNA con la colaboración del Instituto de Ingeniería de la UNAM, continua realizando investigaciones en la zona.

1. OBJETIVOS

1.1 Objetivos Generales

- 1) Caracterizar cualitativamente el agua subterránea del Distrito de Riego 03 así como el agua negra que entra al distrito.
- 2) Buscar evidencia de que el agua subterránea está contaminada con el agua negra.
- 3) Evaluar el orden de concentración en que se encuentran los compuestos orgánicos que pudieran presentar riesgo para los usuarios por sus propiedades de toxicidad.

1.2 Objetivos Particulares

- 1. Establecer el plan de muestreo.
- 2. Ajustar la metodología de extracción y análisis propuesta por S. Capella y A. Pegueros para llevar a cabo la determinación de compuestos orgánicos en agua.
- 3. Llevar a cabo la identificación y cuantificación parcial.
- 4. Verificar, de acuerdo a los resultados obtenidos, el grado de concordancia y cumplimiento, del agua negra, agua tratada y agua potable con la normatividad nacional vigente

4. ANTECEDENTES

4.1 Descripción del Distrito de Riego 03 (DR-03)

4.1.1 Generalidades

La práctica del riego agrícola en el DR-03 comenzó a operar desde 1890 y se ha ido convirtiendo con el tiempo, en la principal fuente sostenible de agua para el desarrollo de éstas comunidades. La superficie actual es de aproximadamente 45 000 hectáreas de riego (8).

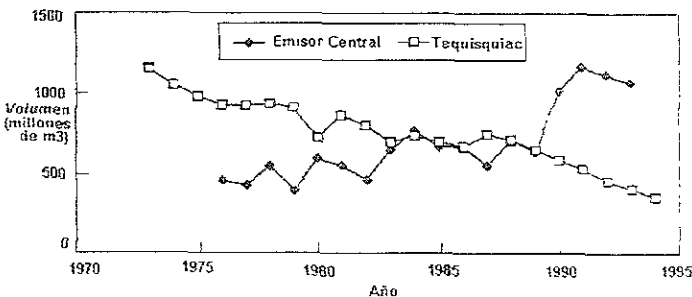
La irrigación comenzó en el centro del Valle del Mezquital en los alrededores de Tlaxcoapan y Tlahuelilpan, y se extendió hacia el norte, hacia Mixquiahuala (Figura 1). En esta temprana etapa el agua era conducida por el río Salado, y el riego fue gradualmente extendiéndose hacia el norte y el este, en el área influenciada por la corriente del río (8).

En la actualidad el DR-03 está conformado por 15 municipios de los 84 que conforman el estado de Hidalgo, éstos son Actopan, Ajacuba, Atitalaquia, Atotonilco de Tula, Chilcuatla, Fco. I. Madero, San Salvador, Tepetitlán, Tezontepec de Aldama, Tlahuelilpan, Tlaxcoapan, Tetepango, Mixquiahuala, Tula de Allende y Progreso (9).

El volumen de agua negra generado es en promedio de 50.7 m³/s, de los cuales 38 m³/s son del agua del drenaje y el resto proviene del agua de lluvia. Los usos de caudal total se organizan de la siguiente forma: 38.1 m³/s directamente en riego en el DR-03, 1.6 m³/s escurren a la presa Endhó para ser utilizados posteriormente en riego, 3.2 m³/s usos vanos en Texcoco y 4.8 m³/s para reuso urbano (10).

Al Distrito de Riego llegan las aguas de la cuenca del Valle de México por tres vías. El Gran Canal (Túneles de Tequisquiác), El Emisor Poniente (Tajo de Nochistongo) y el Emisor Central. La ubicación del DR, así como las entradas de agua actuales, se ilustra en la Figura 2.

La forma en que es distribuida el agua se ilustra en la Figura 3, mostrando que del agua que entra por el Portal de Salida (en Tepeji del Río) una parte es distribuida directamente desde este punto hacia el sudeste del DR-03 por el canal Salto-Tlamaco y por el canal Requena a la parte central del Distrito de Riego. El resto sigue hacia la presa Endhó para su almacenamiento y posterior disposición por medio del canal Endhó. Otra parte de agua negra llega al DR vía los túneles de Tequixquiác y río Salado aunque esta última ha sido menos significativa con el paso del tiempo. El resumen histórico de los volúmenes que llegan por las dos entradas (El Tajo de Nochistongo se une al Emisor Central y llega al DR como una sola vía) se ilustra con la gráfica 1.



Gráfica 1. Resumen histórico del volumen de agua negra según su vía de entrada (9)

En la Figura 4 se muestra la localización de los sitios de muestreo, Tezontepec, Tlaxcoapan, San Salvador, Portal de Salida (Emisor Central) y Emisor Poniente.

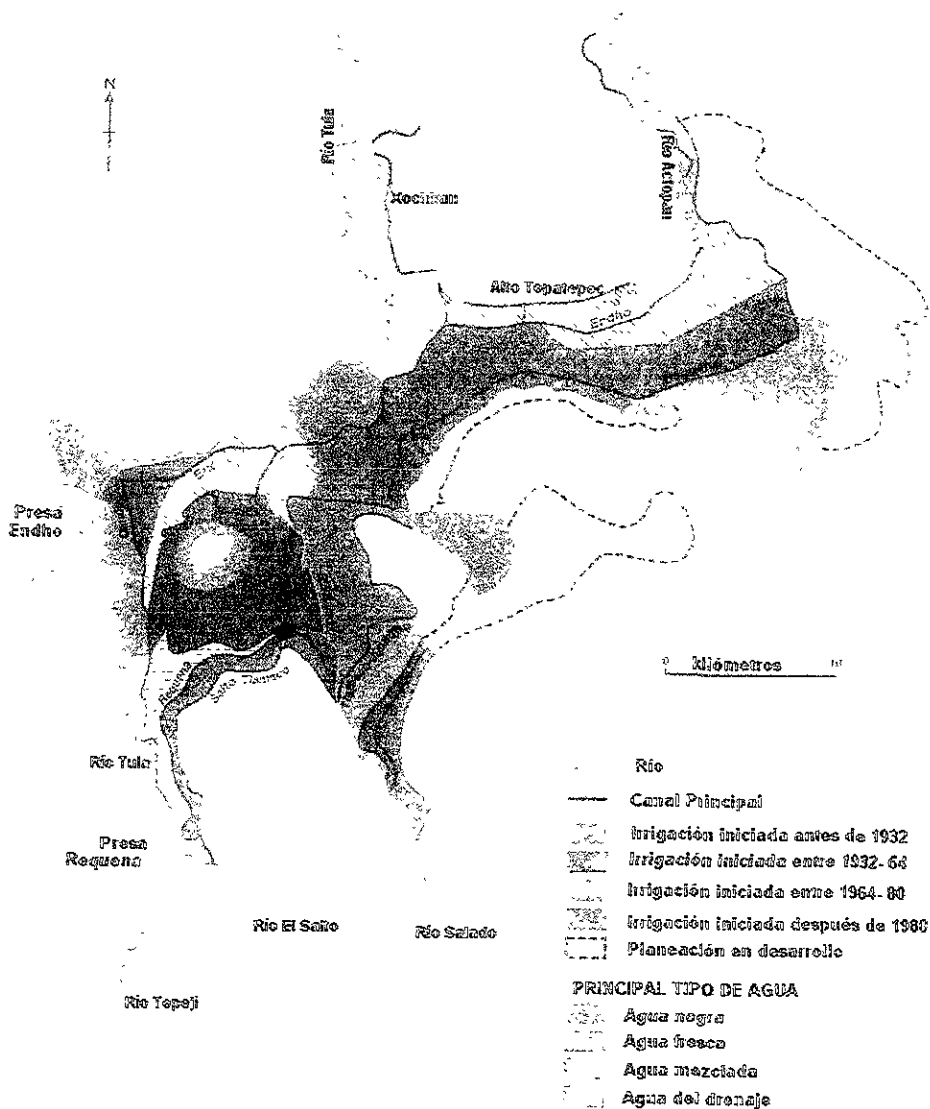


Figura 1. Desarrollo histórico de las áreas irrigadas en el DR-03 (8).

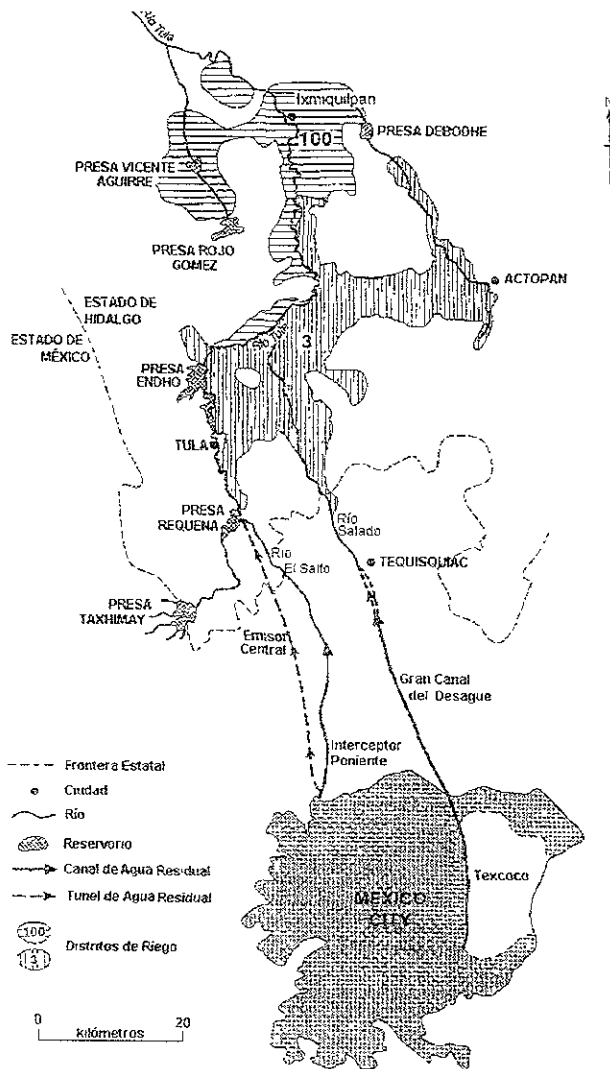


Figura 2 Ubicación del DR 03 y sus entradas actuales de agua negra (8)

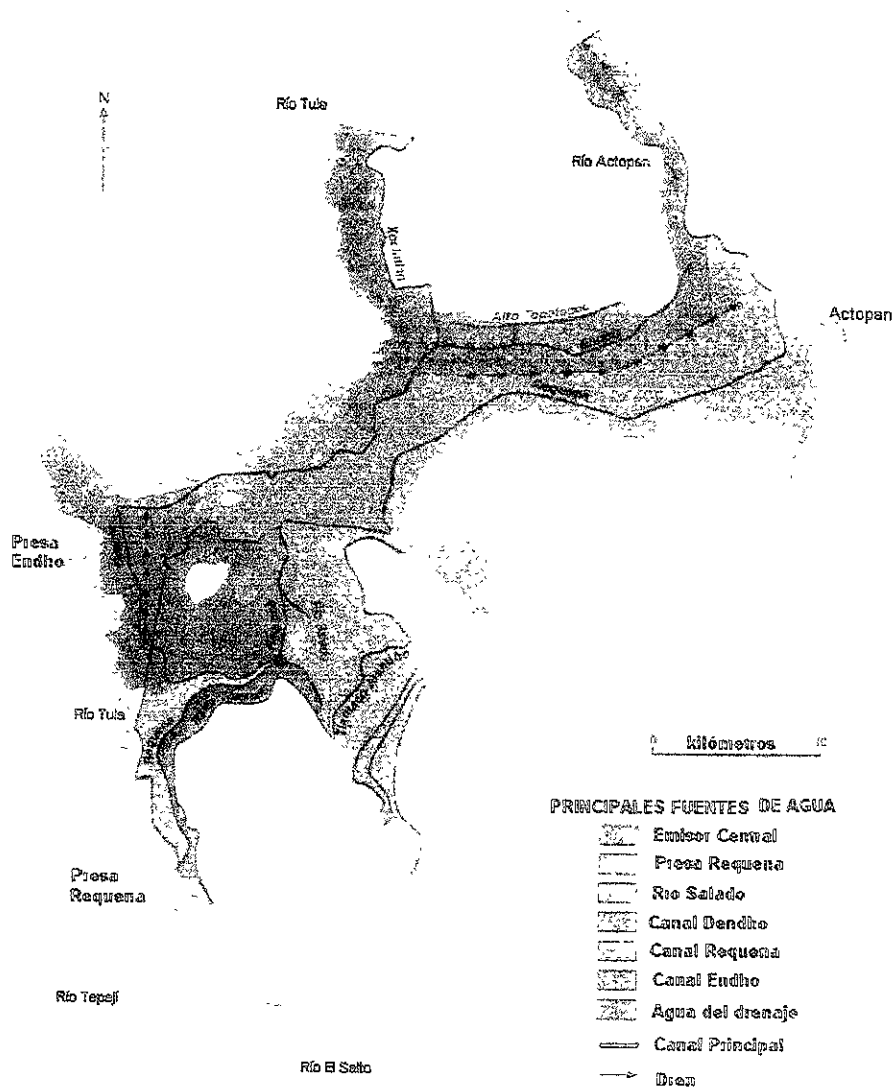


Figura 3. Fuentes de distribución del agua de riego (8)

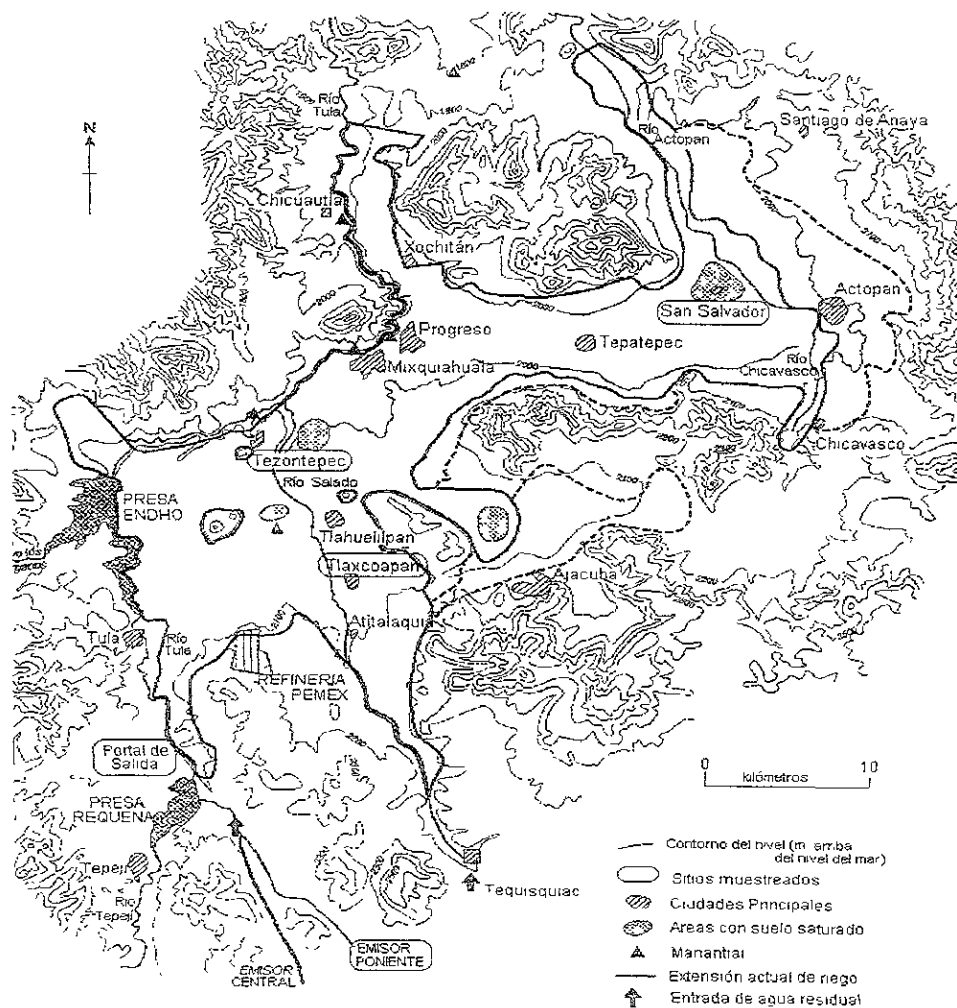


Figura 4 Principales poblados en el DR 03 y sitios muestreados (8).

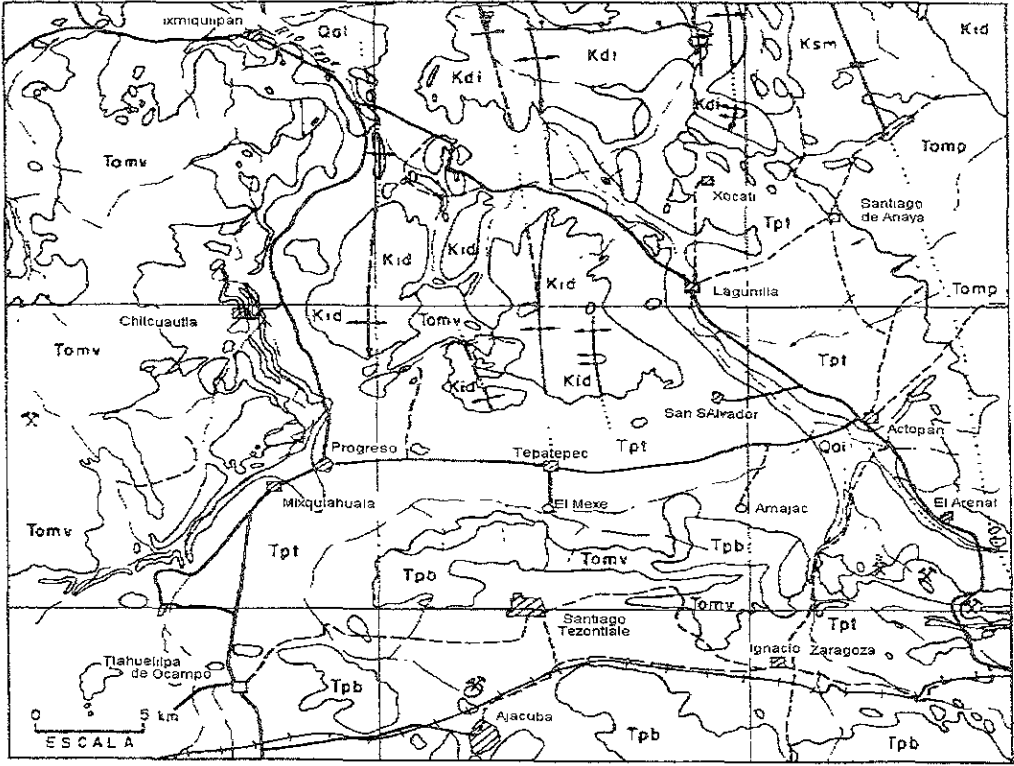
4.1.2 Geología

La zona de estudio pertenece a la provincia denominada Mesa Neovolcánica, formando un amplio valle dividido por serranías cerros separados y aislados (11).

Las rocas más antiguas que afloran son calizas marinas del Cretácico (Inferior y Superior), siendo las más jóvenes, el material de relleno constituido por aluviones y materiales clásticos recientes. En la Tabla 1 se muestran los tipos de rocas, ordenados de mayor a menor antigüedad y en la Figura 5 se muestra el Mapa geológico de la zona.

Tabla 1. Geología del distrito de Riego 03 (2).

Antigüedad	Formaciones	Rocas	Intensidad de Fracturamiento	Porosidad	Permeabilidad	Espesor (m)
Cretácico Inferior	Formación El Doctor	Calizas	media	baja	media	1 100
Cretácico Superior	Formación Soyatal	Calizas	media	media-baja	baja	100
Cretácico Superior	Formación Cuautla	Calizas	media	baja	media	200
Cretácico Superior	Formación Mezcala	Secuencia estratificada de lutitas, limonitas y areniscas	media	media	media	600 - 1000
Oligoceno y Mioceno (Terciario)		Rocas volcánicas no diferenciadas, basaltos y andesitas	media	baja	---	600-700
Plioceno (Terciario)	Formación de Tarango	Material clástico, calizas lacustres, derrames de lava y cenizas	---	baja-media	baja-media	400
Pleistoceno reciente		Aluvión, lavas, cenizas y material clástico	---	media	media	---



Dibujó L. Burgos P

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS LEYENDA

MESOZOICO	CRETACICO	INFERIOR	Kdi	Formación El Doctor - Caliza de origen marino y nódulos de pedernal y capas dolomíticas
		SUPERIOR	Kse	Formación Soyatal - Calizas con intercalaciones de arcilla y nódulos de pedernal
			Ksm	Formación Mezcala - Capas interestratificadas de lutita, limonite, areniscos y calizas de origen marino
	TERCIARIO	EOCENO	Teom	Grupo El Morro - Conglomerado de caliza. Derrames de lava y tobas
		OLIGOCENO MIOCENO	Tomv	Grupo Pachuca - Rocas volcánicas, nóltos, basaltos y andesitas (Tomv) y rocas volcánicas no diferenciadas (Tomv)
			Tomp	
		PLIOCENO	Tpt / Tpb	Formación de Tarango - Material clástico. Lentes de caliza lacustre y cenizas volcánicas. Derrames de lava, brechas y cenizas asociadas. Interdigitaciones entre estos materiales
	PLEISTOCENO RECIENTE		Qgl	Aluvión, lavas, cenizas volcánicas, derrames lávicos, brechas, calizas, lacustres, yeso, travertino. Interdigitaciones desordenadas de estos materiales

SÍMBOLOS

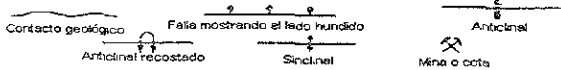


Figura 5. Mapa Geológico (2)

4.1.3 Hidrogeología

La hidrología es controlada por la estructura de las rocas, las fallas geológicas y la permeabilidad y porosidad de los depósitos. Existen tres formaciones que dan lugar a los acuíferos del área (11)

Las formaciones que se consideran permeables están representadas por los aluviones cuaternarios, de origen fluvial, que forman el primer acuífero, cuya recarga proviene principalmente de las infiltraciones de agua de lluvia y de riego. Este primer manto se considera libre o no confinado (2)

Los flujos cuaternarios de lava en la *Formación de Tarango* y los *Terciarios*, forman el segundo acuífero (principalmente en los basaltos), que es el más importante del Distrito, y la principal fuente de agua subterránea. Estas rocas tienen poca permeabilidad pero al asociarse con el fracturamiento y las fallas de las rocas, hacen un depósito multicapas de diferentes espesores, que lo hacen menos permeable. Cerca de la superficie, este acuífero puede ser no confinado, pero a mayor profundidad es típicamente semi-confinado (8). Estas aguas en muchos sitios se encuentran mezcladas con aguas de riego (2)

En la zona de San Salvador casi al centro del área se presenta un artesianismo (pozos brotantes) casi constante. También existe termalismo (pozos con temperatura elevada) de algunos manantiales muy cercanos como Pathé, Humedades y Dios Padre, sin explicación ligada a la estructura geológica del área.

El tercer manto se localiza en las calizas cretácicas y se infiere que en algunas ocasiones se manifiesta como acuífero libre y en otras como acuífero parcial o confinado, comportamiento tal vez ligado a la zona de San Salvador (2).

El examen de las diferencias relativamente grandes en la profundidad de los niveles de agua entre los acuíferos segundo (pozo Actopan con 400 m) y tercero (pozo Fénix 7 con 215 m), con una distancia entre ellos de 8 km, permite pensar en la existencia de una falla. Se cree que los acuíferos 2 y 3 tienen fuentes de recarga diferentes, probablemente de cuencas vecinas (2)

El flujo del agua subterránea se muestra en la Figura 6, que es la representación de la información contenida en la carta hidrogeológica, publicada en 1978, por Rodolfo del Arenal (11)

4.1.3.1 Hidrología superficial

El DR-03 está comprendido dentro de la Región hidrológica No. 26, Alto Pánuco, en la cuenca del Río Moctezuma y la subcuenca del río Tula. El principal dren es hacia el norte, vía los ríos Tula y Actopan, los cuales forman parte de la cuenca Moctezuma-Pánuco

El río El Salto es el origen del río Tula y lleva este nombre desde la salida del Tajo de Nochistongo (en donde toma las aguas de los sobrantes de los ríos Cuautitlán y Tepetzotlán). Se abastece además de las aguas de los ríos Tepeji y Tlautla (o Cosconete) al NE de la cuenca de México. El río Tula se une al río Actopan en las cercanías del poblado de Ixmiquilpan. Finalmente, el Este del valle es drenado por el río Actopan, que desciende desde las colinas de Pachuca y Chicavasco (11)

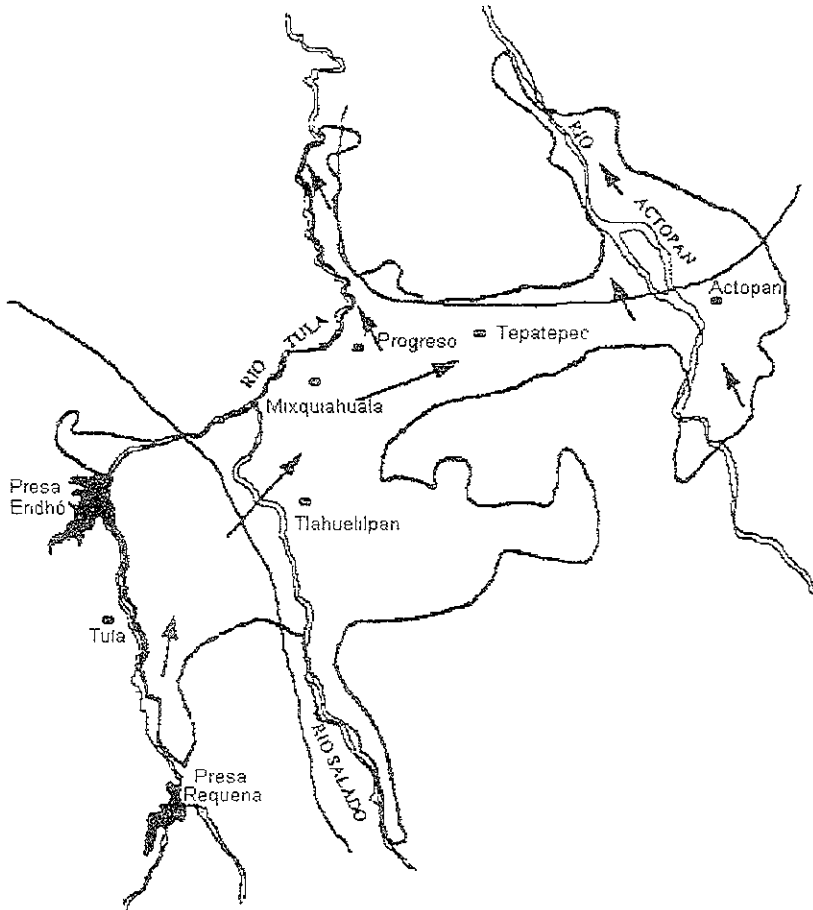


Figura 6 Dirección de los flujos del agua Subterránea

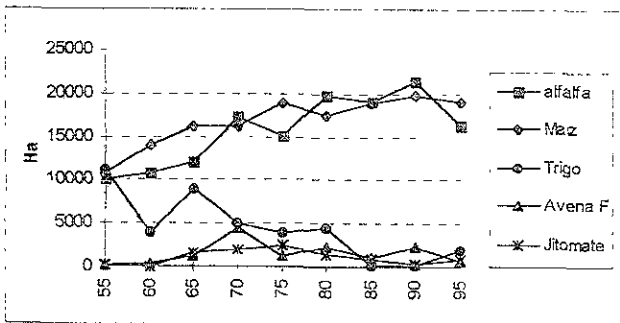
Muy probablemente el sistema de agua subterránea original se ha modificado después de casi 100 años de regar con aguas residuales

Dado el aumento del agua que se importa, el aumento del área de cultivo, las infiltraciones durante la distribución y el exceso de agua aplicado en los campos de riego actualmente esta agua regresa dominando el flujo regional del agua subterránea, pues es claro que el aumento del nivel del agua subterránea ha dado como resultado el nacimiento de manantiales.

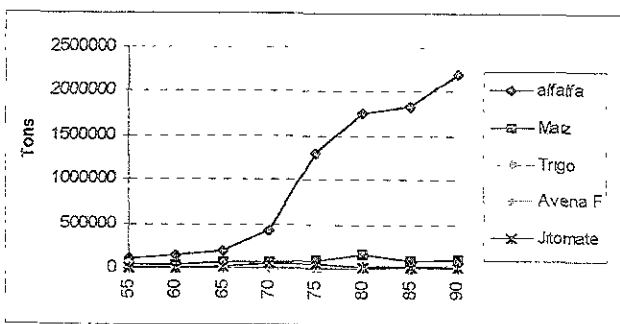
Muchos de ellos se encuentran en las cañadas del río Tula, como "El Ojito", abajo de Progreso que es usado para propósitos recreativos. El manantial que es mejor conocido, es el manantial de Cerro Colorado (al E de Tlahuelilpan) que se usa para abastecer de agua potable, contando con un flujo de aproximadamente 600 l/s (8). En esta investigación se seleccionó al manantial de Tezontepec de Aldama para su análisis

4.1.4 Balance en el DR-03

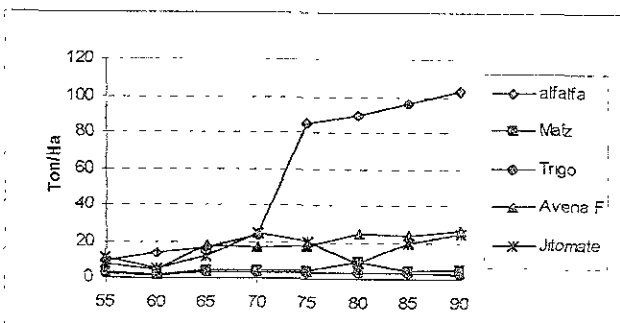
El desarrollo histórico de la superficie cultivada (Gráfica 2), de la producción obtenida (Gráfica 3) y del Rendimiento (Gráfica 4) en el DR-03, se ilustra con las siguientes gráficas (12) El principal cultivo es el alfalfa y en cantidades menores el maíz, trigo y jitomate.



Gráfica 2 Evolución Histórica de la superficie cosechada (por tipo de cultivo) en el DR-03 de 1955 a 1995



Gráfica 3 Evolución Histórica de la Producción en el DR-03, por tipo de cultivo de 1955 a 1995



Gráfica 4 Evolución histórica del rendimiento obtenido en cada tipo de cultivo, de 1955 a 1995

Existen también actividades menos importantes, tales como cultivo de flores y frutas así como actividades pecuarias: para reses, puercos, cabras y ovejas.

El valor total de la producción agrícola para el DR-03 fue estimado en 54 millones de dólares americanos, para 1991 (8).

No hay duda que con el crecimiento de la agricultura ha habido un avance importante, referido en bienestar social e incluso se han registrado movimientos migratorios para dar abasto a la creciente demanda de trabajo (7)

Respecto a la Industria en el DR-03 se cuenta únicamente con una red de deshidratadoras de alfalfa y con establos lecheros que mantienen un mercado cautivo de sus productos. Existen industrias fuera de la zona del distrito como el complejo industrial constituido por una petroquímica y una refinería. La planta termoeléctrica de Tula, además de las cementeras en las poblaciones de Jasso, Apaxco y Tula (13).

Como contraparte del avance económico y la mayor disponibilidad de agua "potable" (debido a que el nivel de los acuíferos se ha visto incrementado), también deben tomarse en cuenta las consecuencias en salud y en el deterioro del ecosistema

La afectación a la salud por el uso de aguas negras sin tratamiento crea las condiciones propicias para la proliferación de parásitos y bacterias, con sus correspondientes vectores. Según datos oficiales, las enfermedades de origen hídrico (infecciones y parásitos gastrointestinales) en la zona de riego son 16 veces mayor que la media Nacional (1). Aunque como es de esperarse, los trabajadores agrícolas han desarrollado procesos inmunológicos, por su permanente contacto con el material

No existe evidencia científica de algún otro tipo de enfermedades. Sería importante ver el efecto a largo plazo del contacto permanente y sin protección, con compuestos tóxicos en bajas concentraciones.

Como una medida del grado de contaminación del agua subterránea analizada, se compararán los resultados obtenidos, con las fuentes alternas de agua tratada fisicoquímicamente y agua potable.

4.1.5 Legislación Mexicana para agua potable y tratada

Para evaluar la calidad del agua subterránea analizada con base en la reglamentación nacional vigente, se describen a continuación los parámetros referidos a compuestos orgánicos

En la Tabla 2 se encuentran los parámetros para agua potable, por ser éste el uso actual del agua subterránea. También se describen los límites correspondientes al agua tratada (Tabla 3) dado que el agua subterránea también ha sufrido un proceso de "depuración" natural. La normatividad correspondiente de Estados Unidos se encuentra en el anexo 1

La norma NOM-127-SSA1-1994 fija los límites máximos para asegurar la calidad del agua para uso y consumo humano (14). Las definiciones de agua potable y características químicas, desprendidas de la norma son

"El agua para consumo humano es aquella que no contiene contaminantes objetables, ya sean químicos o infecciosos y que no causen efectos nocivos al ser humano"

"Las características químicas son aquellas debidas a elementos o compuestos químicos, que como resultado de investigación científica se ha comprobado que pueden causar efectos nocivos a la salud humana".

Tabla 2 Límites permisibles de características químicas en agua potable - materia orgánica - (14)

Característica	Límite Permissible (en µg/L)
Fenoles o compuestos fenólicos	1.0
Plaguicidas	
Aldrin y Dieldrin (juntos o combinados)	0.03
Clordano (total de isómeros)	0.30
DDT (total de isómeros)	1.0
Gamma- HCH (lindano)	2.0
Hexaclorobenceno	0.01
Heptacloro y epóxido de Heptacloro	0.03
Metoxicloro	20.0
2,4-D	50.0
Sustancias Activas al azul de metileno	500.0
Trihalometanos Totales	200.0
Sólidos disueltos Totales	1000 (mg/L)

En caso de contingencia, resultado de la presencia de sustancias especificadas o no especificadas por esta norma, se debe coordinar con la autoridad sanitaria competente, las autoridades locales, la Comisión Nacional del Agua, los responsables del abastecimiento y los involucrados en la contingencia, para determinar las acciones que se deben realizar con relación al abastecimiento de agua a la población.

La NOM-003-ECOL-1997 (15) establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público, con objeto de proteger el medio ambiente y la salud de la población, es de observancia obligatoria para las entidades públicas responsables de su tratamiento y reuso

Tabla 3 Límites Máximos permisibles de contaminantes en agua tratada (15).

Tipo de reuso	Promedio Mensual ¹				
	Coliformes Fecales (NMP/100 mL)	Huevos de Helminto ⁴ (h/L)	Grasas y aceites (mg/L)	DBO ₅ ⁵ (mg/L)	SST ⁶ (mg/L)
Servicio al público con contacto directo ²	240	≤ 1	15	20	20
Servicios al público con contacto indirecto u ocasional ³	1 000	≤ 5	15	30	30

¹ Valor promedio resultante de al menos 2 mediciones, de muestras simples al mes. Para todos es la media aritmética, excepto para coliformes fecales, que es la media geométrica

² Personas expuestas o en contacto físico, como llenado de lagos y canales artificiales para uso recreativo con paseos en lancha, remo, canotaje y esquí, fuentes de ornato, lavado de vehículos, riego de parques y jardines

³ Actividades donde el público esté en contacto físico incidental, como en riego a jardines y cameliones en autopistas y avenidas, fuentes de ornato, campos de golf, lagos artificiales no recreativos, barreras hidráulicas de seguridad y panteones

⁴ Helminto es el término designado a un amplio grupo de organismos que incluye a todos los gusanos parásitos (de humanos, animales y vegetales) y de vida libre, en formas y tamaños variados

⁵ Demanda Biológica de Oxígeno a los cinco días, es la cantidad de oxígeno necesaria para la descomposición biológica aeróbica de material orgánico

⁶ Sólidos suspendidos Totales

La materia flotante debe estar ausente en el agua residual tratada. El agua residual tratada que es reusada en servicios al público, no deberá contener concentraciones de metales pesados y cianuros mayores a los límites permisibles establecidos en la columna que corresponde a embalses naturales y artificiales con uso en riego agrícola de la NOM-001-ECOL-1996

4.2 Agua de riego: Agua del drenaje de la Ciudad de México

El desagüe de la Ciudad de México y en general de la cuenca del valle de México, es un sistema que se caracteriza por contar con cauces de conducción superficial a través de canales y ríos, además de la conducción profunda a través de colectores e interceptores.

Las estructuras hidráulicas que constituyen las salidas del sistema para conducir el agua fuera de la cuenca son tres (Figura 7).

Los dos túneles de Tequixquiac, que descargan en el río Salado y se inician al final del Gran Canal de Desagüe, el Tajo de Nochistongo, que descarga en el río El Salto, y se inicia al final del río Cuautitlán donde confluye el Interceptor del Poniente. Finalmente el Emisor Central, que por el portal de salida en Tepeji del Río descarga también en el río El Salto (16)

A continuación se describen las descargas recibidas y aportadas por los principales conductos del sistema (Figura 8)

a) Gran Canal de Desagüe, recibe las descargas de los colectores que desaguan las zonas centro y oriente de la Ciudad al Lago de Texcoco por los canales de la Draga y de Sales, los desfuegos de las zonas industrial y urbana ubicadas a los lados del canal, y del canal de la Castrera. Recibe también descargas controladas de la desviación combinada de los ríos del poniente a través del río de los Remedios, y los excedentes de la Laguna de Zumpango. Estas descargas tienen por lo tanto alta influencia industrial (16).

Se tiene además la descarga de aguas residuales de la Refinería 18 de Marzo (que dejó de operar en 1991 y ahora se utiliza para almacenamiento), hacia el gran canal. El río de los remedios es el paso de las pipas de combustible y gas provenientes de la actividad de la refinería (17)

Las descargas de los colectores al Gran Canal se efectúan por medio de un sistema de plantas de bombeo distribuidas en los primeros 9 km del mismo. El Gran Canal descarga en el río Salado a través de los túneles de Tequixquiac.

b) Río Churubusco. Recibe escurrimientos provenientes del suroeste de la ciudad, los cuales en parte se originan por aportes de los ríos

Eslava, Magdalena, San Jerónimo, Tequilazco, Barranca del Muerto y Mixcoac. Cuenta también con un sistema de plantas de bombeo, y descarga en el lago de Texcoco

El río Churubusco puede realizar descargas controladas al Gran Canal del desagüe, a través del colector Prolongación del Sur del Gran Canal (también llamado colector Churubusco), a los canales de Xochimilco y mediante bombeo a la planta de tratamiento Cerro de la Estrella (16)

- c) **Interceptor del Poniente** Se inicia en la delegación Alvaro Obregón y recibe los escurrimientos provenientes del oeste de la Ciudad. Capta parte de las aportaciones de los ríos Magdalena, San Angel y Barranca del Muerto, y los escurrimientos generados aguas abajo del sistema interconectado de presas. Mixcoac, Becerra, Tacubaya, Dolores, Tecamachalco, San Joaquín y del Tornillo. El Interceptor del Poniente descarga sobre el río Hondo, el cual, a través del canal del Tornillo, recibe las aportaciones generadas en el sistema interconectado de presas mencionado. El río Hondo descarga en el vaso de Cristo, el cual actúa como regulador y descarga a su vez hacia el río de los Remedios, a través de su toma baja y hacia la continuación del Interceptor del Poniente a través de su toma alta. El río de los Remedios, se regula en los vasos Fresnos y Carretas y puede hacer descargas controladas al Interceptor Central, o permitir el flujo hacia el Gran Canal. El Interceptor del Poniente puede realizar descargas controladas hacia la Laguna de Zumpango, o continuar hacia el tajo de Nochistongo.
- d) **El Interceptor Central.** Recibe las descargas de los colectores río Consulado, Humboldt 11 y 15, cuando las compuertas de las correspondientes obras de captación se abren. Los colectores arriba mencionados captan los escurrimientos de la zona noroeste de la ciudad. También recibe descargas controladas provenientes de los ríos de los Remedios, Tlainepectia, San Javier y Cuauhtepac. Finalmente se une con el Interceptor Oriente para entroncar juntos al Emisor Central en la lumbrera cero de este último.
- e) **El Interceptor oriente.** Recibe las descargas controladas provenientes de la obra de toma ubicadas en el km 6 + 985 del Gran Canal y se une al Interceptor Central en la lumbrera cero del Emisor Central, donde juntos entroncan con éste último.

El Emisor Central Recibe las descargas de los interceptores Central y Oriente, y las conduce hacia el río El Salto a través del Portal de salida.

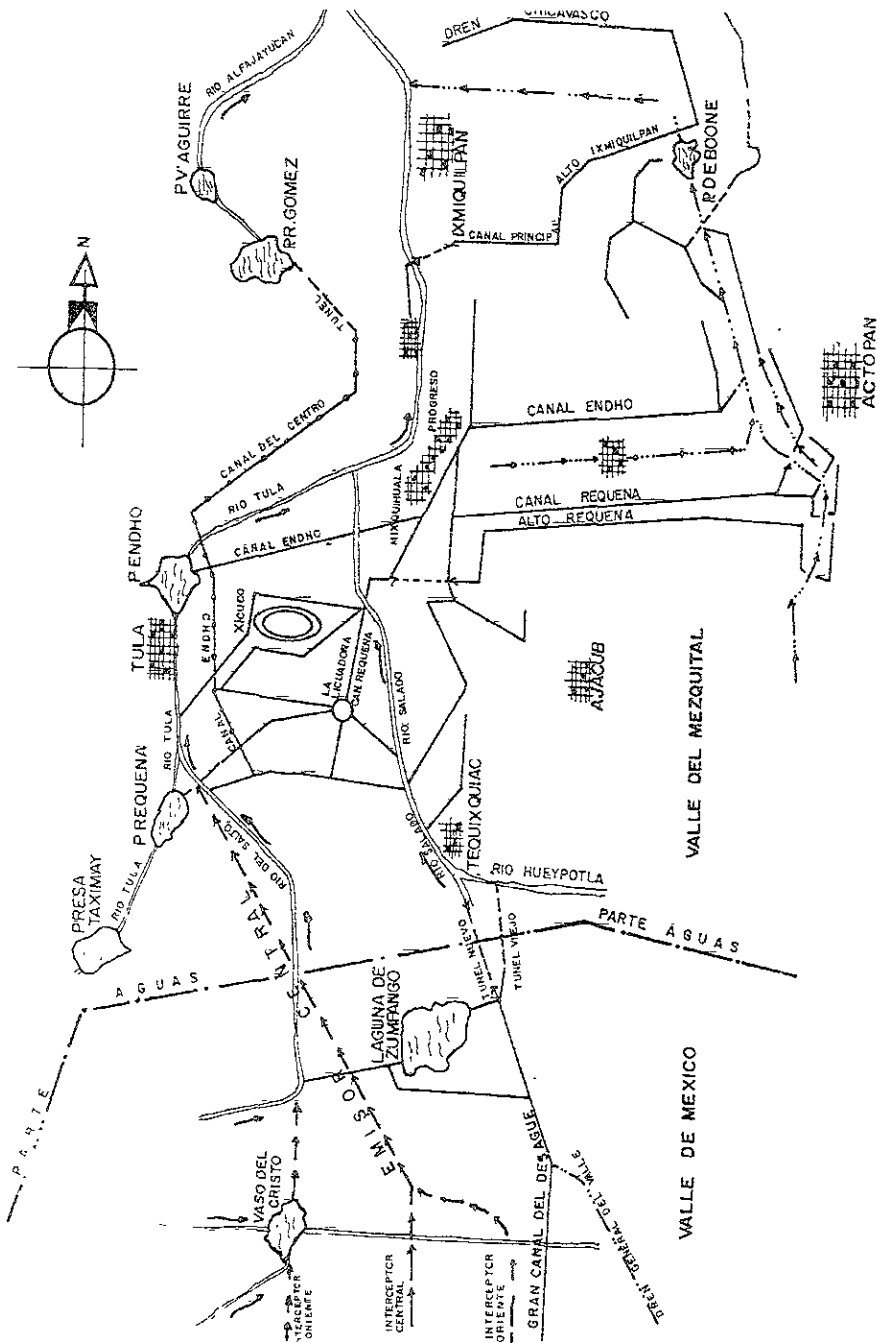


Figura 7. Estructuras hidráulicas para la salida del agua de drenaje del D.F. (7)

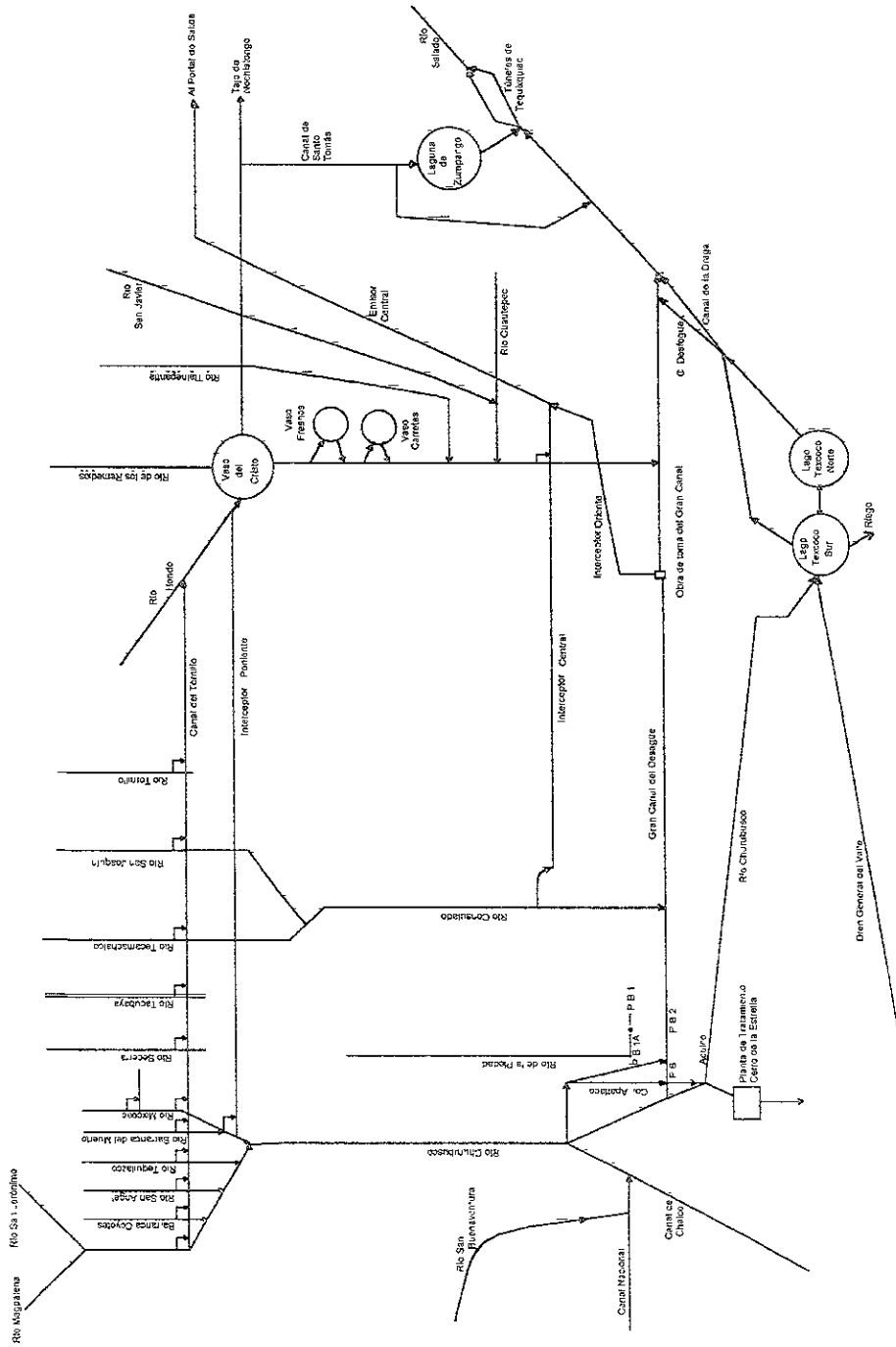


Figura 8. Sistema General de Desagüe (16).

4.2.1 Calidad del agua del drenaje

Del uso de agua potable abastecida a la ciudad de México, se deriva la generación de 24 m³/seg de aguas residuales, cuya procedencia es: doméstico 15.6 m³/s, servicios y comercio 3.6 m³/s e industrial 4.8 m³/s De los cuales reciben tratamiento para su reuso 6.25 m³/seg, a través de las plantas de tratamiento existentes (18)

De acuerdo a información oficial, en el Distrito Federal se encuentran 308 172 establecimientos o fuentes fijas de contaminación de agua pertenecientes al sector comercial, industrial y de servicios Del total de estos establecimientos 206 092 no representan problema alguno en materia de aguas residuales al provenir éstas sólo de sanitarios y 102 080 son las que generan diferentes grados de contaminación a través de su descarga al sistema de drenaje. En la tabla 5 se muestra la distribución de las fuentes fijas por sector y de acuerdo al grado de contaminación de las aguas residuales (18).

Tabla 4 Fuentes fijas generadoras de contaminación de aguas (18)

SECTOR	NÚMERO DE FUENTES FIJAS				
	TOTAL	SIN PROBLEMAS DE CONTAMINACIÓN	CONTAMINACIÓN		
			DÉBIL	MEDIA	FUERTE
COMERCIO	169 514	137 334 (81.5 %)	24 615 (76.5 %)	7 162 (22.3 %)	403 (1.2 %)
SERVICIOS	109 455	54 845 (50.1 %)	20 210 (37 %)	31 985 (58.6 %)	2 415 (4.4 %)
INDUSTRIA	29 203	13 913 (47.6 %)	2 320 (15.2 %)	7 002 (45.8 %)	5 968 (39 %)
TOTAL	308 172	206 092 (66.9 %)	47 145 (46.2 %)	46 149 (45.2 %)	8 786 (8.6 %)

La calidad de las aguas conducidas a través del Gran Canal y el Emisor Central, se encuentra caracterizada por más de 60 parámetros medidos, cuyos resultados se presentan en la Tabla 6. Los análisis fueron realizados por el laboratorio de la Dirección de Construcción y Operación Hidráulica (DGOH) del DDF entre 1988 y 1993 (10)

Resulta curioso que al comparar los valores de DBO, DQO¹ y Sólidos (Suspendidos y Disueltos) de la Tabla 5 con los datos obtenidos para El Gran Canal en el año de 1976 (13), no sean drásticamente diferentes. Los valores de 1976 son (en mg/L). DBO=275, DQO= 562, SDT=1484 y SST= 288. Ambos son valores que están muy cerca de cumplir con los valores de la NOM-001-ECOL-1996, para reuso del agua en riego agrícola, si es vertida en ríos (ver Tabla 6).

Se espera que en corto plazo, todas las aguas que salen de la ZMCM sean tratadas en las Plantas de Tratamiento, el proyecto de la Comisión Nacional del Agua (CNA) resulta con muy buenas expectativas, ya que tomando como ejemplo que en la Planta Cerro de la Estrella² se cumple bien con la reglamentación Canadiense y Norteamericana para efluentes de agua residuales tratados para ser descargados en cursos de agua (respecto a SS=15 mg/L y DBO= 15 (Canadá) y 30 (EU) mg/L) (19) Además que la CNA ha llevado a cabo múltiples investigaciones al respecto.

¹ La DQO es la cantidad de materia susceptible a ser oxidada sea o no biodegradable

² DQO menor de 50, DBO entre 20 y 30, SDT de 480 y SST de 2 a 10 mg/L (datos obtenidos verbalmente del Ingeniero responsable en la Planta)

Tabla 5 Valores medios de los diversos componentes de los análisis realizados por el laboratorio de la DGCOH (10)

PARAMETRO	GRAN CANAL	EMISOR CENTRAL
pH	7.88	7.38
color	304	192
turbidez	106	93
alcalinidad Tot	618	357
cond. Elec	2052	1047
cloruro	276	106
boro	2.06	2.96
SO ₄	105	101
dureza Tot	252	186
dureza Ca	129	103
dureza Mg	117	85
ST	1718	1118
STF	1286	740
STV	457	378
SDT	1447	772
SDF	1166	521
SDV	325	231
SST	252	362
SSF	136	203
SSV	130	159
N-NH ₃	22	13
NO ₃	0.37	1.1
N-ORG	11	10
N-NO ₂	0.06	0.05
FOSF TOT	28	24
Ca sol	49	35
Mg sol	26	17
Na sol	347	163
K sol	47	25
Ca tot	52	37
Mg tot	28	20
Na tot	345	163
K tot	49	29
Fe sol	0.3117	0.2912
Mn sol	0.1288	0.1294
Pb sol	0.0514	0.0654
Cd sol	0.008	0.0084
Hg sol	0.0004	0.0026

PARAMETRO	GRAN CANAL	EMISOR CENTRAL
As sol	0.0011	.0023
Cr sol	0.0125	0.027
Zn sol	0.0367	0.0234
Cu sol	0.0176	0.0166
Se sol	0.0006	0.0006
Si sol	27	24
Fe tot	4.24	5.79
Mn Tot	0.1763	0.1992
Pb Tot	0.0886	0.1467
Cd Tot	0.0084	0.0108
Hg Tot	0.0017	0.0034
As Tot	0.0056	0.0117
Cr Tot	0.0445	0.0912
Zn Tot	0.4197	0.3523
Cu Tot	0.1119	0.1031
Se Tot	0.0012	0.0008
Si Tot	33	24
Coliformes fecales	2.2*10 ⁷	1.1*10 ⁸
Coliformes T	8.6*10 ⁷	2.7*10 ⁸
DBO tot	219	155
DBO sol	152	113
DQO tot	576	445
DQO sol	356	257

4.2.2 Legislación Mexicana para agua negra

Las normas oficiales mexicanas (NOM's) aplicables para la reglamentación del agua negra son dos, la primera de ellas es la NOM-001-ECOL-1996 "Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes Nacionales" (20). La segunda es la NOM-002-ECOL-1997 "Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal" (21). Los parámetros reglamentados por la NOM-001 son los

llamados contaminantes básicos. Considerando únicamente a los de carácter fisicoquímico, éstos son los que se muestran en la Tabla 6

TABLA 6. Límites máximos permisibles para contaminantes básicos en la descarga de aguas residuales en aguas y bienes Nacionales fijados por la NOM-001-ECOL-1996 (20).

PARAMETROS (miligramos por litro, excepto cuando se especifique)	RIOS						EMBALSES NATURALES Y ARTIFICIALES								
	Uso en riego agrícola			Uso público urbano			Protección de vida acuática			Uso en riego agrícola			Uso público urbano		
	P.M	P.D	P.D.	P.M	P.D	P.D.	P.M	P.D.	P.D.	P.M	P.D.	P.M	P.D.	P.M	P.D.
Temperatura °C (1)	N.A	N.A	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
Grasas y Aceites (2)	15	25	15	15	25	15	25	25	15	25	15	25	15	25	25
Materia Flotante (3)	aus	aus	aus	aus	aus	aus	aus	aus	aus	aus	aus	aus	aus	aus	aus
Sólidos Sedimentables (mL/L)	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	2
Sólidos Suspendedos Totales	150	200	75	125	40	60	75	125	40	60	75	125	40	60	60
Demanda Bioquímica de Oxígeno ₅	150	200	75	150	30	60	75	150	30	60	75	150	30	60	60
Nitrógeno Total	40	60	40	60	15	25	40	60	15	25	40	60	15	25	25
Fósforo Total	20	30	20	30	5	10	20	30	5	10	20	30	5	10	10
PARTE B															
PARAMETROS (miligramos por litro, excepto cuando se especifique)	AGUAS COSTERAS						SUELO								
	Explotación pesquera, navegación y otros usos			Recreación			Estuarios			Uso en riego agrícola			Humedales Naturales		
	P.M	P.D	P.D.	P.M	P.D	P.D.	P.M	P.D	P.D.	P.M	P.D	P.M	P.D	P.M	P.D
Temperatura °C (1)	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
Grasas y Aceites (2)	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	25
Materia Flotante (3)	aus	aus	aus	aus	aus	aus	aus	aus	aus	aus	aus	aus	aus	aus	aus
Sólidos Sedimentables (mL/L)	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	2
Sólidos Suspendedos Totales	150	200	75	125	75	125	75	125	75	125	75	125	75	125	125
Demanda Bioquímica de Oxígeno ₅	150	200	75	150	75	150	75	150	75	150	75	150	75	150	150
Nitrógeno Total	N.A	N.A	N.A	N.A	15	25	N.A	N.A	15	25	N.A	N.A	15	25	N.A
Fósforo Total	N.A	N.A	N.A	N.A	5	10	N.A	N.A	5	10	N.A	N.A	5	10	N.A

P.D. = Promedio Diario

P.M = Promedio mensual

aus= ausente

N.A. = No es aplicable

(1) Instantáneo

(2) Muestra Simple Promedio Ponderado

(3) Ausente según el Método de Prueba definido en la NMX-AA-003

Referente a la NOM-002-ECOL-1996, los límites máximos establecidos son los enumerados en la Tabla 7.

Tabla 7 Límites máximos permitidos de contaminantes para la descarga de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, fijados por la NOM-002-ECOL-1996 (21)

PARAMETROS (mg/L)	Promedio Mensual	Promedio Diario	Instantáneo
Grasas y aceites	50	75	100
Sólidos sedimentables (mL/L)	5	7.5	10
Arsénico total	0.5	0.75	1
Cadmio total	0.5	0.75	1
Cianuro total	1	1.5	2
Cobre total	10	15	20
Cromo hexavalente	0.5	0.75	1
Mercurio total	0.01	0.015	0.02
Níquel total	4	6	8
Plomo total	1	1.5	2
Zinc total	6	9	12

Los sólidos suspendidos totales y la DBO₅ son los establecidos en la NOM-001-ECOL-1996. Además de asentarse en el punto 4.8 de ésta norma, que no se deben descargar o depositar materiales o residuos considerados peligrosos en los sistemas de alcantarillado urbano o municipal.

De lo anterior, puede corroborarse que no existe reglamentación para compuestos orgánicos específicamente, sino que se encuentran incluidos dentro de grasas y aceites, en la materia flotante, en los sólidos suspendidos y sedimentables y en la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), pero es imposible diferenciarlos en su tipo, toxicidad y en su nivel de concentración.

De la Tabla 6 puede notarse también que se encuentran los requisitos que debe cumplir el agua negra para usarse como agua de riego, por lo que no se encuentra prohibido este tipo de reuso del agua negra.

Con el fin de mostrar un panorama general del tipo de compuestos orgánicos tóxicos que se pueden encontrar en el agua de drenaje, se enlistan a continuación algunas de las normas que quedan abrogadas con la NOM-001-ECOL-1996, y que por tanto esta última es la que actualmente regula todo el tipo de descargas, a menos que cada industria tuviese fijadas condiciones particulares de descarga.

Normas "Que establecen los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de ." Centrales termoeléctricas convencionales, La industria de refinación de petróleo y petroquímica, Fabricación de productos plásticos y polímeros sintéticos, La industria hulera, La industria de la celulosa y el papel, La industria del curtido y acabado en pieles, La industria de fabricación de fertilizantes, La industria de jabones y detergentes, La industria de productos químicos inorgánicos, La industria de fertilizantes fosfatados, polifosfatos productos inorgánicos fosfatados, La industria farmacéutica y farmoquímica.

De los resultados de esta investigación se podrá enjuiciar la necesidad de reglamentar a algunos compuestos orgánicos, dependiendo de su concentración y toxicidad.

4.3 Instrumentación Analítica

El primer paso en el proceso analítico es extraer los compuestos orgánicos de la matriz. En general, las técnicas de extracción pueden dividirse en dos métodos de concentración, donde el disolvente es removido y las sustancias disueltas se quedan al final y métodos de aislamiento, en los cuales las sustancias disueltas son removidas del disolvente

Las técnicas de aislamiento son las más utilizadas para la extracción de compuestos orgánicos cuando la matriz es agua. Los compuestos orgánicos volátiles son usualmente extraídos por medio del uso de purga y trampa, así como por "headspace". Los compuestos orgánicos no volátiles y semivolátiles son extraídos comúnmente utilizando la técnica de extracción líquido-líquido (ELL) y recientemente la extracción en fase sólida (EFS) (22,23).

Los métodos tradicionales presentan desventajas, por ejemplo, la ELL es consumidora de tiempo difícil de automatizar y requiere del uso de disolventes orgánicos de alta pureza, que son costosos y algunas veces peligrosos. La EFS tiene el inconveniente de que el cartucho o disco pueden ocluirse con las muestras que contienen sólidos suspendidos, la extracción con purga y trampa así como el "headspace" guardan picos "memoria" y es laborioso limpiar el sistema entre inyecciones.

La técnica llamada micro extracción en fase sólida (MEFS) mejora en muchos casos los problemas asociados con los métodos tradicionales de extracción de compuestos orgánicos en agua, es versátil y automatizable. Esta técnica utiliza una fibra de sílice fundida recubierta con una fase polimérica líquida. Esta fase en contacto con la muestra extrae y concentra a los compuestos orgánicos contenidos en la muestra, que por afinidad en polaridad difunden en la fase polimérica. El recubrimiento está contenido en una jeringa especialmente diseñada, que opera como una jeringa convencional. La aguja de la jeringa protege la fibra cuando ésta no está expuesta a la muestra, el dispositivo se muestra en la Figura 9.

Para llevar a cabo la extracción se debe poner en contacto la fibra con la muestra (o con el vapor de la misma), favoreciendo la extracción con agitación y/o calentamiento y dejar el tiempo suficiente para alcanzar el equilibrio. Finalmente los compuestos se extraen de la fibra, introduciendo la aguja al inyector del cromatógrafo de gases y exponiéndola a calentamiento, con lo que se lleva a cabo la desorción. La MEFS reduce el tiempo total de análisis por la combinación de muestreo, extracción, concentración e inyección en un solo proceso

4.3.1 Micro Extracción en Fase Sólida (MEFS) (24):

El fundamento teórica de la MEFS es la partición de los analitos entre la matriz y el recubrimiento. La cantidad de analito adsorbido por el líquido polimérico en el equilibrio, es directamente proporcional a su concentración en la muestra.

$$n = \frac{K_{ra} V_r C_o V_m}{K_{ra} V_r + V_m} \quad (1)$$

donde

- n = masa del analito adsorbido por la fase polimérica
- V_r y V_m = volúmenes del recubrimiento y de la muestra respectivamente
- K_{ra} = coeficiente de partición del analito entre el recubrimiento y la matriz
- C_o = concentración inicial del analito en la muestra

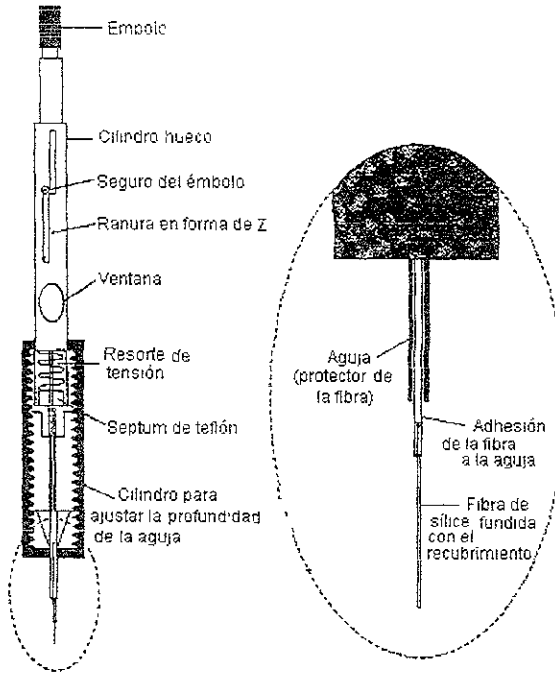


Figura 9. Fibra de MEFS (24).

La ecuación 1 indica la relación lineal entre la cantidad de analito adsorbido por el recubrimiento y la concentración inicial de ese analito en la muestra

Como la ecuación 1 lo indica, si V_s es muy grande ($V_s \gg K_{fs} V_f$), la cantidad de analito extraído por la fibra no está relacionada al volumen de la muestra:

$$n = K_{ra} V_r C_o \quad (2)$$

Este hecho hace a la MEFS muy adecuada para muestreo de campo, porque la fibra puede ser expuesta al aire, o directamente sumergida en un pozo, lago o río

Factores que gobiernan la extracción (24)

La velocidad de la extracción está controlada por el transporte de masa de los analitos de la matriz a la fibra. Este proceso involucra *transferencia* del analito desde superficie de la matena particulada (cuando hay) a la fibra, *transporte convectivo* en el aire o en la muestra líquida y *difusión* del analito en la fibra.

El modelo que explica el principio de extracción, propuesto por Pawlizsyn (22) asume que la *difusión* es el único mecanismo de transporte que determina la migración de las especies en el sistema. Esta consideración solo es válida si la fase polimérica es líquida y como consecuencia, no hay energía de activación envuelta en la transferencia del analito de la matriz a la fibra.

El modelo también asume que, conforme la concentración del analito en solución aumente las propiedades físicas de la fase polimérica no cambian, es decir que el polímero ni se hincha ni el coeficiente de difusión del analito en la fase polimérica depende de la concentración del analito (condición que no se cumple si la fase es sólida).

Estas consideraciones permiten una descripción matemática de la extracción; resolviendo la ecuación diferencial de la segunda ley de Fick y tomando en cuenta la geometría cilíndrica de la fibra queda que la masa total adsorbida por la fase polimérica, como una función del tiempo puede calcularse integrando la concentración a lo largo del radio de la fibra

$$M = 2\pi L \int_a^b C r dr$$

donde:

- M = masa adsorbida por la fase polimérica
- L = Longitud del cilindro
- a = radio del cilindro de sílice
- b = radio desde el centro del rodillo de sílice hasta la fase polimérica
- C = Concentración
- r = radio

De lo cual se derivan los dos casos limitantes. En el primer caso se asume una solución perfectamente agitada. En este caso la migración del analito en la fase polimérica no se ve afectada por la difusión en la fase acuosa, lo que lleva a la extracción más rápida posible. Aproximadamente el 50% de la máxima cantidad extraíble se logra en 0.1 min y cinco veces más en lograr el 90%

El segundo caso es una solución sin agitación, donde el analito penetra la capa de agua que rodea a la fase polimérica antes de que pueda difundir en ella.

Cuando la velocidad de la transferencia está determinada por la *difusión* del analito en el recubrimiento, para la mayoría de los analitos el equilibrio se alcanza en menos de 1 minuto. En la práctica este límite puede lograrse en muestras gaseosas por los grandes coeficientes de difusión. Para muestras acuosas, este caso es posible solo cuando se usa una agitación vigorosa y homogénea, como el ultrasonido. Para la agitación con agitador magnético, el tiempo de equilibrio es más largo, determinado por la difusión a través de la capa de agua estática y delgada adyacente a la fibra. Esta capa adyacente a los alrededores de la fibra, es muy difícil de remover incluso si la agitación es a gran velocidad y los analitos deben difundir a través del agua antes de que puedan ser adsorbidos por el recubrimiento.

Para extraer compuestos orgánicos en muestras gaseosas o muestras de agua relativamente limpias, se puede poner la fibra directamente en contacto con la muestra y obtener buenos resultados. Si se desea extraer analitos de una matriz sólida o de una muestra de agua residual, la inmersión directa de la fibra puede no ser muy conveniente, siendo recomendable utilizar MEFS-headspace. En conclusión, MEFS puede aplicarse para extraer compuestos orgánicos de diversos tipos de matrices.

Para compuestos volátiles, la MEFS-headspace es relativamente fácil, porque los analitos tienden a vaporizarse una vez que se han disociado de la matriz, facilitándose la transferencia hacia la fibra. Para compuestos semivolátiles, la baja volatilidad y relativo gran tamaño molecular puede disminuir la transferencia de masa y limitar la velocidad de extracción, resultando en un largo tiempo de extracción.

Cuando el analito tiene mayor afinidad por la matriz que por la fase polimérica, el coeficiente de reparto es muy pequeño lo que resulta en pobre sensibilidad, limitando la extracción termodinámicamente.

Si el analito tiene mayor afinidad por la fibra se puede lograr una extracción cuantitativa, por lo que sólo la cinética juega un papel importante durante la extracción.

Uno de los caminos mas efectivos para solucionar la limitación cinética es calentar la muestra, con lo cual se incrementa la presión de vapor de los analitos dando con ello la energía necesaria para que los analitos se disocien de la matriz y al mismo tiempo aumente el transporte de masa de los analitos

Utilizando la agitación magnética y calentamiento por medio de un baño de agua a temperatura controlada se utiliza un montaje como el que se muestra en la Figura 10, que fue el usado para este trabajo.

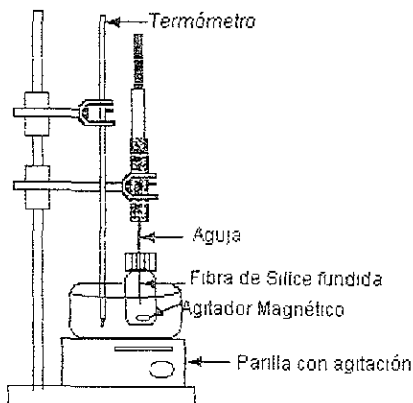


Figura 10. Montaje para llevar a cabo la extracción

Selección de la Fase (24):

Debido a que diferentes grupos de analitos pueden extraerse con diferentes tipos de adsorbentes, se deberá elegir la fase polimérica adecuada, basándose en el principio de "que lo semejante disuelve a los semejante". Fases polares como poliacrilato (PA) o carbowax extraen compuestos polares como fenoles, y ácidos carboxílicos. Fases no polares como polidimetilsiloxano (PDMS) extraen compuestos no polares como hidrocarburos

En la actualidad se dispone comercialmente de seis fases, tanto para uso manual como con automuestreadores

1. Polidimetilsiloxano (PDMS) de 100, 30 y 7 μm
2. Polidimetilsiloxano/Divinil benceno (PDMS/DVB), de 65 y 60 μm
3. Poliacrilato (PA) de 85 μm
4. Carboxen/PDMS de 75 μm
5. Carbowax/Divinil benceno (CW/DVB) de 65 μm
6. Carbowax/Resina Templada (CW/TPR) de 50 μm

Los factores que pueden influir en cuantitatividad de la extracción son: volumen y polaridad de la fase polimérica, la modificación de matrices y el calentamiento de la muestra.

Velocidad de la extracción (24):

La velocidad de la extracción está determinada por la eficiencia de la agitación. Los métodos que utilizan sonicación pueden requerir de tiempos tan cortos como un minuto, pero en métodos como la agitación magnética el tiempo de equilibrio puede ir desde 2 hasta 60 minutos, dependiendo de la velocidad de la agitación y del coeficiente de partición.

La temperatura también tiene efecto en la velocidad de extracción porque el transporte de masa de los analitos desde la muestra hacia la fase polimérica es más alto a temperaturas altas. El calentamiento, utilizando microondas puede generar corrientes convectivas en la muestra, que mejora la extracción.

Desorción del analito (24):

La desorción térmica de los analitos que están en el recubrimiento de la fibra es muy efectiva en la mayoría de los casos. Conforme la temperatura aumenta, la habilidad de la fase polimérica para mantener al analito disminuye muy rápidamente.

El flujo constante de gas acarreador en el inyector del cromatografo también facilita la remoción del analito del recubrimiento. Para analitos volátiles y semivolátiles, se puede utilizar una temperatura de desorción entre 150 y 250°C, seguido del enfoque en la cabeza de la columna cromatografica.

Aplicaciones:

El método requiere de una preparación mínima de la muestra y es adecuado para muestrear in-situ, dado que la MEFS es portátil, puede actuar como almacenamiento para los analitos extraídos en campo. La MEFS se ha utilizado recientemente para analizar compuestos orgánicos volátiles, con el método 524.2 de la EPA (25), haloéteres (26), volátiles en agua (27) y en agua potable (23), semivolátiles en agua (28,29) y PAH's en diesel (23). La fase de poliacrilato se ha usado con éxito para la determinación de plaguicidas clorados, nitrogenados, herbicidas y de plaguicidas organofosforados (23,30-34). También se ha utilizado en estudios ambientales, alimentos y fármacos. Así como para monitorear contaminación del aire tanto en interiores como en exteriores (23) incluso con recubrimientos de 15 µm de PDMS, la MEFS puede utilizarse para extraer compuestos volátiles tales como PAH's y bifenilos policlorados de muestras acuosas (35).

La calidad de los datos en términos de precisión y exactitud, es similar a los obtenidos con el método EPA 1625. La MEFS se ha aplicado también para muestreo de fenoles en agua utilizando el recubrimiento de poliacrilato, el límite de detección, intervalo lineal y la precisión son mejores o equivalentes a las especificaciones requeridas de la EPA (23). Se ha utilizado también para bencenos sustituidos en agua subterránea (36) y en agua (37), así como para clorobencenos en suelo (38).

4.3.2 Trampa de Retención (Retention Gap)

Una vez que se han desorbido los analitos en el inyector del cromatógrafo, se deben enfocar (condensar y concentrar) antes de proceder a su separación.

La forma en que se hizo el enfoque fue con la combinación de dos técnicas: *retention gap* y enfoque con temperatura.

La función del *retention gap* es atrapar a los compuestos en una sección de columna (rizo), la cual no debe tener fase estacionaria, así como reducir la longitud de la zona de mojado, siempre y cuando el disolvente sea condensado en la columna. Otra función, igualmente importante es proteger a la columna de impurezas no volátiles. El rizo del *retention gap* debe desactivarse propiamente para minimizar la longitud de la zona inicial de mojado y la posibilidad del coqueo de los picos o degradación.

Sin embargo, la función del *retention gap* en este caso, fue atrapar a los compuestos y dado que se utilizó como rizo la parte inicial de la columna, no se tuvo que desactivar. Este rizo estuvo sumergido en un baño de hielo-agua para condensar a los compuestos previamente volatilizados, logrando así un enfoque por temperatura.

El enfoque por temperatura consiste en condensar a los solutos que se han volatilizado en el inyector en el inicio de la columna. Es decir, conforme la muestra vaporizada se mueve desde el inyector hacia la columna, los solutos son atrapados en una "zona fría" y condensados para posteriormente comenzar su recorrido hacia la columna conforme la temperatura se incrementa.

5. DESARROLLO EXPERIMENTAL

5.1 Materiales y Métodos

5.1.1 Reactivos y Estándares

Acetona, ácido clorhídrico y sulfito de sodio de J.T Baker. Agua Nanopure.

Detergente ALCONOX de Supelco®, Micro fibra de 100 μm con fase de polidimetilsiloxano (PDMS) y de poliacrilato (PA) de 65 μm , ambas de Supelco®

4.1.2 Estándares

Mezcla de haloéteres (Supelco) de 2 000 $\mu\text{g}/\text{ml}$ de cada uno de los siguientes compuestos.

- | | |
|---------------------------------|-----------------------------|
| 1. Bis (2-cloro etil) éter | 4. 4-clorofenil, fenil éter |
| 2. Bis (2-cloro isopropil) éter | 5. Bromo fenil, fenil éter |
| 3. Bis (2-cloro etoxy) metano | |

Mezcla A de Fenoles (Supelco) de 2 000 $\mu\text{g}/\text{ml}$ de cada uno de los siguientes compuestos

- | | |
|--------------------------|-----------------------------|
| 1. Fenol | 6. 2,4,6 triclorofenol |
| 2. 3-metil fenol | 7. 4-nitrofenol |
| 3. 2-nitrofenol | 8. 2-metil-4,6-dinitrofenol |
| 4. 2,4-diclorofenol | 9. Pentaclorofenol |
| 5. 4-cloro-3-metil fenol | |

4.3.2 Trampa de Retención (Retención Gap)

Una vez que se han desorbido los analitos en el inyector del cromatógrafo, se deben enfocar (condensar y concentrar) antes de proceder a su separación.

La forma en que se hizo el enfoque fue con la combinación de dos técnicas: *retention gap* y enfoque con temperatura.

La función del *retention gap* es atrapar a los compuestos en una sección de columna (rizo), la cual no debe tener fase estacionaria, así como reducir la longitud de la zona de mojado siempre y cuando el disolvente sea condensado en la columna. Otra función, igualmente importante es proteger a la columna de impurezas no volátiles. El rizo del *retention gap* debe desactivarse propiamente para minimizar la longitud de la zona inicial de mojado y la posibilidad del coqueo de los picos o degradación.

Sin embargo, la función del *retention gap* en este caso, fue atrapar a los compuestos y dado que se utilizó como rizo la parte inicial de la columna, no se tuvo que desactivar. Este rizo estuvo sumergido en un baño de hielo-agua para condensar a los compuestos previamente volatilizados, logrando así un enfoque por temperatura.

El enfoque por temperatura consiste en condensar a los solutos que se han volatilizado en el inyector en el inicio de la columna. Es decir, conforme la muestra vaporizada se mueve desde el inyector hacia la columna, los solutos son atrapados en una "zona fría" y condensados para posteriormente comenzar su recorrido hacia la columna conforme la temperatura se incrementa.

5. DESARROLLO EXPERIMENTAL

5.1 Materiales y Métodos

5.1.1 Reactivos y Estándares

Acetona, ácido clorhídrico y sulfito de sodio de J.T.Baker. Agua Nanopure.

Detergente ALCONOX de Supelco®, Micro fibra de 100 μm con fase de polidimetilsiloxano (PDMS) y de poliacrilato (PA) de 65 μm , ambas de Supelco®.

4.1.2 Estándares

Mezcla de haloéteres (Supelco) de 2 000 $\mu\text{g}/\text{ml}$ de cada uno de los siguientes compuestos.

- | | |
|---------------------------------|-----------------------------|
| 1. Bis (2-cloro etil) éter | 4. 4-clorofenil, fenil éter |
| 2. Bis (2-cloro isopropil) éter | 5. Bromo fenil, fenil éter |
| 3. Bis (2-cloro etoxy) metano | |

Mezcla A de Fenoles (Supelco) de 2 000 $\mu\text{g}/\text{ml}$ de cada uno de los siguientes compuestos

- | | |
|--------------------------|-----------------------------|
| 1. Fenol | 6. 2,4,6 triclorofenol |
| 2. 3-metil fenol | 7. 4-nitrofenol |
| 3. 2-nitrofenol | 8. 2-metil-4,6-dinitrofenol |
| 4. 2,4-diclorofenol | 9. Pentaclorofenol |
| 5. 4-cloro-3-metil fenol | |

Mezcla B de Fenoles (Supelco) de 2 000 µg/ml de cada uno de los siguientes compuestos:

- | | |
|---------------------|--------------------------------|
| 1 2-cloro fenol | 6 2,4,5-triclorofenol |
| 2 2-metil fenol | 7 2,4-dinitrofenol |
| 3 4-metil fenol | 8 2,3,4,6-tetraclorofenol |
| 4 2,4-dimetil fenol | 9 2-sec-butil-4,6-dinitrofenol |
| 2,6-dicloro fenol | |

Mezcla 1 de compuestos orgánicos volátiles (Supelco) de 2 000 µg/ml de cada uno de los siguientes compuestos:

- | | |
|----------------------|-------------------------|
| 1. clorobenceno | 7 4-cloro tolueno |
| 2. p-xileno | 8 tert-butil benceno |
| 3 o-xileno | 9 sec-butil benceno |
| 4. isopropil benceno | 10. 1,3-diclorobenceno |
| 5 n-propil benceno | 11. 1,4-dicloro benceno |
| 6 2-cloro tolueno | 12. 1,2-dicloro benceno |

Mezcla 2 de compuestos orgánicos volátiles (Supelco) de 2 000 µg/ml de cada uno de los siguientes compuestos:

- | | |
|----------------------------|---------------------------|
| 1 Benceno | 8. 1,2,4-trimetil benceno |
| 2 Tolueno | 9 p-isopropil tolueno |
| 3. Etil benceno | 10. n-butilbenceno |
| 4. m-xileno | 11. 1,2,4-triclorobenceno |
| 5. estireno | 12 Naftaleno |
| 6 bromo benceno | 13 1,2,3-triclorobenceno |
| 7. 1,3,5- trimetil benceno | |

Mezcla 3 de compuestos orgánicos volátiles (Supelco) de 2 000 µg/ml de cada uno de los siguientes compuestos

- | | |
|------------------------------|---------------------------------|
| 1 1,1-dicloro propileno | 8. 1,3-dicloropropano |
| 2 1,2-dicloroetano | 9 1,2-dibromoetano |
| 3 tricloroetileno | 10 1,1,1,2-tetracloro etano |
| 4 1,2-dicloropropano | 11. 1,1,2,2-tetracloro etano |
| 5 cis-1,3-dicloropropileno | 12. 1,2,3-tricloropropano |
| 6 trans-1,3-dicloropropileno | 13. 1,2-dibromo-3-cloro propano |
| 7. 1,1,2-tricloroetano | 14. hexaclorobutadieno |

Mezcla 4 de compuestos orgánicos volátiles (Supelco) de 2 000 µg/ml de cada uno de los siguientes compuestos

- | | |
|-----------------------|---------------------------|
| 1 1,1-dicloro etano | 6 Tetracloruro de carbono |
| 2 2,2-dicloro propano | 7 dibromo metano |
| 3. cloroformo | 8 Tetracloro etileno |
| 4 bromo clorometano | 9 bromoformo |
| 5 1,1,1-tricloroetano | |

Mezcla 5 de compuestos orgánicos volátiles (Supelco) de 2 000 µg/ml de cada uno de los siguientes compuestos:

- | | |
|-----------------------------|---------------------------|
| 1. 1,1-dicloroetileno | 4. Cis 1,2-dicloroetileno |
| 2. cloruro de metileno | 5. Bromo diclorometano |
| 3. trans 1,2-dicloroetileno | 6 Dibromo clorometano |

Mezcla 6 de compuestos orgánicos volátiles (Supelco) de 2 000 µg/ml de cada uno de los siguientes compuestos:

- | | |
|---------------------------|--------------------------|
| 1. dicloro difluorometano | 4 bromometano |
| 2. clorometano | 5 cloroetano |
| 3. cloruro de vinilo | 6. Tricloro fluorometano |

Mezcla de hidrocarburos aromáticos policíclicos (Supelco) de 2 000 µg/ml de cada uno de los siguientes compuestos

- | | | |
|------------------------|----------------------------|----------------|
| 1 Acenafteno | 7 1,12 benzoperileno | 12. Fluoreno |
| 2. Acenafliteno | 8. Benzo(k)fluoranteno | 13 Indeno |
| 3 Antraceno | 9 Criseno | 14. Naftaleno |
| 4 1,2-benzantraceno | 10 1,2·5,6 dibenzantraceno | 15. Fenantreno |
| 5. benzo(α) pireno | 11 Fluoranteno | 16. Pireno |
| 6. Benzo(β)fluoranteno | | |

5.1.2 Materiales

Viales ámbar de 40 mL con tapa y sello de teflón, frascos ámbar de 1L con tapa de polipropileno, bolsas de plástico con cierre, bañer de teflón, guantes de latex Material de vidrio común, parilla eléctrica, termómetro, estufa a 110°C, balanza analítica.

5.1.3 Metodología

Condiciones cromatográficas:

Cromatógrafo de gases HP 5890 acoplado a un espectrometro de masas HP 5971, columna SPB-5 de 30m x 0.25 mm de D.I x 0.25 µm de espesor, con el siguiente programa de temperatura T inicial 40°C/10 min, 4°C/min hasta 280°C/10min

Temperatura del inyector: 240 °C para fibra de PDMS y 210 °C para fibra de PA, Temperatura de la línea de transferencia 280 °C. Ionización por impacto electrónico (70 eV) y barrido de 20 a 500 de m/z La recopilación de datos se llevó a cabo con el software Chem data, de Hewlet Packard

Calibración del Espectrómetro de Masas (Tune) tuning al inicio y a mitad de cada día de trabajo con PFTBA (perfluorotributilamina).

Limpieza y acondicionamiento de la fibra: Cada fibra nueva se acondicionó a las temperaturas recomendadas para cada tipo de fase: 250°C para PDMS por 4 hrs y 300 °C para PA por 2 hrs, el tiempo fue establecido en base al lapso requerido para lograr un blanco de fibra constante. Para la limpieza entre inyecciones, se calentaba la fibra por 30 min a 250 °C para PDMS y 210°C para la fase de PA

Preparación de la muestra y extracción: se colocaron 50 mL de muestra en un vial, se adicionó NaCl en 5% (p/v), se ajustó el pH a 5 con HCl (1:1 v/v) y se agregó el agitador magnético. La extracción se llevó a cabo por inmersión de la fibra en la muestra durante 60 min, manteniendo la muestra en un baño de agua a 65°C. En la figura 10 se muestra el montaje utilizado para llevar a cabo la extracción

Estándares. Se trabajó con concentraciones de 5, 10, 50, 100, 500 y 1000 ppb de los estándares mencionados en el punto 4.1.2, en 50 mL de agua, ajustando el pH a 5 y adicionando NaCl en 5% (p/v). Se hizo la extracción por inmersión de la fibra (PA para fenoles y PDMS para el resto) durante 60 min manteniendo la muestra en un baño de agua a 65°C. Las condiciones de introducción de muestra y programa de temperatura se corrieron igual en estándares y en muestras

Sistema de Introducción de Muestra: inyección splitless durante 5 minutos, en los cuales se desorbió la fibra (PDMS a 240°C y PA a 210°C) en el puerto de inyección. Durante ese mismo tiempo se mantuvo el *retention gap* (rizo de 1 m) sumergido en un baño de agua con hielo (8°C)

Evaluación de órdenes de concentración. La forma de llevar a cabo la evaluación de órdenes de concentración consistió en determinar los factores de respuesta de cada estándar, en cada concentración. Una vez conocidos éstos y con el área del compuesto problema se hizo el cálculo de la concentración. Se tomó el área del pico base para la integración.

5.2 Muestreo

En cada punto muestreado se tomaron muestras simples (muestra que representa las condiciones en el tiempo en que fue tomada la muestra) por triplicado, tanto para volátiles como para semivolátiles.

En lugares profundos, tales como los Emisores y la planta Cerro de la Estrella, se utilizó un bailer de teflón (Foto 1 y 2) para colectar las muestras, en donde se tenía una corriente de agua, como agua de pozos, llaves o del colector de la Galería Filtrante del Pueche, se sumergió el vial lentamente en la corriente de agua y una vez lleno, se colocó el septum y se cerró el vial con la tapa, para finalmente asegurarse de que no quedan burbujas de aire atrapadas en la muestra (Foto 3 y 4)

Durante el transporte de las muestras y hasta el momento de llevar a cabo la extracción y análisis de las mismas se conservaron en refrigeración, a 4°C. Las muestras de VOC's se almacenaron en un refrigerador separado de las demás muestras, además cada vial se metió en una bolsa de plástico con cierre, para evitar fisuras y derrames. En los dos tipos de muestras se adicionó sulfito de sodio como conservador.

Una vez realizada la elección de los sitios de muestreo se procedió a realizar una visita de reconocimiento con el fin de tomar las previsiones necesarias para el muestreo

Los sitios donde se realizó el muestreo fueron:

1. Agua del drenaje (ver Figura 4):
 - a) Emisor Central: Portal de Salida en Tepejí del Río
 - b) Emisor Poniente. Lechería, Estado de México
2. Agua subterránea dentro del DR-03 (ver Figura 4).
 - a) Tezontepec de Aldama: Galería filtrante de Pueche, caudal de 500 l/s, con más de 50 años como punto de recolección de agua para uso potable y que distribuye agua a 4 comunidades cercanas
 - b) San Salvador pozo de 36 m de profundidad, caudal de 35 l/s, 8 años de explotación, para uso de una comunidad pequeña, de aproximadamente 30 familias.
 - c) Pozo 9 de Pemex (Municipio de Tlaxcoapan): caudal de 128 l/s, aproximadamente de 10 años de explotación, 400m de profundidad y es para uso exclusivo de Pemex
3. Agua tratada en la Planta de Tratamiento Cerro de la Estrella recibe agua del colector Apatlaco
 - a) antes de cloración
 - b) después de cloración, con dos tiempos de contacto diferente, de 10 y 25 minutos
4. Agua Potable
 - a) Pozo la Nona 2, en Xochimilco, con 204 m de profundidad, caudal de 70 l/s, 25-30 años de explotación, para uso de las comunidades cercanas. Se trata de un acuífero confinado. En el primer muestreo se tomó la muestra del agua después de la desinfección y que sale por la red de distribución. En el segundo muestreo se tomó la muestra del agua extraída
 - b) Agua del laboratorio del Instituto de Ingeniería, en CU.

En el primer muestreo efectuado el 18 de Enero de 1999, se tomaron muestras del Emisor Central, Tezontepec de Aldama, de la Planta Cerro de la Estrella y de la Nona.

En el segundo muestreo, efectuado el 28 de Febrero de 1999, se tomaron muestras del Emisor Central, Emisor Poniente, Tezontepec de Aldama, planta Cerro de la Estrella, la Noria, San Salvador y del pozo No 9 de Pemex.

El formato de campo de la hoja de control se ilustra a continuación

Fecha:		Tipo de muestra: simple <input type="checkbox"/> compuesta <input type="checkbox"/>			
Hora:		Descripción del sitio			
Punto de Muestreo:					

# secuencial	# de campo	Tipo de análisis	Conservador Na ₂ SO ₃	pH	Comentarios
1	A	voc's	1v	5	
2	B	voc's	6v	5	
3	1	semivolátiles	15sv	8	
4	2	semivolátiles	18sv	8	
...

Las etiquetas de cada contenedor tuvieron la misma información que la hoja de control, llenándolas en cada sitio, al mismo tiempo que se llenaba la hoja de control.

Los recipientes y la conservación de la muestra se llevó a cabo de acuerdo a los lineamientos de la EPA (39), adicionando un contenedor de 300ml, como se muestran a continuación.

Compuestos	vol. de muestra requerido	material para coleccionar y almacenar	Condiciones de almacenamiento y adición de conservadores
Compuestos orgánicos volátiles (voc's)	40 ml y 300 ml	vidrio ámbar con tapa de teflón	4°C, Si existe cloro residual adicionar Na ₂ S ₂ O ₃ (10mg/40ml)*
Acidos, Bases/ neutros y plaguicidas (semivolátiles)	1000 ml	vidrio ámbar con tapa de polipropileno	4°C, Si existe cloro residual adicionar Na ₂ S ₂ O ₃ (80mg/L)

* Para el transporte, los frascos de las muestras deben introducirse en bolsas de plástico con cierre y almacenarse en un refrigerador diferente al del resto de las muestras.

Muestras Blanco.

Para llevar el control de calidad de campo se trabajó con tres tipos de blanco: de campo, de travesía y de laboratorio.

Blancos de campo. se adicionó el conservador y se llenó un contenedor para voc's y uno para semivolátiles con agua libre de analito. y se registró en la hoja de control. Se tomó un blanco en cada sitio de muestreo. Estos blancos se prepararon cuando se tomó la muestra de VOC's.

Blanco de travesía: el objetivo de este tipo de blanco es verificar la contaminación que puede ocurrir durante la toma de muestra y el transporte (contenedores ineficientemente limpiados, reactivos contaminados, contaminación por medio del aire durante el transporte). Los blancos de travesía se prepararon en el laboratorio con agua libre de analito y se transportaron al campo junto con los contenedores para las demás muestras y de regreso al laboratorio con las demás muestras colectadas.

Blancos de laboratorio. se prepararon en el laboratorio con agua libre de analito. adicionando el conservador y registrado como las demás muestras, pero permanecieron en refrigeración en el laboratorio.

Limpieza del material de vidrio:

El lavado del material de vidrio (contenedores para muestras) se hizo siguiendo los lineamientos de la EPA para el muestreo de compuestos orgánicos (41)

1. Lavado con solución jabonosa caliente (ALCONOX)
2. Enjuagar con agua hasta que ya no se haga espuma
3. Enjuagar con MeOH/Acetona (1:1 v/v) grado HPLC
4. Enjuagar con agua nanopure
5. Secar en estufa a 105°C por 60 minutos
6. Tapar una vez que se hayan enfriado a temperatura ambiente

Sitios de muestreo

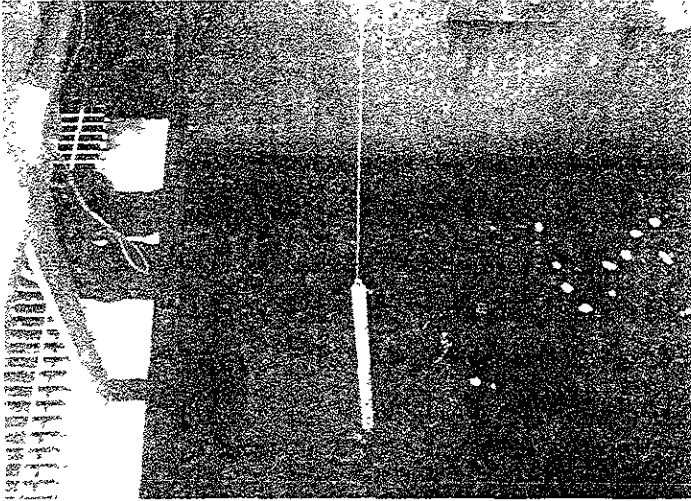


Foto 1. Toma de muestra en la planta de tratamiento Cerro de la Estrella, utilizando el bailer de teflón. La planta tiene una capacidad de 2000 l/s, con un tiempo total de residencia de 17.3 hrs. El tren de tratamiento consiste en Sedimentación primaria y Desnatado (tratamiento primario); reactor biológico de lodos activados y Sedimentación secundaria (T. secundario); Filtración con antracita, arena y grava y Cloración (T. terciario). Es la tercer planta más grande de Latinoamérica.

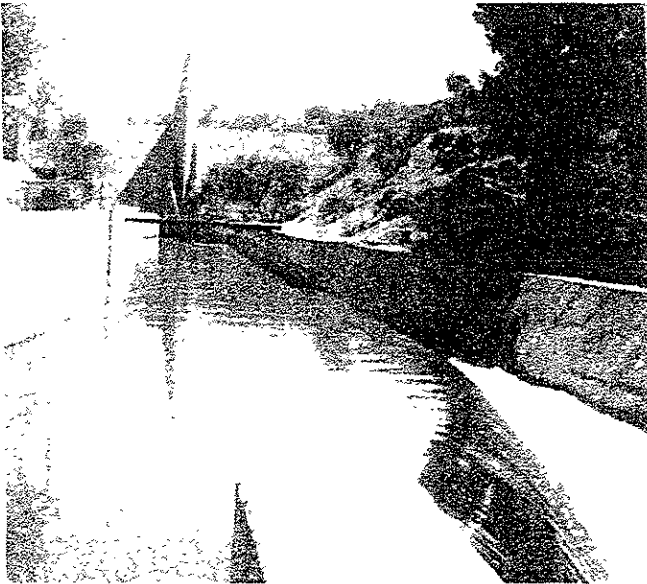


Foto 2. Emisor Central, en el Portal de Salida de Tepeji del Río. La muestra se tomó con bailer desde el puente mostrado



Foto 3. Pozo de agua potable "La Noria 2". Imagen del primer muestreo, donde se tomó la muestra del agua después de su desinfección y que sale a la red de distribución.

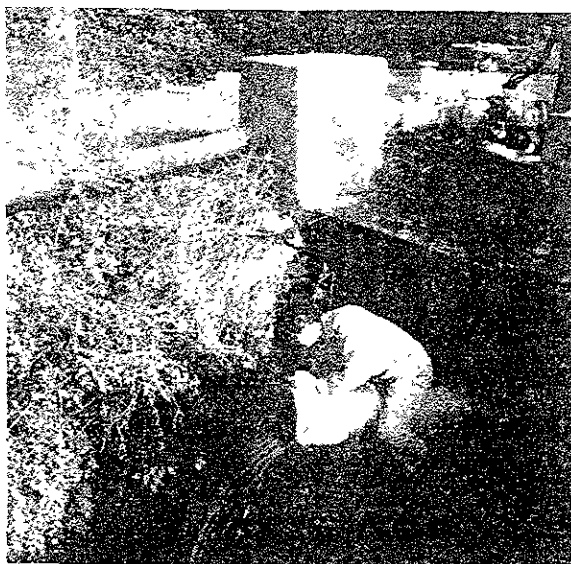


Foto 4. La Galería Filtrante del Pueche, en Tezontepec de Aldama, recibe su nombre por la forma en que se hace la colección del agua. Esta consiste en recibir en el punto mas bajo de un terreno en declive el agua que se ha conducido por medio de tubos asbesto de gran diámetro. Los tubos tienen un espacio entre ellos para permitir que el agua infiltrada por el terreno entre a los tubos y sea conducida hasta la salida. La salida de la corriente utiliza un tubo de diámetro menor y es el sitio que se muestra en la fotografía.

6. Resultados y Análisis

6.1 Generalidades

El trabajo de laboratorio previo al muestreo consistió en montar de la metodología propuesta por S. Capella y A. Pegueros (Tesis de Maestría, F.Q., UNAM, inédita) de MEFS utilizando estándares. Para la separación de los compuestos orgánicos volátiles (voc's) se utilizó la columna VOCOL 60m x 0.25mm x 1.5 μm y para compuestos semivolátiles se trabajó con la columna SPB-5.

Al trabajar con las muestras se notó que las condiciones experimentales aplicadas a los estándares debían ser diferentes para trabajar con las muestras por lo que se ajustaron:

1. Se encontró que no se obtenía diferencia entre los perfiles de una misma muestra, haciendo la extracción en el vapor sobrenadante o por inmersión, por lo que se eligió inmersión.
2. Los perfiles de las muestras obtenidos con la columna VOCOL resultaron ser voc's del tipo de bencenos sustituidos e hidrocarburos pequeños (C2-C5). Compuestos que también se retenían en la columna SPB-5, por lo que se ajustaron las condiciones para hacer el análisis de voc's y semivolátiles en una sola columna, con el uso del *retention gap*.
3. Utilizar NaCl al 5% (p/v)
4. Aumentar el tiempo de extracción y el volumen de muestra para mejorar la sensibilidad.

Se utilizó para la MEFS una fase polar (PA) y una fase no polar (PDMS) con el fin de abarcar la gama más amplia de polaridades.

En el blanco de ambas fibras se pudieron observar compuestos típicos de la fase, como alquil siloxanos, que se restaron de cada una de las muestras. En los blancos se encontraron ftalatos (butil, metil propil ftalato y di-isooctil ftalato), por lo que también se restaron de las muestras que los contenían. Estos compuestos probablemente son resultado de la contaminación con los guantes de látex utilizados.

6.1.1 Análisis Semicuantitativo

La evaluación de órdenes de concentración se llevó a cabo fijando concentraciones puntuales de los estándares; los puntos manejados fueron 5, 10, 50, 100, 500 y 1000 ppb, con los cuales se calcularon los factores de respuesta en cada punto de cada estándar.

A causa del carácter exploratorio de la investigación, fue imposible prever a todos los compuestos que se encontrarían, por lo que la forma de evaluar consistió en utilizar estándares de estructura molecular similar a los compuestos identificados en las muestras y calcular su concentración por factores de respuesta. Se trabajó sólo con los picos de mayor área, que son los que aparecen en las tablas correspondientes, ya que como podrá verse en los cromatogramas la mayoría de los picos son muy pequeños. Los estándares utilizados para la evaluación se conformaron de alquil bencenos, aromáticos halogenados, aromáticos policíclicos y fenoles, por lo que sólo en éstas familias químicas se pudieron establecer órdenes de concentración. Para la evaluación de fenoles se utilizó la fibra de PA y para los demás compuestos, a la fibra de PDMS.

6.1.2 Análisis Cualitativo

Los resultados cualitativos se encuentran organizados en dos tablas, la Tabla A corresponde a la extracción realizada con la fibra no polar (PDMS) y la Tabla B con la polar (PA). Las tablas se

encuentran divididas en 7 columnas principales, la primera indica un número consecutivo (NC), asignado en base a sus tiempos de retención.

En la segunda columna se asignó identidad de acuerdo a su clasificación por familia química (FQ).

1. Hidrocarburos (HC): alifático (A), cíclico (C), ácido orgánico (O)
2. Alquil Aromático (AA)
3. Halogenado (H)
4. Residuo Aromático (RA), en donde se hace referencia a los picos en los que sólo se obtuvieron dos o tres fragmentos iónicos que son característicos de compuestos aromáticos mononucleares. Estos residuos pueden aparecer varias veces durante la corrida de un mismo sitio (por eso se enlistan varias veces), pudiéndose suponer que provienen de moléculas más pesadas conforme avanza su tiempo de retención.
5. Compuestos fosforados (P)
6. Compuestos azufrados (S)
7. Compuestos nitrogenados (N)
8. Compuestos Policíclicos de dos tipos: el primero de ellos se compone de 2 o más anillos (alquil) aromáticos (AP) y el segundo de un anillo aromático y un ciclo, que puede o no tener insaturaciones o heteroátomos (AP1)

Es importante mencionar que en los casos en que un compuesto tuvo 2 o 3 grupos funcionales, se eligió sólo uno para clasificarlo, basándose en el que da el carácter a la molécula.

La tercera columna se encuentra subdividida en los 8 sitios de muestreo que incluyen el primer y segundo muestreo, y en el caso de Cerro de la Estrella, además se encuentran las muestras antes y después de cloración. El símbolo "*" representa que el compuesto listado se encuentra presente en dicho sitio

La manera de conformar el listado fue la siguiente:

1. Para cada pico o señal cromatográfica en la corrida de cada sitio, se obtuvo el patrón de fragmentación y se verificó su presencia en las 5 restantes inyecciones (en cada sitio se tomó la muestra por triplicado y cada una de éstas se inyectó por duplicado).
2. Para que un pico se incluyera en las Tabla A o B, el patrón de fragmentación debía estar presente en al menos 3 inyecciones, de las 6 realizadas. Se hizo la comparación con patrones de fragmentación, no con tiempos de retención o nombres de compuestos
3. Se hizo la asignación de cada pico comparando su patrón de fragmentación con el del compuesto químico encontrado en la biblioteca del procesador y apoyado en la biblioteca del NIST (40), titulado por ello a la cuarta columna "Identificación Tentativa".

En la última columna se escribió la probabilidad (en porcentaje) de que el nombre asignado al pico sea el correspondiente al patrón de fragmentación. Este dato resulta relevante ya que en algunos casos la probabilidad de que el compuesto citado sea el verdadero es alta, pero en otros la probabilidad es baja, por lo que el nombre servirá sólo como representante de la familia química del compuesto. En algunos casos no se escribió el porcentaje debido a que el patrón de fragmentación fue comparado con la biblioteca del NIST, por lo que no se dispone de éste dato.

Para analizar los resultados cualitativos se utilizaron dos tipos de gráficas:

- 1) Gráficas de porcentajes (gráficas de pie) que representan la composición por tipo de agua: negra (AN), subterránea (AS), tratada (AT) y potable (AP). Para construir las, tomando como ejemplo al AN, se hizo el conteo de los compuestos presentes en el Emisor Central (EC) y después se adicionó a los compuestos del Emisor Poniente (EP). En los casos en que el compuesto estuviera presente en ambos sitios, sólo se le contabilizó una vez. La utilidad de tal representación es para dar una idea general y rápida de la composición. Este tipo de gráfica se mencionará como composición *global*.

2) Perfiles individuales, con gráficas de barras, en ellas se expresa el número de compuestos presentes en cada sitio analizado, es decir, mientras que con las gráficas de pie se suman los sitios que conforman cada tipo de agua (EC + EP para conformar al agua negra), con las gráficas de barras se tiene la composición de cada sitio individualmente, como EC y EP. También se usaron éstas gráficas para expresar la composición individual de un sitio incluyendo los resultados de las dos fibras (PDMS y PA), perfil mencionado como *Total*.

Para llevar a cabo comparaciones de perfiles se utilizó como prueba estadística (no paramétrica) a la X^2 para muestras independientes, al 95% de significancia (ver anexo 3).

Se debe especificar que cuando se cite un lugar, por ejemplo "Tezontepec" se está haciendo referencia únicamente al sitio muestreado, sin intención de que este punto sea interpretado como representativo de todo Tezontepec (o del lugar citado).

A continuación se presentan las Tablas A y B, para después dar inicio al análisis de resultados, en donde primero se presentarán los cromatogramas iónicos totales (TIC) obtenidos con cada una de las fibras, después la composición expresada por familia química y finalmente los resultados de la evaluación de órdenes de concentración, para cada tipo de agua.

Las abreviaturas utilizadas en las Tablas A y B son las siguientes:

Generales

NC = Número consecutivo
 FQ = Familia Química
 F.M. = Fórmula Mínima
 P.M. = Peso Molecular
 % = Probabilidad de semejanza

Familia Química

HC = Hidrocarburo
 HC-A = HC alifático
 HC-C = HC cíclico
 HC-O = HC ácido orgánico
 AA = Alquil aromático
 H = Halogenado
 RA = Residuo de Aromático
 F = Fenol
 AP1 = Aromático policíclico (aromático y cíclico)
 AP = Aromático policíclico (2 o más aromáticos)
 P = Compuesto fosforado
 S = Compuesto azufrado
 N = Compuesto nitrogenado

Tipo de Agua:

AN = Agua Negra
 AT = Agua Tratada
 AP = Agua Potable
 AS = Agua Subterránea

Sitios Muestreados:

EC = Emisor Central
 EP = Emisor Poniente
 C-1 = Cerro de la Estrella, 1^{er} muestreo, antes de cloración
 C-2 = Cerro de la Estrella, 1^{er} muestreo, después de cloración
 C-3 = Cerro de la Estrella, 2^o muestreo, antes de cloración
 C-4 = Cerro de la Estrella, 2^o muestreo, después de cloración, 10' de contacto
 C-5 = Cerro de la Estrella, 2^o muestreo, después de cloración, 25' de contacto
 N-1 = Pozo de la Noria 2, 1^{er} muestreo
 N-2 = Pozo de la Noria 2, 2^o muestreo
 II = Muestra del laboratorio del Instituto de Ingeniería
 T-1 = Tezontepec, 1^{er} muestreo
 T-2 = Tezontepec, 2^o muestreo
 S = Pozo de San Salvador
 P = Pozo de Pemex

Tabla A. Análisis Cualitativo utilizando la fase de Polidimetilsiloxano (PDMS)

NC	FQ	Sitios Muestreados																	Identificación Tentativa	F.M.	P.M	%		
		AT					AP				AS													
		EC	EP	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	N-1	N-2	II	T-1	T-2		S	P								
1	AA	*																		Metil benceno	C7H8	92.06	52	
2	HC-O	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Acido acético	C2H4O2	60.02	72
3	AA	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1,4 dimetil benceno	C8H10	106.08	83
4	AA	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1,2 dimetil benceno	C8H10	106.08	7
5	HC-A	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	2,6-dimetil-4-octeno	C10H20	140.16	91
6	HC-C	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	3,6,6-trimetil-Biciclo-hept-2-eno	C10H16	136.12	91
7	AA	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1-etil-2-metil benceno	C9H12	120.09	94
8	S	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Trisulfuro de dimetil	C2H6S3	125.96	64
9	HC-C	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	beta pineno	C10H16	136.12	91
10	HC-A	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	décano	C10H22	142.17	93
11	H	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1,4-dicloro benceno	C6H4Cl2	145.97	50
12	HC-A	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	3,3-dietil-Pentano	C9H20	128.16	4
13	HC-C	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1-metil-4-(1-metiletil)-7-Oxabicicloheptano	C10H8O	154.14	70
14	AA	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1-metil-3-(1-metiletil)-Benceno	C10H14	134.11	91
15	HC-C	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1-metil-5-(1-metiletil)-Ciclohexeno	C10H16	136.12	49
16	AA	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1,2-dietil benceno	C10H14	134.11	91
17	HC-A	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	undecano	C11H24	156	91
18	HC-A	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	2-Hepteno (E)	C7H14	98.11	14
19	AA	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	(1,1-dimetilpropil)-Benceno	C11H16	148.12	47
20	API	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	2,3-dihidro-4-metil-1H-Indeno	C10H12	132.09	38
21	H	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1-bromo-2,4-dimetil-Benceno	C8H9Br	184	9
22	API	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	2,3-dihidro-1-metil-Indeno	C10H12	132.09	95
23	API	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1,2,3,4-tetrahidro-Naftaleno	C10H12	132.09	46
24	AA	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Dietil metil benceno	C11H16	148.12	58
25	HC-C	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	5-metil-2-(1-metiletil)-Ciclohexanol	C10H20O	156.15	87
26	H	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1,2,4-Triclorobenceno	C6H3Cl3	179.93	94
27	AP	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Naftaleno	C10H8	128.06	50
28	API	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	2,3-dihidro-1,2-dimetil- 1H-Indeno	C11H14	146.11	87
29	H	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1,2,3-Triclorobenceno	C6H3Cl3	179.93	91

NC	FQ	EC	EP	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	N-1	N-2	II	T-1	T-2	S	P	Identificación Tentativa	F.M.	P.M.	%
30	S	*	*													Tetrasulfuro de dimetilo	C2H6S4	157.94	37
31	AP1	*	*													1,2,3,4-tetrahidro-2,7-dimetil-Naftaleno	C12H16	160.12	55
32	H								*							2-Bromobenzamida	C7H6BrNO	199	
33	AP1	*	*													1,2,3,3a-tetrahidro-Azuleno	C10H12	132.09	32
34	AP1	*	*													5,6-dimetil-(8C)indano	C11H14	146.11	87
35	AA	*	*						*							(1,1-dimetilbutil)-Benceno	C12H18	162.14	9
36	N															Metil,3-Amino-s-triazole	C3H7N4	99	
37	H								*							1,3,5-trimetil-2-bromobenceno	C9H11Br	199	
38	H								*							3-cloro-1-fenil-2-Buteno	C10H11Cl	166.05	4
39	HC-C	*	*			*	*	*					*	*	*	Bornil acetato	C12H20O2	196.15	90
40	AP	*	*													1-metil Naftaleno	C11H10	142.08	86
41	HC-C			*	*	*	*	*		*		*	*	*	*	2,2,3-trimetil-biciclo- heptano	C10H18	138.14	4
42	HC-C	*	*													1-metil-3-(1-metiletetil)-Ciclohexeno	C10H16	136.12	91
43	H								*							2,4,5-tricloro-Fenol	C6H3Cl3O	195.92	83
44	RA			*	*	*	*	*	*	*		*	*	*	*	Residuo de aromático			
45	API	*	*													6-etil-1,2,3,4-tetrahidro-Naftaleno	C12H16	160.12	49
46	AP	*	*						*	*		*	*	*	*	1,1'-Bifenilo	C12H10	154.08	83
47	RA			*	*	*	*	*		*		*	*	*	*	Residuo de aromático			
48	AP	*	*							*		*	*	*	*	1,1'-oxybis-Benceno	C12H10O	170.07	80
49	RA									*		*	*	*	*	Residuo de aromático			
50	AP	*	*							*		*	*	*	*	Residuo de aromático	C12H12	156.09	91
51	HCA	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1,5-dimetil naftaleno	C13H26O	198.2	25
52	AP1	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Tridecanal	C8H7NO	133	7
53	RA	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1H-Indol-5-ol			
54	AP	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Residuo de aromático			
55	H								*							1,2,3,4-tetrahidro-2,5,8-trimetil-Naftaleno	C13H18	174.14	25
56	H									*						2,3-dibromo Trofeno	C4H2Br2S	240	
57	RA			*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1,1,1-trifluoro-2-Propanona	C3H3F3O	112.01	1
58	AP			*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Residuo de aromático			
59	F	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	N-(2-oxo-benzopiran-6-ily)-acetamida	C11H9NO3	203	
60	AP	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	2-(1,1-dimetil) etil Fenol	C10H14O	150	72
61	AA	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	4-metil-1,1'-Bifenilo	C12H12	168.09	94
62	AA			*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1,1'-etiliden bis-Benceno	C14H14	182.11	95
																Etil metil benceno		119	

NC	FQ	EC	EP	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	N-1	N-2	II	T-1	T-2	S	P	Identificación Tentativa	F.M.	P.M	%
63	HC-A	*														Pentadecano	C15H32	212.25	70
64	F	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1-(2,4,5-trihidroxifenil)-1-Butanona	C10H12O4	196.07	
65	RA		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Residuo de aromático			
66	F		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	2,6-bis(1,1-dimetiletil)-Fenol	C14H22O	206.17	47
67	RA								*	*	*	*	*	*	*	Residuo de aromático			
68	H								*	*	*	*	*	*	*	2,4-dibromo-1,3,5-trimetil benceno	C9H10Br2	278	62
69	N		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	6,8-dimetil pirido-pirimidina-2,4-diona	C9H9N3O2	191.07	30
70	N		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1-(1-ciclohexen-1-ily)-Pirrolidina	C10H17N	151.14	5
71	AA	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	2-hidroxil-3-metilbutil ester ácido benzoico	C12H16O3	208.11	68
72	AP	*														9H-Fluoreno	C13H10	166.08	52
73	HC-A	*							*	*	*	*	*	*	*	3,5,5 trimetil, 1-hexeno	C9H18	126.14	7
74	HC-A	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	2,6,6-trimetil-Octano	C11H24	156.19	38
75	AP	*							*	*	*	*	*	*	*	2,4'-dimetil-, 1', bifenilo	C14H14	182.11	38
76	F	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	4-(1,1,3,3-tetrametilbutil)-Fenol	C14H20O	206.17	78
77	AA	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	N-fenilmaleimida	C10H7NO2	173.05	43
78	AA	*							*	*	*	*	*	*	*	dihidro-4-metil-3-metilen-1,4-Benzoxazepin-5-ona	C11H11NO2	189.08	7
79	P	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Tributil ester del ácido fosforico	C12H27O4P	266.16	50
80	N							*	*	*	*	*	*	*	*	(1H-imidazol-2-ily)-4,4-dimetil-5-Hexen-1-ona	C11H16N2O	192.13	10
81	RA		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Residuo de aromático			
82	AP	*							*	*	*	*	*	*	*	1,2,3-trimetil-4-propenil-(E)-Naftaleno	C16H18	210.14	50
83	AA	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	4-metil Benzamida	C8H9NO	135.07	5
84	AP	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	9-butil-Antraceno	C18H18	234.14	9
85	HC-A	*							*	*	*	*	*	*	*	2-Decino	C10H18	138.14	22
86	AP	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Fenil metoxinaftaleno	C17H14O	234.29	
87	AP	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1-(4-metilfenil)-3-fenil-2-Propen-1-ona	C18H14O	222.1	5
88	HC-A	*							*	*	*	*	*	*	*	hexil-Oxirano	C8H16O	128.12	4
89	AA								*	*	*	*	*	*	*	3-metil-benzoato 1-Butanol	C12H16O2	192.11	4
90	AP	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1,2,3,5,6,7-hexahidro-1,1,4,7,8-hexametil-s-indaceno	C18H26	242.2	30
91	F	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	4-nonil-Fenol	C15H24O	220.18	64
92	AP	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	dimetoxi-10H-Fenotiazina	C14H14NOS	244	
93	AP	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	9,10-dihidro-Benzop[trifenileno	C22H16	280.12	3
94	AA	*							*	*	*	*	*	*	*	O-isopropiloxima Benzaldehido	C10H13NO	163.1	5
95	AA		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	2-(Fenilmetileno)-Octanal	C15H20O	216.15	72

NC	FQ	EC	EP	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	N-1	N-2	II	T-1	T-2	S	P	Identificación Tentativa	F.M.	P.M.	%
96	HC-O	*					*	*	*							Acido tetradecanoico	C14H28O	228.21	50
97	AP	*	*	*	*	*	*	*	*							octahidro-tetrametil acetato de Metanoazulen-6-ol	C17H28O2	264.21	83
98	HC-A											*			*	3,3-dimetil-Heptano	C9H20	128.16	4
99	AP													*	*	1,1-[1,2-etanodibis(ox)]bis-Benceno	C14H14O2	214.1	5
100	HC-A	*	*											*	*	13-Octadecenal	C18H34O	266.26	49
101	HC-O	*	*													Acido Pentadecanoico	C15H30O2	242.22	98
102	AP								*							2,3-Dimetil-1-Bencilindol	C17H17N	235.14	9
103	HC-O	*	*									*	*		*	ácido 12-metil-Tetradecanoico	C15H30O2	242.2	70
104	HC-A	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	3,7,11-trimetil-2,6,10-Dodecatrien-1-ol	C15H26O	222.2	42
105	AP	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	7-Acetil-6-etil-terametiltralin	C18H26O	258.2	96
106	AP			*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	6,7-dietil-tetrahidro-tetrametil-Naftaleno	C18H28	244.22	53
107	F								*							3,5-dimetoxi-Fenol	C8H10O3	154.06	30
108	AP								*	*						1,2,4-trihidroxí-9,10 antracenediona	C14H8O5	256.21	
109	HC-O	*	*													Acido 9-Hexadecenoico	C16H30O2	254.22	99
110	AA	*	*													2,3,4-trimetoxi-Benzonitrilo	C10H11NO3	193.07	25
111	HC-A								*			*				2,2,3,3-tetrametil-Hexano	C10H22	142.17	2
112	HC-C											*				Ciclohexadecano	C16H32	224.24	42
113	H															Eter 4-bromofenilo	C12H8Br2O	328	
114	HC-O								*			*				1-metiltetil ester del ácido Hexadecanoico	C19H38O2	298.29	38
115	S	*	*										*	*	*	Mol de azufre	S8	256	40
116	HC-A	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	4,4-dimetil-Undecano	C13H28	184.22	37
117	HC-A	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	9-octadeceno (E)	C18H36	252.28	50
118	AP	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	hexahidro-7-metoxi-trimetil fenantrenona	C18H24O2	272.18	33
119	AA													*	*	fenil, difenil ester del ácido Fosforamídico	C18H16NO3P	325	
120	P	*	*													Etanol 2-butoxi fosfato	C18H39O7P	398.24	53
121	P	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	2-etilhexil difenil ester del ácido fosforico	C20H27O4P	362.16	33
122	AA			*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	2-etenil-1,3,5-trimetil-Benceno	C11H14	146.11	38

Tabla B Análisis Cualitativo utilizando la fase de Poliacrilato (PA)

NC	FQ	Sitios Muestreados																Identificación tentativa	F.M.	P.M.	%
		AN		AT				AP				AS									
		EC	EP	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	N-1	N-2	II	T-1	T-2	S	P						
1	AA	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	C7H8	92.06	53		
2	HC-O	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	C2H4O2	60.02	90		
3	HC-O	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	CH2O2	46.01	9		
4	HC-A	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	C6H14O3	134	90		
5	HC-O	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	C4H8O2	88.05	3		
6	HC-O	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	C4H8O2	88.05	10		
7	N	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	C3H9N	59.07	7		
8	H	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	C4H8O2	126	59		
9	HC-C	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	C10H16	136.12	91		
10	AA	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	C9H12	120.09	91		
11	S	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	C2H6S3	126	91		
12	HC-G	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	C6H6O2	110.04	5		
13	S	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	C4H4S2	116	81		
14	H	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	C3H6O2	112	10		
15	H	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	C6H4Cl2	146	30		
16	HC-C	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	C10H18O	154.14	72		
17	HC-C	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	C16H18	138.14	72		
18	HC-C	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	C10H16	118.08	97		
19	HC-A	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	C8H18O	130.14	45		
20	AA	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	C9H10	118.01	23		
21	AA	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	C9H10O2	150.07	5		
22	AP	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	C12H10O	170.07	4		
23	HC-O	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	C7H12O2	128.12			
24	RA	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*					
25	H	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*					
26	N	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	C3H5Cl	76	7		
27	HC-C	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	C4H6N2O2	114.1			
28	AA	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	C6H12O	100.09	9		
29	AA	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	C9H11NO	149.08	28		
30	HC-A	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	C10H12	132.09	50		
31	AA	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	C4H8	56.08	4		
32	HC-A	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	C8H8O2	136.05	60		
33	HC-C	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	C10H2O	158.17	28		
34	HC-A	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	C7H14	98.11	38		
35	HC-C	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	C6H10O	98.07	43		
36	H	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	C12H20O2	196.15	50		
37	F	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	C7H4ClNO	153	74		
		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	C8H10O	122.07	10		

NC	FQ	EC	EP	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	N-1	N-2	II	T-1	T-2	S	P	Identificación tentativa	F.M.	P.M.	%
38	AP1	*	*													1,2,3,4-tetrahidro-Naftaleno	C10H12	132.09	22
39	AP1	*	*													5-aminio-1H-isoindol-1,3(2H)-diona	C8H6N2O2	162.04	5
40	HC-A								*		*	*	*	*	*	2-metil-2-(4-metil-1,3-pentadienil)-1,3-dioxolano	C10H16O2	168.11	5
41	F															2-etil-Fenol	C8H10O	122.07	10
42	HC-C	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	5-metil-2-(1-n-metiletil)-Ciclohexanol	C10H20O	156.15	91
43	HC-C	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	dihidro-5-(2-octenil)-2(3H)-Furanona	C12H20O2	196.15	9
44	H	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1,2,4-tricloro-Benceno	C6H3Cl3	180.80	80
45	AP	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Naftaleno	C10H8	128.06	83
46	H															4-cloro-Fenol	C6H5ClO	128.87	87
47	HC-C	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	penti-Ciclopentano	C10H20O	140.16	9
48	H															1-bromo-Heptano	C7H5Br	178.37	37
49	HC-A	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1-Heptadecano	C17H36O	256.28	38
50	H	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1,2,3-Incloro Benceno	C6H3Cl3	180	
51	S	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Tetra sulfuro de dimetilo	C2H6S4	158	10
52	AP1	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	5,6-dimetil-(8C)Indano	C11H14	146.11	87
53	HC-A	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	2-metil,3-dimetoxi-1-propeno	C8H12O2	117	
54	H	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1,1'-oxybis 4-cloro-Butano	C8H16ClO2	198.06	4
55	HC-C	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Bornil acetato	C12H20O2	196.15	91
56	AP	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1H-Indol	C8H7N	117.06	83
57	HC-A	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	2-Octanona	C8H16O	128.12	9
58	F	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	2-(1,1-dimetiletil)-Fenol	C10H14O	150.1	10
59	AP	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	2,7-dimetil-1,8-Naftindina	C10H10N2	158.08	30
60	AP	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	2-metil-Naftaleno	C11H10	142.08	64
61	AP1	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1,2,3,4-tetrahidro-2,7-dimetil-Naftaleno	C12H16	160.12	43
62	AP	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	2-amina,1,5-Naftindina	C8H7N3	145.06	5
63	AA	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	2-amino- metil ester del ácido benzoico	C8H9NO2	151.06	40
64	HC-C	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	2,2,3-trimetil-biciclo heptano	C10H18	138.14	
65	RA	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Residuo de aromático			
66	H	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	2,4,5-tricloro-Fenol	C6H3Cl3O	195.92	91
67	AA	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	4-(4-metoxifenil)-3-Buten-2-ona	C11H12O2	176.08	12
68	S	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	4-eti-5-metil-Tiazol	C6H9NS	127.05	12
69	AP	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1,1'-Bifenilo	C12H10	154.08	
70	AP	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	3-metil-1H-Indol	C9H9N	131.07	91
71	AP1	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	6-etil-1,2,3,4-tetrahidro-Naftaleno	C12H16	160.12	
72	H	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	2,4,6-tricloro-Benzenamirina	C4H4Cl3N	196	91
73	RA	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Residuo de aromático			
74	AP	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1,4-dihdro-Fluoreno	C13HH12	168	53
75	AP	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	3-metil-2-(1-metiletienil)-Benzofurano	C12H12O	172.09	38
76	AP	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1,5-dimetil-Naftaleno	C12H12	156.09	86
77	H	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	2,3-dibromo-Tiofeno	C4H2Br2S	240	52
78	AA	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1,4-bis(1-metiletil)-Benceno	C12H18	162.14	

NC	FQ	EC	EP	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	N-1	N-2	II	T-1	T-2	S	P	Identificación tentativa	F.M.	P.M.	%
79	H								*						*	4,6-dicloro-2-metil-1,3-Bencenediol	C7H6Cl2O2	192	49
80	RA										*				*	Residuo de aromático			
81	AA		*												*	1-heximi-Benceno	C12H14	158.11	25
82	RA														*	Residuo de aromático			
89	HCA		*												*	1-(eteniloxi)-Octadecano	C20H40O	298.31	25
84	AP								*						*	3,6-dimetoxi-9,10-dimetilfenantreno	C18H18O2	266.13	5
85	AP								*						*	Isomero de hidros metano-2,9,8-hexahidrociclopentilideno	C14H15Br	262.04	10
86	RA								*						*	Residuo de aromático			
87	AP								*						*	hexahidro-tetrametil-Metanonafaleno	C15H24	204.19	10
88	AP	*							*						*	3-metil-1,1'-Bifenilo	C13H12	168	53
89	H								*						*	1,2-dibromo-Butano	C4H8Br2	214	38
90	HCC			*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1,1,3-trimetil-Ciclopentano	C8H16	112.12	25
91	AA	*							*						*	1,1'-etiliden bis- Benceno	C14H14	182.11	95
92	S	*	*						*						*	Mol de azufre	S8	256	40
93	HCA	*							*						*	5-metil-5-propil Nonano	C13H28	184.22	43
94	S	*	*						*	*	*	*	*	*	*	2,5-bis(2-metilpropil)-Trefeno	C12H20S	198.13	32
95	AP	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	7-hidroxi-6-metoxi-4-metil-Benzopiran-2-ona	C11H14O4	206.06	19
96	RA	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Residuo de aromático			
97	H								*						*	4,5,7-metoxi-2,3-dihidro-2-metil-Benzofurano	C8H7Cl3O	236	43
98	H								*						*	2-bromobenzamida	C7H6BrNO	198	
99	H								*						*	diclorometil sulfonil metil nitrobenzeno	C8H7Cl2NO4S	282.95	
100	F	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1-(2,4,5-trihidroxifenil)-1-Butanona	C10H12O4	196.07	7
101	HCA	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	2,5-dibutil-Tiofeno	C12H20S	196.13	5
102	HCO	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Acido Dodecanico	C12H24O2	200.18	64
103	RA	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Residuo de aromático			
104	AP	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	2-(1-ciclopenten-1-ily)-Nafitaleno	C15H14O	194.11	27
105	RA	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Residuo de aromático			
106	F	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	4-(1,1,3,3-tetrametilbutil)-fenol	C14H22O	206.17	87
107	H								*						*	7-bromo-2,3-dihidro-5-etil-4-benzodiazepin-2-tiona	C15H11BrN2S	330	23
108	AA								*						*	1-(2,4,5-trihidroxifenil)-1-Butanona	C11H11NO2	189.08	7
109	AP	*		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	2-metil-fenantro oxazol	C16H11NO	233.08	5
110	N								*						*	3-(fenilmetil)-2,4-Tiadiazol-5-amina	C9H9N3S	191.05	5
111	P	*							*						*	Tributil ester del ácido fosforico	C12H27O4P	266.16	50
112	AA		*						*						*	2,3,4' Trimetoxi acetofenona	C11H14O4	210.09	46
113	F	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	4-noril-fenol	C15H24O	220.18	83
114	F	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	2,5-bis(1,1-dimetiletil)-fenol	C14H22O	206.17	17
115	HCA	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1,14-Tetradecanediol	C14H30O2	230.22	9
116	AA								*						*	2-hidroxi-1-metiletil ester del ác Benzoico	C10H12O3	208.11	5
117	AA	*		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	2,6-bis(1-metiletil)-Benzenamina	C12H19N	177.15	53
118	AA	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	N-(2,6-dimetilfenil)-Acetamida	C10H13NO	163.1	52
119	AA	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1-metoxi-4-pentil-Benceno	C12H18O	178.14	35

NC	FQ	EC	EP	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	N-1	N-2	II	T-1	T-2	S	P	Identificación tentativa	F.M.	P.M	%
120	AA	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	2-metil-Benzamida	C8H9NO2	135.07	10
121	AP	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1,1-(1-metililideno)bis-Benceno	C15H16	196.12	45
122	AP	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	4-metoxi-3-fenil-Isotiazol	C10H9NOS	191.04	9
123	AA	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	N-(3-metilfenil)-Acetamida	C9H11NO	149.08	43
124	AP	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	ácido Fenil-Bencenacético	C14H12O2	222.08	15
125	AP	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	2,6-bis(1,1-dimetil)-1,4-Bencenediol	C14H20O2	222.16	83
126	AP	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	ácido difenil fenoxiacético	C15H14O3	242.09	91
127	HC-C	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	2,8,8-trimetil-7-(2-propenil)-6-oxabicyclo-oct-2-eno	C13H20O	192.15	5
128	HC-C	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	3-metilen-4-(1,2-propadienil)-Ciclohexeno	C10H12	132.09	5
129	HC-O	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Ácido Tetradecanoico	C14H28O2	228.21	97
130	AP	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1-(Feniloxometil)-2,5-Pirrolidinediona	C11H9NO2S	219.04	32
131	AP	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	octahidro-terametil acetato Meihanozulen-6-ol	C17H28O	264.21	87
132	HC-A	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	2-ciclohexil-4,5-dimetil-1,3-Dioxolano	C11H20O2	184.15	10
133	AA	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	2,4-dimetil-Bencenammina	C8H11N	121	5
134	HC-A	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1-Eicosino	C20H36	278.3	38
135	F	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	2,4,6-trinitro-fenol	C6H3N3O7	229	9
136	HC-O	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	ácido 12-metil-Tetradecanoico	C15H30O2	242.22	89
137	HC-C	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	etil. ácido dodecano	C14H28	196.22	46
138	AP	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	6-metoxi-8,8-dimetil-Benzodipirran-2-ona	C15H14O4	258.09	70
139	AP	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1,4-dihidro-1,4-eteno antraceno	C16H122	204.09	70
140	HC-C	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1,7-dimetil-4-(1-metilil) ciclodecano	C15H30O2	210.23	15
141	F	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	3,5-dimetoxi-Fenol	C8H10O3	154.06	25
142	AP	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1,5-difenil-4-Penten-1-ona	C17H16O	236.12	20
143	HC-C	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1-metil-3,4-difenil-2-Azetidinona	C16H15NO	237.12	17
144	AP	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	2-hidroxi-Ciclopentadecanona	C15H28O2	240.21	86
145	AA	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	fenil-Bencenopropanol	C15H16O	212.12	25
146	AP	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	(4(1,1-dimetilil)fenoxil)metil ester del ácido Acético	C13H18O3	222.13	10
147	AA	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1,2,3-trimetoxi-5-(1-propanil)benzeno	C12H16O3	208.05	5
148	AP	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	2-(fenilil)piridina	C13H9N	179	10
149	AP	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	4-(4-nitrofenil)metil-Bencenammina	C13H12N2O2	228.09	5
150	AP	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	5-nitro-3-metilindol	C9H8N2O2	176.06	5
151	HC-A	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	2-(trans-6,7-epoxinonoxil)-terahidropirano	C14H26O3	242.19	5
152	N	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	4-(dimetilamino)-3-metil-2-Butanona	C7H15NO	129.11	5
153	HC-A	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1-Norrianol	C9H20O	144.15	12
154	AP1	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Estinol	C18H24O3	288.17	
155	HC-O	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	ácido 9,12-Octadecadienoico	C18H32O2	280.24	86
156	HC-C	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1,7-dimetil-4-(1-metilil) ciclodecano	C15H30	210.23	10
157	AP	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	4-estiril-Quinolina	C17H13N	231.1	23
158	HC-A	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1,2-dihetil ciclopropeno	C17H32	236.25	40
159	AP	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	4,4'-(1-metililid)bis-fenol	C15H16O2	228.11	58
160	AP	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	etichloroformada,8-metileno-5-(3-metilen-4-pentenil) Metileno	C20H32	272.25	8

NC	FQ	EC	EP	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	N-1	N-2	II	T-1	T-2	S	P	Identificación tentativa	F M	P M	%
161	AP	*														4-Fenoxi-2(1H)-Quinolona	C15H11NO2	237.08	10
162	AP	*			*		*					*	*	*	*	fenil difenil éster del ácido Fosforamídico	C18H16NO3P	325	10
163	AP															2,4,6-tris(1,1-dimetil-2-fenil-Quinolona	C19H30O2	290.22	2
164	AP			*	*		*	*	*	*	*	*	*	*	*	6-metil-2-Fenil-Quinolona	C16H13N	219.1	10
165	HC-A	*														Heptacosano	C27H56	380.44	87
166	AP1	*														metil-Colesta-8,24-dien-ol	C28H46O	398.35	35
167	AP1	*														Epicolestanol	C27H48O	388.37	25
168	AP1	*														Colestan-1-ona	C27H46O	386.35	25

6.2 Caracterización del Agua Negra (AN)

6.2.1 Evaluación cualitativa

En las Figuras 11 y 12 se muestran los cromatogramas iónicos (TIC) del Emisor Central, utilizando la fase no polar y polar, respectivamente.

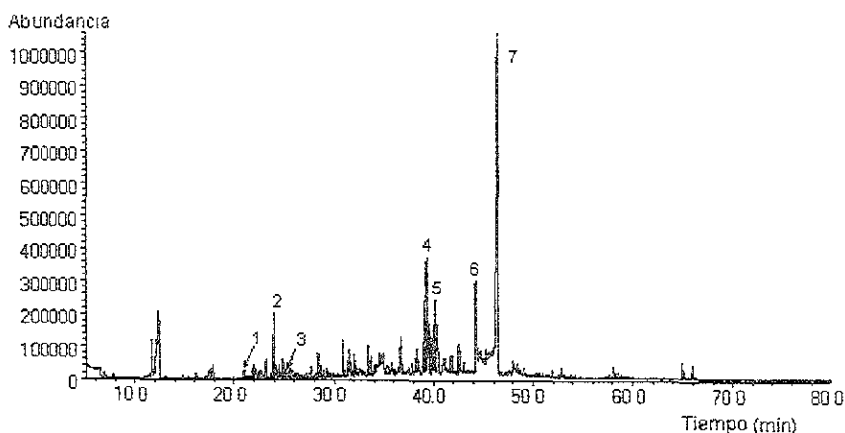


Figura 11. TIC agua del Emisor Central utilizando en la extracción la fase de PDMS Columna SPB-5, Temperatura inicial 40°C/10´min, 4°C/min hasta 280 °C/10 min. Temperatura del inyector 240°C; inyección splitless, 5 min de desorción, Temperatura de la interfase 280 °C Compuestos señalados: 1= metil-3-(1-metil etil) benceno; 2=2,6-dimetil octeno 3=1,2,4- triclorobenceno; 4= 4-nonil fenol; 5= 4-(1,1,3,3-tetrametilbutil) fenol; 6= ácido hexadecanoico; 7= Mol de azufre.

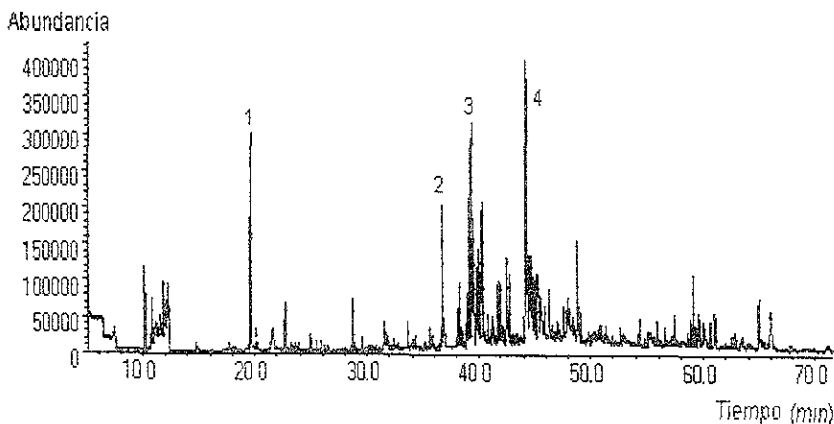
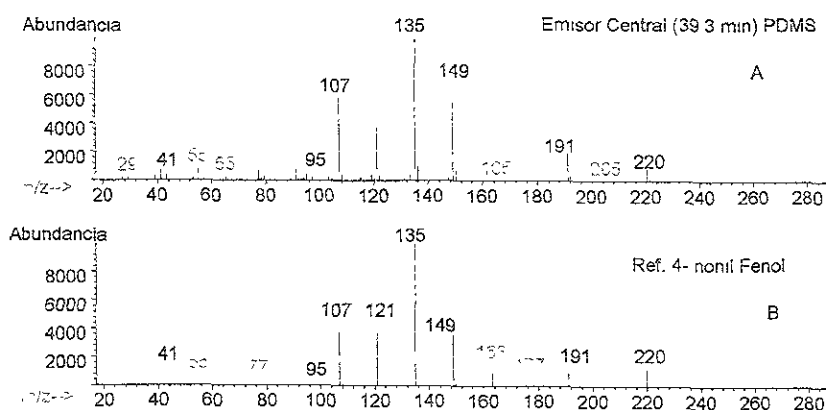


Figura 12. TIC agua del Emisor Central utilizando en la extracción la fase de PA. Mismas condiciones cromatográficas que las expresadas en la Figura 11. Compuestos señalados: 1= 2-(2-etoxietoxi) etanol, 2 = 4-(1,1,3,3-terabutil) fenol; 3= 4-nonil fenol, 4= ácido 9,10- octadienoico.

Al observar los perfiles cromatográficos que se obtuvieron con la fase PDMS y con la de PA, puede notarse que evidentemente hubo diferencia en cada perfil, dado que una fase atrajo a los compuestos no polares y la otra a los polares, logrando abarcar una amplia gama de polaridades.

En la Figura 11 puede notarse que el pico más importante en tamaño es el azufre, compuesto que proviene de la degradación de material orgánico tal como las proteínas (aminoácidos), por lo que es muy natural que se encuentre en el agua negra. Es importante mencionar que los compuestos azufrados juegan un papel importante en la oxidación del resto de la materia orgánica presente en la matriz, dado que puede actuar como oxidante y como reductor y es además un micronutriente para los cultivos.

El espectro siguiente es la comparación del pico 4 del cromatograma del Emisor Central (A) y su estándar (B), que corresponde al patrón de fragmentación del 4-nonil fenol.



Espectro 1. A= Patrón de fragmentación del pico 4 de la Figura 11; B= Patrón de fragmentación del estándar del 4-nonil fenol. La probabilidad asociada a que la identidad de A sea el estándar mostrado es de 64%.

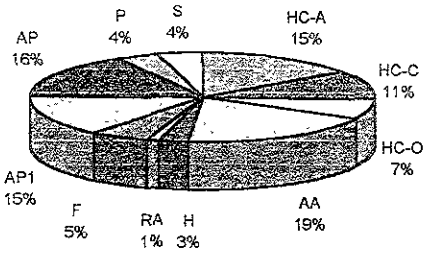
Al observar estos espectros puede notarse que el pico base (135) y los iones principales (107,121,149) coinciden en ambos espectros (A y B) por lo que aunque la probabilidad de que el patrón de fragmentación no sea muy alta (64%), es posible aseverar que la familia química del compuesto corresponde a los fenoles (alquil fenoles).

La identificación total de todos y cada uno de los compuestos presentes en cada muestra, con cada una de las fases utilizadas para la extracción, resulta en una gran tarea que si bien es importante, se encuentra fuera de los objetivos de este trabajo. Lo importante es tener una idea general del tipo de compuestos orgánicos que están presentes en el agua negra y en el agua subterránea, como base para elegir a aquellos que sean importantes por ser indicadores de alguna situación particular y entonces hacer el seguimiento de éste grupo selecto, en la continuación de este trabajo.

Composición utilizando la fibra no polar (PDMS):

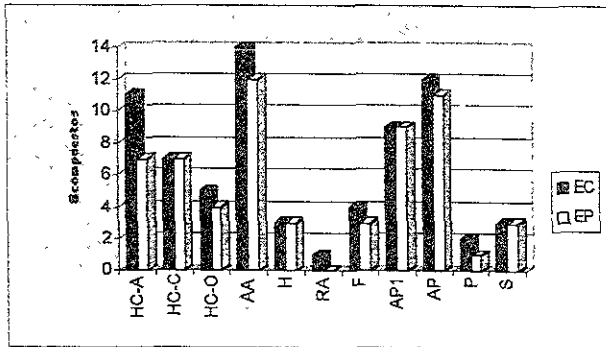
De la gráfica 5, puede observarse que el perfil *global* (EC + EP) del agua negra se compone en 33% por hidrocarburos (A+C+O) en 31% de Aromáticos Policíclicos (AP+AP1) y 19% de alquil aromáticos.

Es posible que el origen de algunos hidrocarburos, de los alquil aromáticos y de los aromáticos policíclicos sea derivado de gasolinas, dadas las características de manejo utilizadas por los usuarios. Los aromáticos pueden también tener otro origen, ya que forman parte de muchos disolventes manejados en la industria por ejemplo en plásticos y pinturas.



Gráfica 5. Composición *global* del Agua Negra. Número total de compuestos 74

Del tratamiento estadístico se obtuvo que no existe diferencia significativa entre la composición del agua negra que proviene del Emisor Central y la que proviene del Emisor Poniente. Cabe destacar que la toma de muestra de estos dos sitios, se llevo a cabo en muestreos diferentes (18 de Enero para EC y 28 de Febrero para EP) infiriendo de ello, que la composición no tuvo variaciones importantes durante el mes que hubo de diferencia. Los perfiles individuales se muestran en la Gráfica 6.

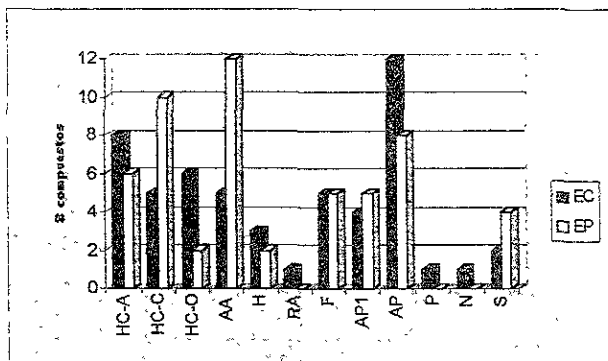


Gráfica 6. Perfil individual de las fuentes de agua negra. Número total de compuestos EC=71 y EP=60

Composición utilizando la fibra polar (PA) y Comparación de las dos fibras

En la composición *global* del agua negra (EC + EP) utilizando la fibra de PA se tuvieron 88 compuestos. Los perfiles individuales del EC y del EP se componen por 53 y 54 compuestos respectivamente. La diferencia que existe de alrededor de 35 compuestos (88-54=34) es debida a aquellos compuestos que están presentes en uno, pero no en el otro sitio.

Siendo esta diferencia en el caso de la fibra de PDMS mas pequeña (74 *global*, 71 de EC y 60 de EP), se puede decir que con la fibra polar se puede diferenciar un poco mejor el perfil del EP al del EC (por la presencia de esos 35 compuestos) sin embargo, esta diferencia no llega a ser estadísticamente significativa. En la gráfica 7 se muestran los perfiles de EC y EP con la fibra de PA.

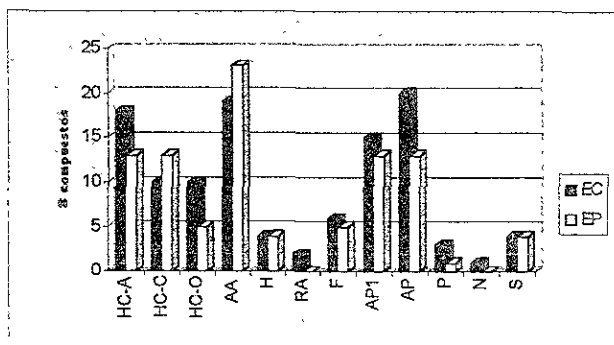


Gráfica 7. Perfiles del agua negra. Número total de compuestos EC= 53; EP= 54

Al comparar los perfiles del EC y del EP, resultó no haber diferencia significativa entre ellos, por lo que se confirma la conclusión previamente hecha con la fibra no polar.

Los compuestos que se confirmaron con ambas fibras, es decir, aquellos que no presentaron preferencia por alguna de las dos fases ya que se extrajeron con ambas, fueron 11 en el caso del EC y 20 en el EP. En estos grupos "no selectivos" se incluyen compuestos de casi todas las familias químicas manejadas: HC (C, O), AA, S, H, AP y F.

El perfil total del agua negra, construido por la suma de los compuestos de las dos fibras, resultó conformarse por 112 compuestos en el caso del EC y 94 en el caso del EP, la gráfica 8 muestra la composición de estos perfiles



Gráfica 8 Perfiles Totales para el agua negra. Número total de compuestos EC=112; EP=94

6.2.2 Evaluación de órdenes de concentración en Agua Negra

En la Tabla 8 se muestran los órdenes de concentración de las fuentes de agua negra, que es donde se encontraron las concentraciones más altas de los 4 tipos de agua. Los aromáticos así como los AP se encuentran debajo de las 10 ppb, que son concentraciones por debajo de lo establecido por la EPA para descargas de aguas residuales. Los fenoles van del orden de las 300 a las 1500 ppb.

Tabla 8. Análisis SemiCuantitativo en Agua Negra

NC	EC	C-ppb	EP	C-ppb	Identificación Tentativa
3	*	< 5	*	< 5	1,4 dimetil benceno
4	*		*	< 5	1,2 dimetil benceno
7	*	< 5	*	< 5	1-etil-2-metil benceno
14	*	< 5	*	< 5	1-metil-3-(1-metiletil)-Benceno
16	*		*	< 5	1,2-dietil benceno
19	*	< 5	*	< 5	(1,1-dimetilpropil)-Benceno
20	*	< 10	*		2,3-dihidro-4-metil-1H-Indeno
22	*	< 10	*	< 5	2,3-dihidro-1-metil-Indeno
23	*	< 5	*	< 5	1,2,3,4-tetrahidro-Naftaleno
26	*	< 5	*	< 5	1,2,4-Triclorobenceno
27	*	< 10	*	< 5	Naftaleno
28	*	10-50	*	< 5	2,3-dihidro-1,2-dimetil-1H-Indeno
31	*	< 5	*	< 5	1,2,3,4-tetrahidro-2,7-dimetil-Naftaleno
33	*	< 5	*	10-50	1,2,3,3a-tetrahidro-Azuleno
34	*	< 5	*	< 5	5,6-dimetil-Indano
35	*	< 5	*	< 5	(1,1-dimetilbutil)-Benceno
40	*	< 5	*	< 5	1-metil naftaleno
45	*	< 5	*	< 5	6-etil-1,2,3,4-tetrahidro-Naftaleno
46	*	5	*	< 10	1,1'-Bifenilo
48	*	10-50	*	< 5	1,1'-oxybis-Benceno
50	*	< 5	*	< 5	1,5-dimetil naftaleno
59	*		*	< 100	2-(1,1 dimetiletil) fenol
60	*	< 10	*	< 5	4-metil-1,1'-Bifenilo
61	*	< 5	*	< 10	1,1'-etiliden bis-Benceno
75	*	< 5			2,4'-dimetil-1,1' bifenilo
76	*	100-500	*	100-500	4-(1,1,3,3-tetrametilbutil)-Fenol
77	*		*	< 5	N-fenilmaleimida
82			*	< 5	1,2,3-trimetil-4-propenil-(E)-Naftaleno
84	*	< 5			9-butyl-Antraceno
91	*	> 1000	*	500-1000	4-nonil-Fenol
97	*	< 5	*	< 5	acetato octahidro-tetrametil-Metanoazulen-6-ol
110	*		*	< 5	2,3,4-trimetoxi-Benzonitrilo

Dado que no se cuenta con un listado específico de compuestos orgánicos en la normatividad Nacional actual, se sugiere como medida preventiva (ya que actualmente no se tienen concentraciones riesgosas en el AN de compuestos AA y AP) un listado con sus límites máximos de concentraciones.

6.3 Caracterización del Agua Subterránea (AS)

6.3.1 Evaluación cualitativa

Los perfiles cromatográficos del agua subterránea de Tezontepec, se muestra en las Figuras 13 y 14. Los perfiles de San Salvador y del Pozo de Pemex, se presentan en el anexo 2.

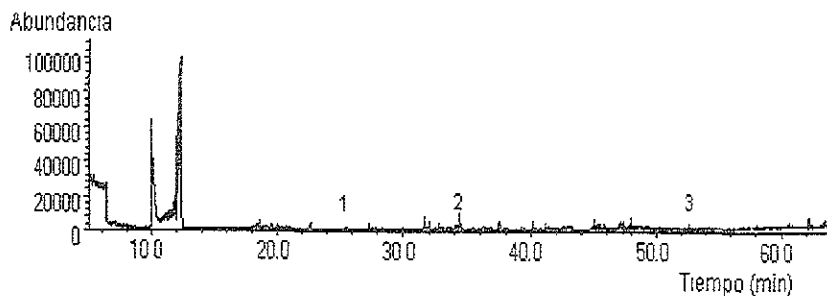


Figura 13. TIC de agua de Tezontepec utilizando en la extracción la fase de PDMS. Mismas condiciones cromatográficas que las expresadas en la Figura 11. Compuestos señalados: 1= 1,2,4 trclorobenceno; 2 = residuo de aromático ; 3= metil éster del ácido hexadecanoico

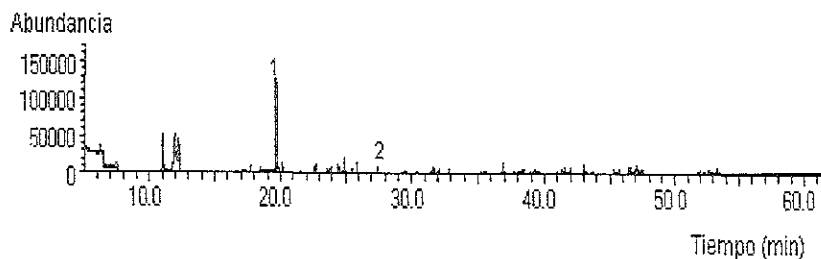
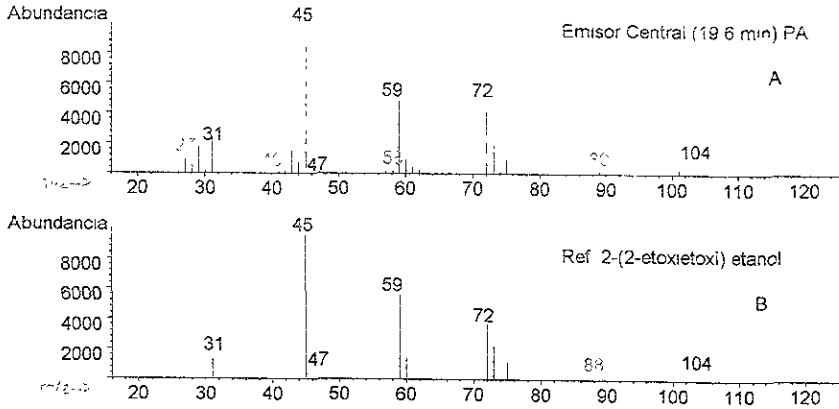


Figura 14. TIC de agua de Tezontepec utilizando en la extracción la fase de PA. Mismas condiciones cromatográficas que las expresadas en la Figura 11. Compuestos señalados: 1=2-(2-etoxietoxi) etanol ; 2 = residuo de aromático.

El único pico importante por su tamaño, es el que corresponde al 2-(2-etoxietoxi) etanol, cuyo espectro se muestra a continuación. La procedencia de tal compuesto puede ser debida a que el radical etoxilo es fácilmente hidrolizable de las moléculas que lo contienen, por lo que puede tratarse de un producto de degradación.



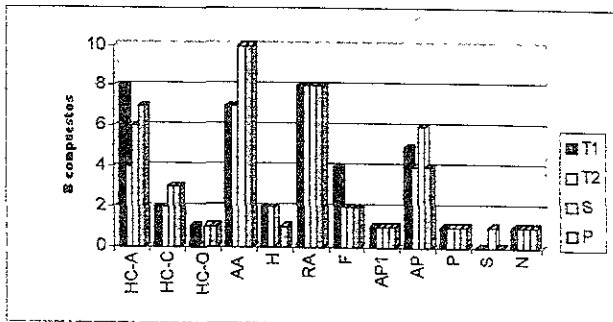
Espectro 2. A= Patrón de fragmentación del pico 1 de la Figura 14; B= Patrón de fragmentación del estándar del 2-(2-etoxietoxi) etanol. La probabilidad asociada a que la identidad de que A sea el estándar mostrado es de 90%.

Composición utilizando la fibra no polar (PDMS):

Los perfiles del agua subterránea se ilustran en la gráfica 9, en ella puede notarse que el agua subterránea se encuentra caracterizada principalmente por HC (con predominio de los alifáticos), AA, RA y AP. Situación que debe tomarse en cuenta, dado que el agua es utilizada para beber.

Del total de HC en el agua subterránea, la mitad de ellos tienen su origen en el agua negra. A los compuestos que se han encontrado en AS y también en el AN, se les ha llamado *trazadores*, para señalar que el compuesto ha tenido un recorrido, marcando el origen (en este caso el agua negra) y el destino (el agua subterránea). Estos trazadores pueden tener diferente tiempo de residencia en un suelo, esto dependerá de la composición del suelo, así como de la estructura molecular del trazador.

Las posibles explicaciones de que existan compuestos en el agua subterránea, que no tienen su origen en el agua negra pueden ser dos; la primera de ellas es asumir que son productos de degradación, como en el caso de los RA. La segunda es asumir que son compuestos "nativos" de un perfil anterior del AN, diferente al que se obtuvo con esta investigación.



Gráfica 9. Perfil individual de Agua subterránea. Número total de compuestos T1=40; T2=32; S=40 y P=39

De la comparación efectuada entre los perfiles de Tezontepec durante el mes que hubo de diferencia en los muestreos (T1 el 18 de enero y T2 el 28 de febrero), se encontró que no hubo diferencia entre ellos. Se debe resaltar, que aunque el perfil es similar, en el segundo muestreo se tuvo 20% menos compuestos que en el primero.

Los factores que pueden influir en la composición del agua subterránea son diversos, entre ellos la litología, el tipo de acuífero así como las características de los pozos, tales como profundidad de extracción y forma de construcción del pozo (ademado o ranurado). Sin embargo, considerando únicamente la ubicación y profundidad de los tres sitios, se esperaría que:

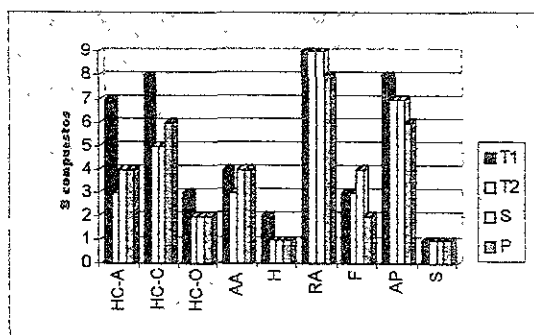
1. El agua con mayor número de compuestos fuera San Salvador, ya que además de ser el área influenciada por las dos entradas de agua negra (Figura 3), es un pozo joven que fue alumbrado debido al aumento del nivel freático de la zona, lo que de paso explica su poca profundidad
2. Se esperaría que el agua "más limpia" fuese la del pozo de Pemex, dada la profundidad de su extracción.

Esto resultó no ser cierto, ya que comparando S, P y T ($\alpha= 0.05$) no existe diferencia significativa en el número total de compuestos, ni en la proporción de ellos en cada familia.

Lo que lleva a la conclusión de que no importa si el agua entra por el Gran Canal o el Emisor Central y tampoco afecta la profundidad o antigüedad de extracción, sino que se tiene una composición de compuestos orgánicos homogénea, que en éstos tres sitios se tiene la contaminación del agua negra.

Composición utilizando la fibra polar (PA) y Comparación de las dos fibras

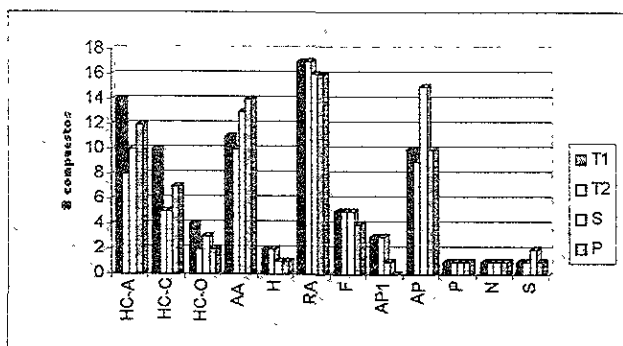
Los perfiles obtenidos con la fase PA se muestra en la gráfica 10. En ella se puede observar que los tres sitios están caracterizados principalmente por AP y RA, siguiendo en importancia los AA y los HC. Situación que puede resultar riesgosa, dependiendo de sus concentraciones, dada la toxicidad de este tipo de compuestos y sabiendo que el agua se utiliza como potable.



Gráfica 10. Perfil Individual del Agua Subterránea. Número total de compuestos T1=45; T2=34; S=37, P=34

Al llevar a cabo la comparación entre perfiles, no se encontró diferencia significativa entre ellos, tampoco en la comparación de los perfiles *totales*. Puede hacerse entonces extensiva la conclusión hecha con la fibra de PDMS, de que no es importante si el agua negra entra por el Emisor Central o el Gran Canal y tampoco afecta la profundidad o antigüedad de la extracción, dado que se obtuvo una composición homogénea entre Tezontepec, San Salvador y el pozo de Pemex.

La gráfica 11 muestra los perfiles *totales* del agua subterránea, caracterizada principalmente por RA, que pueden suponerse como productos de degradación de moléculas más grandes. Siguen en importancia los AA, los AP y los HC.



Gráfica 11. Perfiles *totales* del agua subterránea. Número total de compuestos: T1=79; T2=64; S=73; P=69.

6.3.2 Evaluación de órdenes de concentración en Agua Subterránea

En la Tabla 9 se muestran los órdenes de concentración de las fuentes de agua subterránea, en general, los compuestos aromáticos (AA y RA) se encuentran en concentraciones menores de 1 ppb. La concentración más alta de los compuestos corresponde al nonil fenol, con 31 ppb en el agua de San Salvador, por lo que únicamente se sobrepasaría la especificación de la NOM-SSA-127 para fenoles

Tabla 9. Análisis SemiCuantitativo en Agua Subterránea

NC	T-1	C-ppb	T-2	C-ppb	S	C-ppb	P	C-ppb	Identificación Tentativa
14					*	< 5	*	< 5	1-metil-3-(1-metiletil)-Benceno
16	*	< 5	*	< 5	*		*	< 5	1,2-dietil benceno
44	*	< 5	*	< 5	*	< 5	*	< 5	Residuo de aromático
47	*	< 5	*		*	< 5	*	< 5	Residuo de aromático
49	*	< 5	*		*	< 5	*		Residuo de aromático
52	*	< 5	*	< 5	*	< 5	*	< 5	1H- Indol 5-oL
53	*	< 5	*	< 5	*	< 5	*	< 5	Residuo de aromático
57	*	< 5	*	< 5	*	< 5	*	< 5	Residuo de aromático
52	*	< 5	*		*		*	< 5	Etil metil benceno
65	*	< 5	*	< 5	*	< 5	*	< 5	Residuo de aromático
67	*	< 5	*		*		*	< 5	Residuo de aromático
69	*		*		*	< 5	*	< 5	6,8-dimetil pirido-pirimidina-2,4-diona
76	*		*	< 5	*		*	< 5	4-(1,1,3,3-tetrametilbutil)-Fenol
77	*	< 5	*	< 5	*	< 5	*		N-fenilmaleimida
78	*	< 5	*		*	< 5	*	< 5	dihidro-4-metil-3-metilen-1,4-Benzoxazepin-5-ona
81	*	< 5	*		*	< 5	*	< 5	Residuo de aromático
83	*	< 5	*	< 5	*		*	< 5	4-metil benzamida
86	*	< 5	*		*				Fenil metoxi naftaleno

Continuación de la Tabla 9									
NC	T-1	C-ppb	T-2	C-ppb	S	C-ppb	P	C-ppb	Identificación Tentativa
87	*	< 5	*		*				1-(4-metilfenil)-3-fenil-2-Propen-1-ona
91	*	5-10	*	< 5	*	10-50	*	< 10	4-nonil-Fenol
95	*	< 5	*	< 5	*	< 5	*		2-(Fenilmetileno)-Octanal
99					*	< 5	*	< 5	1,1'-[1,2-etanodiy(bis(oxy))]bis-Benceno
106	*				*	< 5	*	< 5	6,7-dietil-tetrahidro-tetrametil-Naftaleno

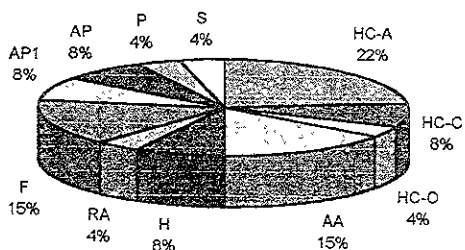
No se encontraron compuestos en el AS que se encuentren reglamentados por la normatividad de Estados Unidos; sin embargo compuestos de estructura semejante a los alquili bencenos encontrados, tienen límites máximos de: etil benceno 700 ppb, tolueno 1000 ppb y xilenos 10 000 ppb. Por lo que se puede decir que no existe problema respecto a este tipo de compuestos en el AS que actualmente se usa como potable.

6.4 Caracterización del Grupo de Trazadores

6.4.1 Evaluación cualitativa

Composición utilizando la fibra no polar (PDMS):

Los trazadores son los compuestos que se encuentran presentes en el agua negra y también en el agua subterránea debido a su infiltración. La gráfica 12 muestra la composición *global*, del análisis que se realizó con la fibra de PDMS.

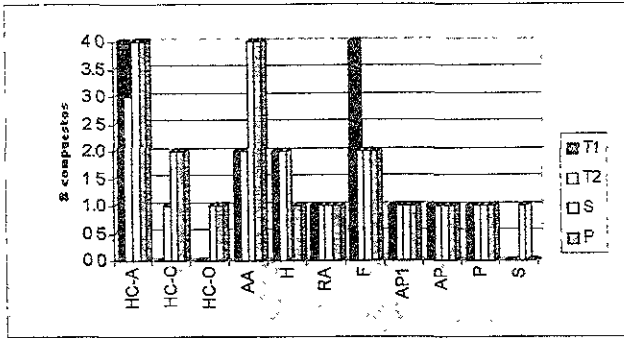


Gráfica 12. Composición *global* de trazadores. Número total de compuestos 26.

La gráfica 13 muestra la composición de trazadores por cada sitio, en ella se puede observar que los trazadores de mayor importancia y que están en los 3 sitios son los HC, así como los AA y los F.

Estas tres familias de compuestos tiene diferente polaridad, ventaja que puede aprovecharse en investigaciones donde se requiera medir el tiempo que tarda en migrar una especie dada (utilizando un isótopo marcado de estas tres familias químicas).

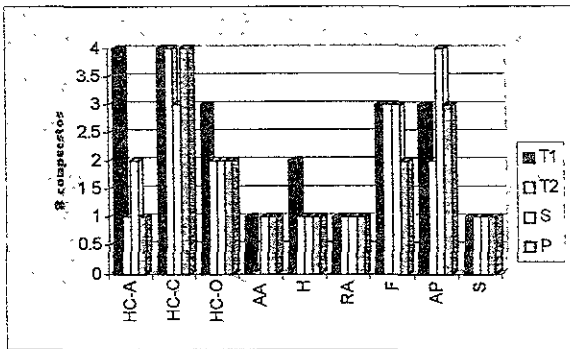
Al hacer las comparaciones de los perfiles, no se encontraron diferencias significativas entre ellos.



Gráfica 13. Perfil de trazadores por sitio individual de Agua Subterránea. Número total de compuestos T1=16; T2=14; S=18; P=18.

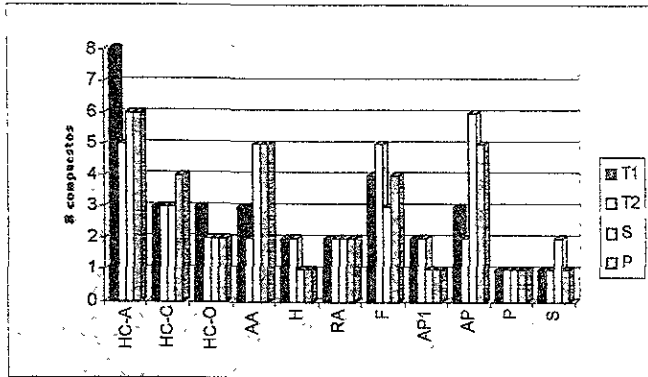
Composición utilizando la fibra polar (PA) y Comparación de las dos fibras

La gráfica 14 muestra los perfiles del grupo de los trazadores, obtenidos con la fibra polar. No se encontró diferencia entre los trazadores de los 3 sitios.



Gráfica 14. Perfiles de los trazadores. Número total de compuestos: T1=22; T2=15; S=18; y P=16.

La gráfica 15 muestra los perfiles *totales* del grupo de los trazadores. Al hacer la comparación de éstos perfiles tampoco se encontró diferencia, por lo que con este resultado puede confirmarse la idea de que no existe diferencia entre los tres sitios que están influenciados por la entrada de agua diferente.



Gráfica 15. Perfiles Totales de Trazadores. Número total de compuestos: T=32; T2=27; S=32; y P=32.

Del grupo de trazadores pudo estimarse el nivel de concentración de 9 compuestos, estos son los mostrados en la Tabla 10. En 6 de los casos se pudo observar la disminución en la concentración al infiltrarse por el suelo; esto puede deberse a degradación y/o retardo por adsorción en suelo. Otra posibilidad es que los niveles de estos compuestos en el agua negra no siempre sean del mismo orden, pudiéndose observar concentraciones menores. En el caso de los alquil bencenos se encontraron las mismas ordenes de concentración.

Tabla 10. Evaluación de Trazadores

NC	Identificación Tentativa	C (ppb) AN	C (ppb) AS	Usos (41)
14	1-metil-3-(1-metiletil)-Benceno	< 5	< 5	disolventes, gasolinas, formulación de pinturas, fármacos
16	1,2-dietil benceno	< 5	< 5	en insecticidas (para combatir termitas), plantas eléctricas
26	1,2,4-Triclorobenceno	< 5	d.l.c*	como medio de transferencia de calor, en jabones perfumados.
48	1,1'-oxybis-Benceno	10	d.l.c*	gasolinas, pinturas, resinas, insecticidas,
50	1,5-dimetil naftaleno	< 5	d.l.c*	preparación de aditivos
76	4-(1,1,3,3-tetrametilbutil)-Fenol	100-500	< 5	lubricantes, plastificantes y tensoactivos
91	4-nonil-Fenol	500-1000	10 - 50	Cera de zapatos, desengrasante, ceras de pisos
105	7-Acetil-6-etil-terametiltetralin ¹	10	< 5	

* d.l.c.= debajo del límite de cuantificación

Para llevar a cabo el seguimiento de este grupo de compuestos se tendrían que realizar estudios con suelo, tomando en cuenta las características del pozo donde se hizo el muestreo del agua. Por ejemplo, hacer mediciones en los suelos previamente analizados (composición), utilizando columnas y midiendo el tiempo que se tardaría en migrar un determinado compuesto.

De acuerdo a la evaluación de los compuestos orgánicos en el agua subterránea, no se tienen niveles altos de los compuestos que pudieran considerarse riesgosos (dadas sus propiedades intrínsecas de toxicidad). Se tendría que vigilar sólo el nivel de fenoles, los cuales están reglamentados en la NOM-SSA-127 más porque imparten aroma al agua, que por sus propiedades de toxicidad.

¹ LD₅₀ (Dosis a la que se tiene el 50% de muertes en una población) = 2 86g/kg. Clasificación por valor de LD₅₀. Ligeramente tóxico de 0 5-5 g/kg, moderado 50-500 mg/kg, muy tóxico 1-50 mg/kg, extremadamente tóxico 1 mg/kg (42).

6.5 Caracterización del Agua Tratada (AT)

6.5.1 Evaluación cualitativa

Se analizó el agua tratada en la Planta Cerro de la Estrella con el fin de compararla con el agua subterránea del DR-03 analizada, dado que en ambos casos el agua ha sido tratada; en la planta de tratamiento, utilizando el proceso de lodos activados y en el DR-03 por medio del suelo.

Las Figuras 15 y 16 son los perfiles cromatográficos del agua tratada, con la fase de PDMS y PA respectivamente.

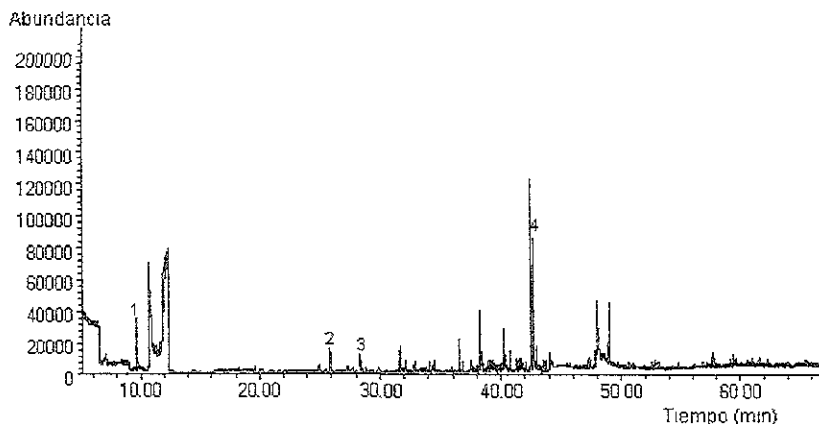
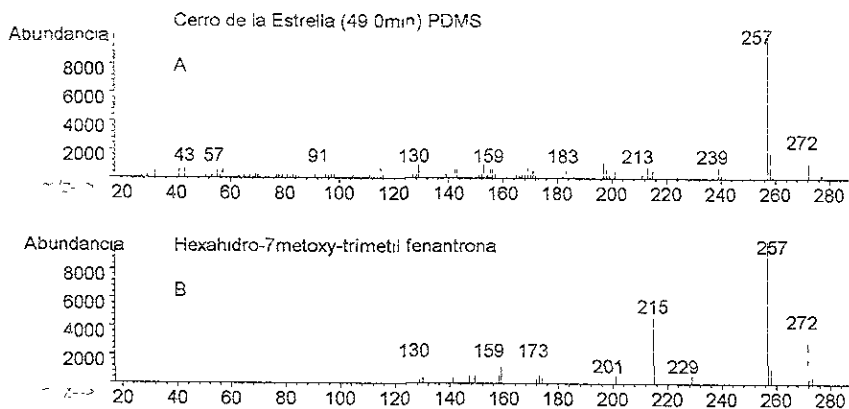


Figura 15. TIC de agua de Cerro de la Estrella utilizando en la extracción la fase de PDMS. Mismas condiciones cromatográficas que las expresadas en la Figura 11. Compuestos señalados: 1= ácido acético; 2= trimetil, biciclo heptano; 3= bornil acetato; 4= 7-acetil-6-etil-tetrametil-tetralin, 5= hexahidro-7-metoxi-trimetil fenantrona.

Los picos de 38 y 40 minutos son 6,8-dimetil pirido pirimidina-2,4 diona y el ácido tetradecanoico. El pico de mayor tamaño (pegado al pico 4) tiene un patrón de fragmentación muy parecido al del pico 4, la comparación con el 7-acetil-6-etil-tetrametil-tetralin es de 81%, por lo que seguramente se trata de algún otro alquil-sustituyente del tetralin. El pico anterior al pico 5 es un hidrocarburo, el 9-octadeceno (E).



Espectro 3. A= Patrón de fragmentación del pico 5 de la Figura 15, B= Patrón de fragmentación del estándar del hexahidro-7-metoxi-trimetil fenantrona. La probabilidad asociada a que la identidad de A sea el estándar mostrado es de 33 %

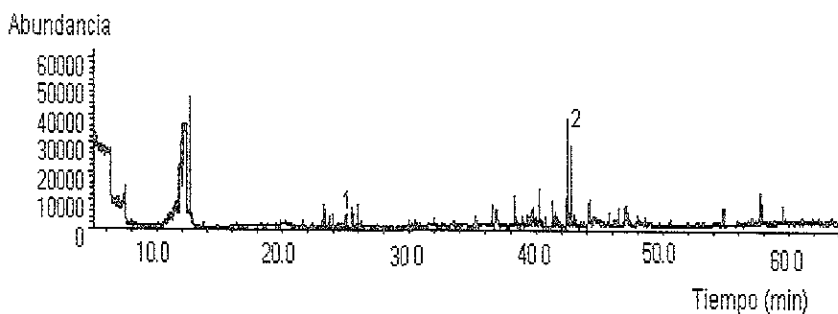
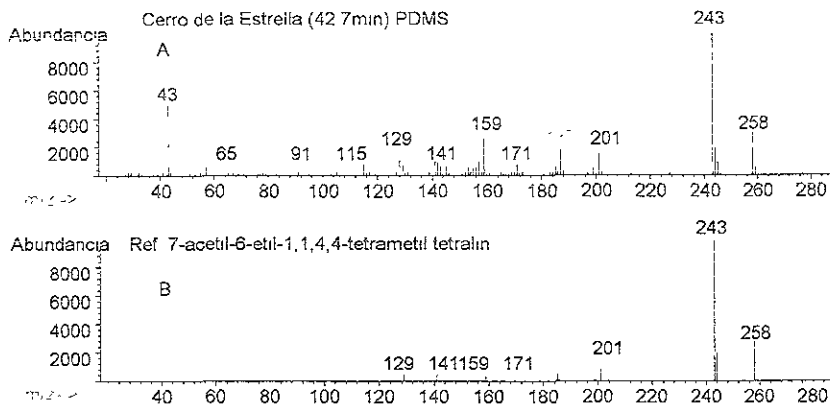


Figura 16 TIC de agua de Cerro de la Estrella utilizando en la extracción la fase de PA. Mismas condiciones cromatográficas que las expresadas en la Figura 11. Compuestos señalados: 1= 1,2,4-triclorobenceno; 2= 7-acetil-6-etil-tetrametil tetralin

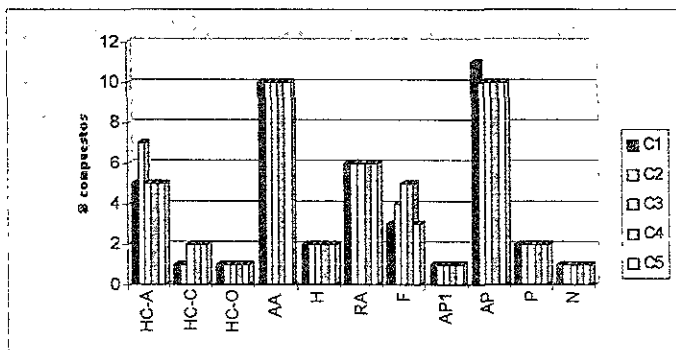


Espectro 4. A= Patrón de fragmentación del pico 2 de la Figura 16; B= Patrón de fragmentación del estándar del 7-acetil-6-etil-1,1,4,4-tetrametil tetralin. La probabilidad asociada a que la identidad de A sea el estándar mostrado es de 81 %

Composición utilizando la fibra no polar (PDMS):

En los resultados del AT no se encontró diferencia significativa entre las muestras tomadas antes de la cloración (C-1 y C-3) en el mes que hubo de diferencia entre el primer y el segundo muestreo. Lo mismo se observó para las muestras C-2 y C-4, que corresponden a las muestras tomadas después de cloración.

Referente a las muestras C-4 y C-5, que ambas corresponden al segundo muestreo, no existe diferencia significativa entre la muestra que llevaba 10 minutos con la que llevaba 25 minutos en la tina de cloración.

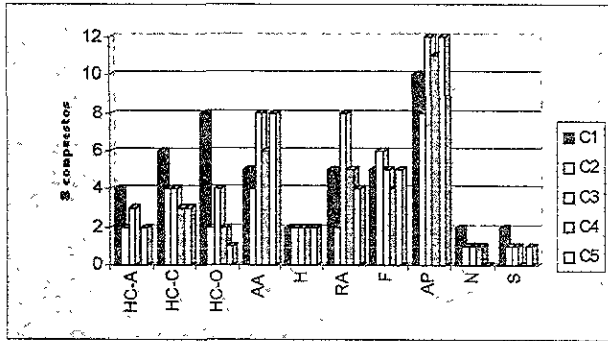


Gráfica 16. Perfil del agua tratada en la planta Cerro de la Estrella. Número total de compuestos C1=43, C2=45; C3=45; C4=45 y C5=43.

Los perfiles individuales se muestran en la gráfica 16, en ella se puede observar la similitud en composición entre las 5 muestras, los AA son los de mayor proporción, seguido por los AP, evidentemente debido a que la Planta lleva a cabo el tratamiento biológico de todos activados, y éste tipo de compuestos es de muy difícil degradación para los microorganismos aerobios

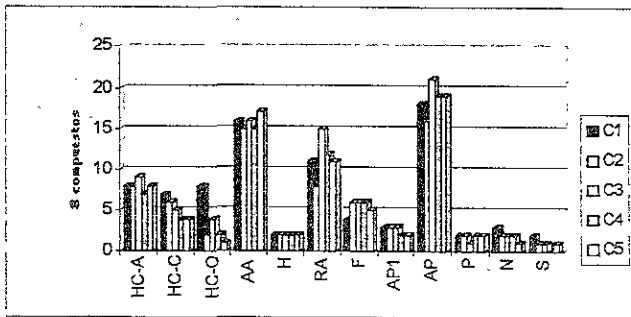
Composición utilizando la fibra poiar (PA) y Comparación de las dos fibras

El perfil del agua tratada se muestra en la gráfica 17. En ella puede notarse que los compuestos que se encuentran en mayor proporción son los AP, siguiendo en importancia los AA y los RA (igual que en el caso de la fibra no polar), consecuencia lógica, tomando en cuenta que el tratamiento de depuración utilizado es microbiológico.



Gráfica 17 Perfiles del agua tratada. Número total de compuestos: C1=49, C2=32, C3=48, C4=34 y C5=38.

Tanto en la comparación realizada con los resultados de la extracción con PA, como de la comparación de los perfiles *totales*, se obtuvo lo mismo que con la fibra de PDMS, es decir, que no existe diferencia significativa entre las muestras tomadas antes de la cloración (C1 y C3) a un mes de diferencia entre muestreos, ni tampoco para las muestras tomadas después de la cloración (C2 y C4). Tampoco se observó diferencia entre las muestras tomadas con 2 tiempos diferentes después de la cloración (C4 y C5). La gráfica 18 presenta la composición *total* de las muestras de Cerro de la Estrella.



Gráfica 18. Perfiles *totales* del agua tratada (Cerro de la Estrella) Número total de compuestos. C1=84, C2=71; C3=85; C4=73 y C5=73.

6.5.2 Evaluación de órdenes de concentración en Agua Tratada

Respecto al agua tratada, tanto el tricloro benceno, como los aromáticos (AA y RA) se encuentran alrededor de 1 ppb. Los fenoles se encuentran en el orden de 15 ppb y el alquil naftaleno en

concentración del orden de 10 ppb, resultados que sitúan al agua tratada dentro de las especificaciones de la EPA.

Tabla 11. Análisis SemiCuantitativo en Agua Tratada

NC	C-1	C	C-2	C	C-3	C	C-4	C	C-5	C	Identificación Tentativa
		ppb		ppb		ppb		ppb		ppb	
14	*		*	< 5	*	< 5	*	< 5	*	< 5	1-metil-3-(1-metiletíl)-Benceno
16	*		*	< 5	*	< 5	*		*	< 5	1,2-dietil benceno
19	*				*	< 5	*	< 5	*	< 5	(1,1-dimetilpropil)-Benceno
26	*	< 5	*	< 5	*	< 5	*	< 5	*	< 5	1,2,4-Triclorobenceno
29	*		*	< 5	*		*		*	< 5	1,2,3-Triclorobenceno
47	*	< 5	*		*	< 5	*		*		Residuo de aromático
49	*	< 5	*		*	< 5	*		*		Residuo de aromático
52	*	< 5	*		*	< 5	*	< 5	*	< 5	Propil metil benceno
53	*	< 5	*	< 5	*	< 5	*	< 5	*	< 5	Residuo de aromático
57	*		*	< 5	*	< 5	*	< 5	*	< 5	Residuo de aromático
52	*	< 5	*	< 5	*	< 5	*		*		1H-indol-5-oL
65	*	< 5	*	< 5	*		*		*		Residuo de aromático
66	*		*		*		*	< 5	*	< 5	2,6-bis(1,1-dimetiletíl)-Fenol
67					*	< 5	*		*		Residuo de aromático
69	*		*	< 5	*	< 5	*	< 5	*	< 5	6,8-dimetil pirido-pinmidina-2,4diona
76			*	< 5	*		*		*		4-(1,1,3,3-tetrametilbutil)-Fenol
77	*	< 5	*	< 5	*	< 5	*	< 5	*		N-fenilmaleimida
78	*	< 5	*		*	< 5	*		*	< 5	dihidro 4-metil-3-metilen-1,4-Benzoxazepin-5-ona
81	*		*		*	< 5	*		*		Residuo de aromático
83	*	< 5	*		*	< 5	*	< 5	*	< 5	4-metil benzamida
84	*	< 5	*		*	< 5	*	< 5	*	< 5	9-butil-Antraceno
86	*	< 5	*		*	< 5	*		*		Fenil metoxy naftaleno
87	*	< 5	*		*		*		*		1-(4-metilfenil)-3-fenil-2-Propen-1-ona
90	*	< 5	*		*	< 5	*	< 5	*		1,2,3,5,6,7-hexahidro-1,1,4,7,7,8-hexametil-s-Indaceno
91	*		*		*	10-50	*	10-50	*	10-50	4-nonil-Fenol
92	*	< 5	*		*	< 5	*		*		dimetoxi-10H-Fenotiazina
93	*	< 5									9,14-dihydro-Benzob[trifenileno
94			*		*		*		*	< 5	O-isopropiloxima Benzaldehido
97	*	< 5	*		*	< 5	*	< 5	*	< 5	Metanoazulen-6-ol- octahydro-tetramethyl- acetato
106	*		*		*	10-50	*	< 10	*	< 10	6,7-dietil-tetrahydro-tetrametil-Naftaleno
118	*	< 5	*		*	< 5	*	< 5	*	< 5	9-octadeceno (E)
122	*	< 5	*								2-etenil-1,3,5-trimetil-Benceno

Para la legislación Estadounidense solo deben reportarse aquellos compuestos que rebasen 10 ppb y en el caso de acroleína, acrilonitrilo y nitrofenoles, por arriba de 100 ppb, de acuerdo a los resultados obtenidos, solo tendrían que reportarse los fenoles.

Los parámetros normados en la legislación Mexicana se encuentran descritos en la Tabla 3, en ella puede notarse que no existe una lista que especifique compuestos orgánicos

Los compuestos encontrados para el agua tratada son principalmente AA, RA y AP, compuestos que en los niveles de concentración medidos, no representan riesgo.

Aunque al igual que antes, como medida preventiva deberían establecerse límites máximos de los compuestos que se sabe son tóxicos, dado que algunas de las actividades destinadas para reuso de ésta agua requieren del contacto directo con personas.

6.6 Caracterización del Agua Potable (AP)

6.6.1 Evaluación cualitativa

Se analizaron muestras de agua potable de dos fuentes, agua del pozo la Noria 2 en Xochimilco y agua de la llave del laboratorio del Instituto de Ingeniería, teniendo como finalidad la comparación del agua subterránea del DR-03 (que actualmente se utiliza como potable), con estas fuentes de abastecimiento de agua potable.

Las Figuras 17 y 18 muestran los perfiles cromatográficos del agua de la Noria, con la fase de PDMS y PA respectivamente y en el anexo 2 se encuentran los correspondientes al Instituto de Ingeniería.

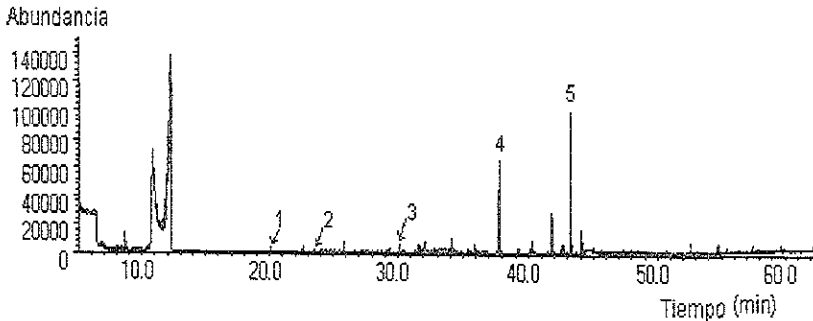
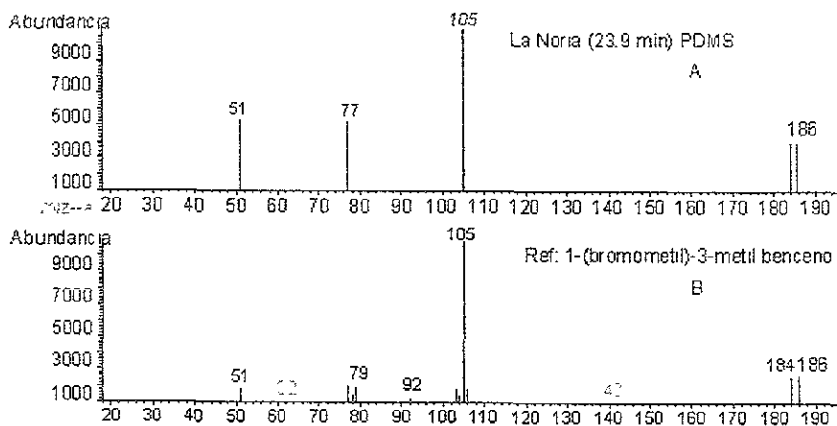
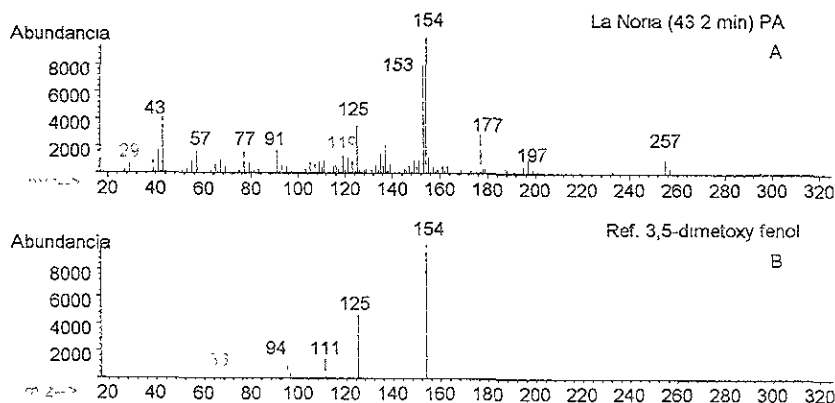


Figura 17. TIC de agua de la Noria utilizando en la extracción la fase de PDMS. Mismas condiciones cromatográficas que las expresadas en la Figura 11. Compuestos señalados 1= 2-hepteno, 2=1-bromo-2,4-dimetil benceno; 3=2,4,5-triclorofenol; 4=1-(1-ciclohexen-1-il)-pirrolidina; 5=3,5-dimetoxi fenol.

El pico 2 de la Figura 17 se identificó como 1-bromo-2,4-dimetil benceno y aunque la probabilidad de que el compuesto 1 sea el asignado es muy bajo, en el espectro se puede ver que los espectros son muy parecidos, pues coinciden en el pico base así como el ion molecular (184) y la isotopia característica del bromo.



Espectro 5. A= Patrón de fragmentación del pico 2 de la Figura 17; B= Patrón de fragmentación del estándar del 1-bromo-2,4-dimetil benceno. La probabilidad asociada a que la identidad de que A sea el estándar mostrado es de 9%.



Espectro 6. A= Patrón de fragmentación del pico 5 de la Figura 17; B= Patrón de fragmentación del estándar del 3,5-dimetoxy fenol. La probabilidad asociada a que la identidad de que A sea el estándar mostrado es de 30%.

El pico de mayor tamaño en el agua de Xochimilco es un fenol, que si bien cuenta con solo un 30% de probabilidad de que la identidad sea la asignada, corresponden el pico base y su fragmento principal; se diferencian en que el pico 5 tiene adicionalmente los iones de un sustituyente alquil. La

comparación con el acetato del dimetoxi-fenol proporciona un 28 %, por lo que es probable que se trate de un fenol.

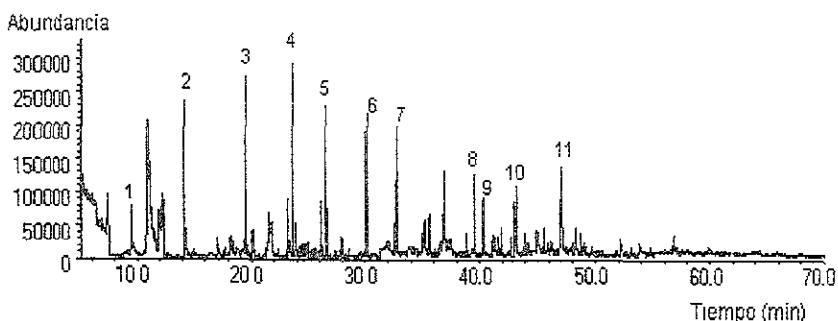
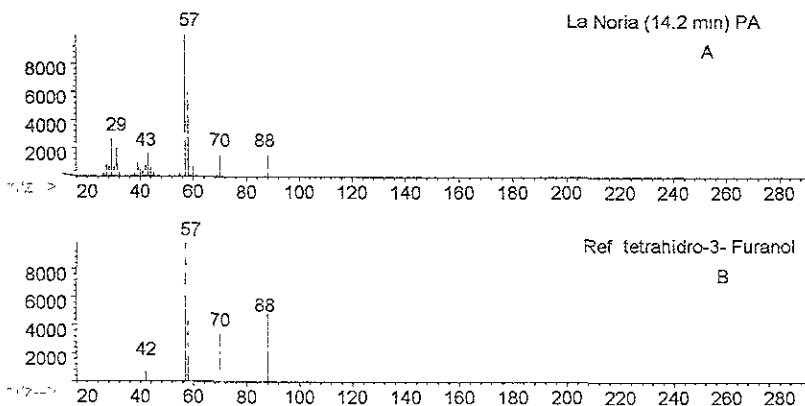


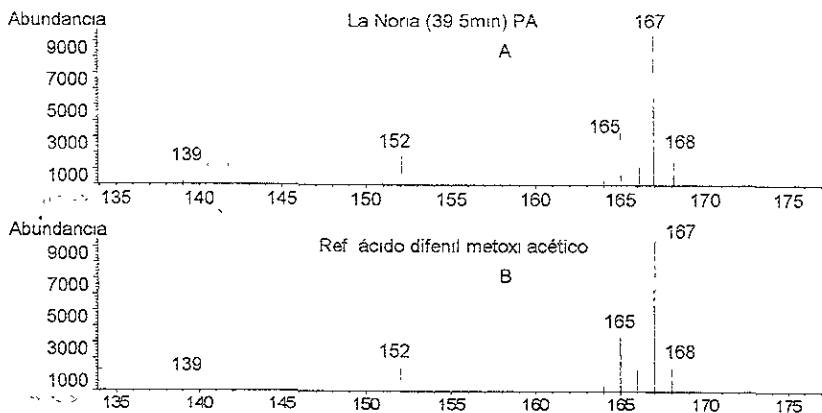
Figura 18. TIC de agua de la Noria utilizando en la extracción la fase la fase de PA. Mismas condiciones cromatográficas que las expresadas en la Figura 11. Compuestos señalados 1=ácido acético; 2=tetrahidro-3-furanol; 3= 2-(2-etoxietoxy) etanol; 4= 1,4-diclorobutano, 5=1-bromo heptano; 6= 2,4,5-triclorofenol; 7=2,3-dibromotiofeno; 8= ácido difenilmetoxiacético; 9=ácido tetradecanoico, 10= 3,5-dimetoxifenol; 11= 1,5-difenil-4-penten-1-ona.

En la fase polar se obtuvo un perfil con varios compuestos importantes por su tamaño, el patrón de fragmentación del pico 2 se presenta en el espectro 7; en el se puede ver que la fragmentación es prácticamente igual, sin embargo el procesador asignó una probabilidad de 10% en que corresponden.



Espectro 7. A= Patrón de fragmentación del pico 2 de la Figura 18; B= Patrón de fragmentación del estándar del tetrahidro-3-furanol. La probabilidad asociada a que la identidad de que A sea el estándar mostrado es de 10%.

En el espectro 8 se muestra la comparación del patrón de fragmentación del pico 8 con el estándar del ácido difenilmetoxiacético. Esta muestra de agua presentó varios compuestos halogenados de tamaño importante, lo que puede deberse a que la muestra se tomó después de la desinfección, por lo que pudo haberse tenido la formación de compuestos bromados y clorados.



Espectro 7. A= Patrón de fragmentación del pico 1 de la Figura 14; B= Patrón de fragmentación del estándar del ácido difenilmetoxiacético. La probabilidad asociada a que la identidad de que A sea el estándar mostrado es de 91%.

Las comparaciones de los espectros 5 y 7 son ejemplo del método utilizado para la asignación de identidades, que si bien, presentan probabilidades bajas, los picos base y fragmentaciones principales son muy similares. Por lo que no debe tenerse desconfianza de los porcentajes bajos, dado que la clasificación por familia química es adecuada.

Composición utilizando la fibra no polar (PDMS):

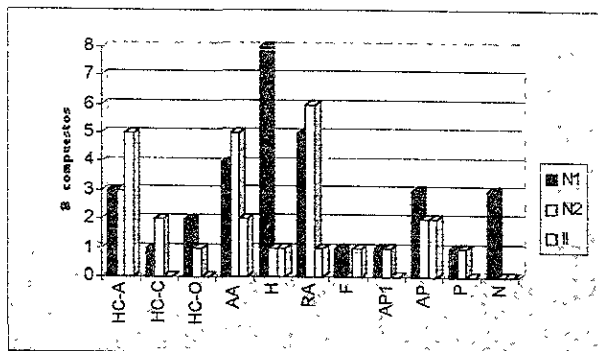
La gráfica 19 muestra la composición del agua potable, proveniente de dos orígenes diferentes. Al comparar el agua del pozo de la Noria, en Xochimilco, resulta ser que no existe diferencia en sus perfiles (N1 y N2), aunque para el segundo muestreo (28 de Febrero, N2) se obtuvo un 30% menos de compuestos, que para el primero

Si hubo diferencia entre el primer muestreo de la Noria (N1) y la muestra del Instituto de Ingeniería, ya que ésta última tuvo 60% menos compuestos.

Es remarcable la presencia de compuestos halogenados, que en el caso del primer muestreo de la Noria, representa un 25% del total de compuestos (en su mayoría bromados). Esto puede ser debido a que en el primer muestreo, se tomó la muestra del agua después de la desinfección (Foto 3) y en el segundo muestreo, en el que se observa solo un 5%, se tomó la muestra del agua que se extrae del pozo. Es probable que se utilice bromación para la desinfección, aunque el personal del pozo desconocía tal información

Para el pozo de la Noria, debe vigilarse la presencia de los AA y de los RA, dada la naturaleza tóxica de éste tipo de compuestos.

En el agua del Instituto de Ingeniería solo se encontraron 12 compuestos, siendo el grupo de hidrocarburos alifáticos el de mayor proporción. En este sitio podría esperarse encontrar el agua potable con menos compuestos orgánicos, ya que el tiempo desde la desinfección hasta su salida por llave, así como su almacenamiento en la cisterna, ha permitido su estabilización.



Gráfica 19. Perfil individual del agua potable. Número total de compuestos N1=32; N2=22 e II=12.

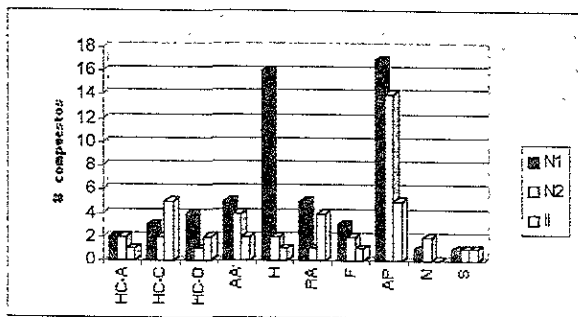
Composición utilizando la fibra polar (PA) y Comparación de las dos fibras

En el agua de la Noria del primer muestreo se obtuvo una mayor cantidad de compuestos halogenados con la fibra de PA que con la fibra de PDMS, debido seguramente a la mayor afinidad que éstos compuestos tuvieron por la fibra polar.

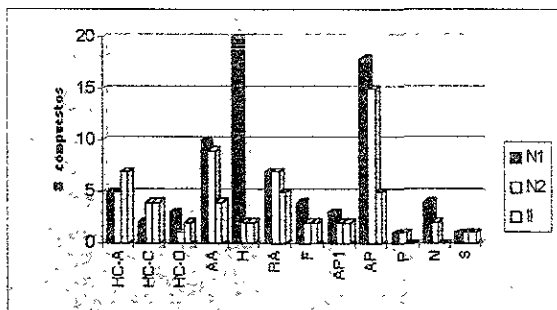
También hubo un gran incremento de los compuestos AP, pero en este caso el aumento se observó tanto para N1 como para N2, e incluso en el agua del II, en la que no se había registrado la presencia de éstos compuestos al usar la fibra no polar.

Haciendo comparaciones de los perfiles del agua potable, se obtuvo diferencia entre los perfiles de N-1 y N-2, y al comparar los perfiles *totales*, se encontró que existe diferencia significativa entre las tres fuentes de agua potable.

El número de compuestos que conforman el perfil *total* de N1 es de 78, el de N2 es de 51 y el del II de 34. El total de compuestos que coinciden con las dos fibras es 29 (no tomando en cuenta a los RA). El perfil del agua potable con PA y el perfil *total* se muestra en las gráficas 20 y 21.



Gráfica 20. Perfiles de agua potable. Número total de compuestos: N1=57; N2=31, II=22.



Gráfica 21. Perfiles Totales de agua potable. Número total de compuestos: N1=78; N2=51 e II=34.

6.6.2 Evaluación de órdenes de concentración en Agua Subterránea

Referente al agua Potable, el límite de la EPA para el etil benceno es de 700 ppb; en el segundo muestreo a la noria, se encontró el dietil benceno, que si bien no es el mismo, son muy similares, resultando su concentración en menos de media ppb. En el caso del propilmetil benceno se encontró una concentración de 0.6 ppb, que fue la señal de máxima concentración encontrada para esta familia de compuestos (AA). Por lo que aparentemente no hay problema en la concentración de este tipo de compuestos.

La NOM-SSA-127 establece como límite máximo 1 ppb para fenoles o compuestos fenólicos en agua potable. La concentración para el triclorofenol fue de 1.2 ppb y la del dimetoxi-fenol de 125 ppb en el agua potable de la Noria, por lo que se encuentra fuera de la especificación de la norma mexicana.

Tabla 12. Análisis SemiCuantitativo en Agua Potable

NC	N-1	C-ppb	N-2	C-ppb	II	C-ppb	Identificación Tentativa
16			*	< 5			1,2-dietil benceno
37	*	< 5					1,3,5-trimetil 2-bromobenceno
43	*	< 5					2,4,5-tricloro-Fenol
52	*	< 5	*	< 5			1H-Indol-5-ol
53	*		*	< 5			Residuo de aromático
57	*	< 5	*				Residuo de aromático
58	*		*	< 5	*	< 5	N-(2-oxo-benzopirán-6-il)-acetamida
62	*	< 5	*				Etil metil benceno
68	*	< 5					2,4-dibromo-1,3,5-trimetil benceno
70	*	< 5					1-(1-ciclohexen-1-il)-Pirrolidina
78	*	< 5	*				dihidro-4-metil-3-metilen-1,4-Benzoxazepin-5-ona
95	*		*		*	< 5	2-(Fenilmetileno)-Octanal
102	*	< 5					2,3-Dimetil-1-Bencilindol
107	*	> 100					3,5-dimetoxi-fenol
108	*	< 5	*				1,2,4-trihidroxy-9.10 antracenediona

En la Tabla 2, se mostraron los compuestos orgánicos normados por la legislación nacional para agua potable, que al compararla con los compuestos encontrados en el agua potable analizada, se encontró que falta incluir a los HC, AA, H, RA y AP. En realidad solo se tienen establecidos límites para fenoles, halometanos y plaguicidas.

La misma NOM 127 menciona que para las sustancias que no se encuentran especificadas en la norma, se debe coordinar con la autoridad competente para determinar las acciones a realizar, por lo que en este caso, se sugiere el establecimiento de límites para los compuestos encontrados, actividad que deberá soportarse en un muestreo representativo de las fuentes de suministro del agua potable.

Es de gran importancia llevar a cabo un monitoreo de compuestos halogenados en la Noria, incluyendo el seguimiento de las concentraciones y tipos de compuestos en cada destino final, pues después de la desinfección se encontraron más de 20 compuestos halogenados diferentes (bromados y clorados)

En el caso del agua subterránea analizada, la cual actualmente se usa como potable, también se encontraron compuestos que no se encuentran normados por la NOM 127. Los compuestos principales para establecer límites máximos serían los AA, RA y AP, como medida preventiva, dado que con los niveles actuales no representan peligro, comparando con los límites establecidos por la EPA (comparando sustancias similares, pues no se tienen listadas a todos los compuestos encontrados).

7. CONCLUSIONES

1. Se cumplieron los objetivos del trabajo
2. Se encontró evidencia de que el agua subterránea tiene influencia del agua negra, por medio del grupo denominado "trazadores".
3. Las ordenes de concentración de los trazadores son menores de las encontradas en el agua negra, por lo que se podría suponer que existe degradación y/o retardo por la retención en suelo.
4. El orden de concentración de los compuestos evaluados en el agua subterránea no representa riesgo para la salud, comparando con la normatividad de E.U. Se tendría que poner cuidado en los fenoles, ya que éstos si sobrepasan los límites establecidos por la normatividad Nacional
5. La composición del agua subterránea de los tres sitios analizados es homogénea
6. La calidad del agua subterránea no es diferente del agua potable de Xochimiico, ambos casos sobrepasan el límite para fenoles.
7. Se dispone a partir de ésta investigación de un perfil de AS de los sitios muestreados en el DR-03, que si bien no pueden considerarse como representativos, constituyen el primer listado, con carácter preliminar, para ampliarse y/o confirmarse en investigaciones futuras.
8. Resulta muy útil para las plantas de tratamiento que se encargarán de procesar toda el agua negra que se utiliza en Hidaigo, conocer:
 - a) El tipo de compuestos orgánicos que pueden estar presentes en el influente
 - b) Tener una referencia de la eficiencia que se puede lograr en el efluente con los datos obtenidos del análisis de agua de Cerro de la Estrella.
 - c) Saber el tipo de compuestos orgánicos que se infiltran y acumulan en el AS, para entonces poner especial atención en su remoción en el tratamiento del agua.
9. La presencia de los compuestos orgánicos encontrados en el agua subterránea es función de varios factores, uno de ellos es la composición del suelo. De esto dependerá si el compuesto es retardado en su paso por la capa de suelo, o la atraviesa sin ser retenido. Sería conveniente acompañar el estudio de agua con el estudio del suelo, con el fin de conocer también las condiciones en que se encuentra el suelo actualmente, su capacidad de carga, o si está ya saturado.
10. Ventajas encontradas en la MEFS:
 - a) Se realizó la extracción, concentración e introducción de muestra en un solo paso
 - b) No se requirió de pretratamiento de la muestra
 - c) Se hizo la extracción de voc's y semivolátiles al mismo tiempo
11. Se obtuvo un perfil diferente utilizando la fibra de PDMS y la fibra de PA, logrando en conjunto abarcar una gama amplia de polaridades, para cada sitio muestreado.

8. RECOMENDACIONES

1. Se debe optimizar el acondicionamiento de las fibras para evitar la presencia de picos fantasma
2. Se recomienda usar guantes de otro material (diferente al látex) debido a que fácilmente se pueden contaminar las muestras con ftalatos.
3. Sería necesario confirmar el análisis cualitativo del AN y del AS, así como mejorar la identificación, para que teniendo esta base, fuera posible adquirir los estándares necesarios y llevar una cuantificación total.
4. Considero que la legislación nacional vigente debería de establecer límites máximos de cierto tipo de compuestos (como AA, AP e HC, dadas las características tóxicas intrínsecas de cada uno de ellos). Actualmente sería como medida preventiva, dado que de las mediciones hechas, éstos no se encuentran en niveles peligrosos.

ANEXO 1: Legislación de E.U. para agua potable y residual

Legislación de Estados Unidos para agua potable, negra y tratada

Agua Potable

La Ley de Agua Segura para Beber (SDWA) encomienda a la EPA para regular la seguridad de los temas de agua pública, que incluye a los sistemas que proveen agua para consumo humano.

Los estándares nacionales fijados por la EPA son llamados Niveles máximos de contaminantes (CL), son fijados en términos de cuántas partes por millón de una sustancia dada, se permiten en agua entregada a los clientes, en agua de la llave.

Para establecer éstos niveles, la EPA decide qué nivel de contaminación no daña a la salud humana, soportado en numerosos estudios fisicoquímicos (43).

Los estándares primarios se dividen en sustancias inorgánicas, orgánicas, Radionucleótidos y microorganismos.

Tabla a. Estándares Primarios de la reglamentación del agua para beber, relativo a sustancias orgánicas (44)

Contaminantes Orgánicos	MCLG (mg/L)	MCL (mg/L)
Acilamida	cero	1.0
Alaclor	cero	0.002
Atrazina	0.003	0.003
Benceno	cero	0.005
Benzo(a)pireno	cero	0.0002
Carbofurano	0.04	0.04
Tetracloruro de carbono	cero	0.005
Clordano	cero	0.002
Clorobenceno	0.1	0.1
2,4-D	0.07	0.07
Dalapon	0.2	0.2
1,2-Dibromo-3-cloropropano (DBCP)	cero	0.0002
o-Diclorobenceno	0.6	0.6
p-Diclorobenceno	0.075	0.075
1,2-Dicloroetano	cero	0.005
1-1-Dicloroetileno	0.007	0.007
cis-1, 2-Dicloroetileno	0.07	0.07
trans-1,2-Dicloroetileno	0.1	0.1
Diclorometano	cero	0.005
1-2-Dicloropropano	cero	0.005
Di(2-etilhexil)adipato	0.4	0.4
Di(2-etilhexil)ftalato	cero	0.006
Dinoseb	0.007	0.007
Dioxina (2,3,7,8-TCDD)	cero	3×10^{-5}
Diquat	0.02	0.02
Endotal	0.1	0.1
Endrin	0.002	0.002
Epiclorhidrin	cero	1.0
Etilbenceno	0.7	0.7
Dibromuro de etileno	cero	0.00005
Glifosato	0.7	0.7
Heptaclor	cero	0.0004

Contaminantes Orgánicos (Continuación)	MCLG (mg/L)	MCL (mg/L)
Heptaclor epoxido	cero	0.0002
Hexaclorobenceno	cero	0.001
Hexaclorociclo-pentadieno	0.05	0.05
Lindano	0.0002	0.0002
Metoxicloro	0.04	0.04
Oxamyl (Vidato)	0.2	0.2
Bifenilos Policlorados (PCBs)	cero	0.0005
Pentaclorofenol	cero	0.001
Picloram	0.5	0.5
Simazina	0.004	0.004
Estireno	0.1	0.1
Tetracloroetileno	cero	0.005
Tolueno	1.0	1.0
Trihalometanos Totales (THMs)	cero	0.10
Toxafeno	cero	0.003
2,4,5-TP (Silvex)	0.05	0.05
1,2,4-Triclorobenceno	0.07	0.07
1,1,1-Tricloroetano	0.20	0.2
1,1,2-Tricloroetano	0.003	0.005
Tricloroetileno	cero	0.005
Cloruro de Vinilo	cero	0.002
Xilenos (total)	10.0	10.0

MCLG = Nivel máximo de contaminante en el agua para beber, en el cual no se conoce efecto adverso en la salud de las personas y que permite un margen adecuado de seguridad. No son obligatorios.

MCL = Máximo nivel permisible del contaminante en agua, la cual es entregada a cualquier usuario del sistema público de agua. Son estándares obligatorios. Los márgenes de seguridad en los MCLG aseguran que excediendo el MCL ligeramente, no se tiene un riesgo significativo para la salud pública

Legislación de Agua Residual

Existen dos tipos de descargas de aguas residuales para la reglamentación norteamericana, las descargas al sistema de drenaje y las descargas a los cuerpos de agua, propiedad de Estados Unidos.

Las descargas ya conectadas o que desean conectarse al sistema de drenaje están sujetas al requisito de "pretratamiento", así como a las ordenanzas del uso municipal del drenaje además de los cargos del uso del drenaje.

Los usuarios del drenaje, que descargan residuos no industriales solo pagan el costo del uso de la planta de tratamiento y el uso del drenaje municipal. Los cargos del usuario reflejan la porción del costo de operación y mantenimiento del sistema de drenaje

La EPA requiere el pretratamiento de los desechos industriales (definidos como aquellos que, por su carácter pueden interferir con la operación de la planta de tratamiento o pueden pasar a través de dicha planta, sin ser tratados). Se puede requerir un pago para los descargadores industriales, que refleje el costo de la porción del sistema de tratamiento debido a la cantidad y fuerza de una descarga particular. Esto es llamado Recuperación del Costo Industrial (ICR).

Con respecto a las descargas de aguas residuales a aguas nacionales, la Ley Federal de Agua Limpia (CWA) establece el mecanismo de reglamentación para descargas de aguas residuales en aguas estadounidenses, y otorga a cada Estado la responsabilidad del control de la contaminación de su agua. La EPA es la encargada de la administración de los programas que controlan la contaminación del agua y es quien vigila periódicamente el desempeño estatal

La ley de Agua Limpia (CWA) busca regular la descarga de contaminantes en las aguas navegables (agua superficial, incluyendo corrientes y canales, sin importar el tamaño. El agua subterránea no es considerada como propiedad nacional) con el objetivo intrínseco de alcanzar una calidad del agua que permita su uso para nadar y para pescar (45).

Limites de contaminantes en los efluentes:

Cada Estado debe establecer los límites de efluentes para los contaminantes, restringiendo las cantidades de éstos que pueden ser descargados. Esta acción refleja el nivel de tecnología necesaria para controlar la contaminación del agua:

Los contaminantes convencionales en las descargas deben ser controladas por "la mejor tecnología para controlar contaminación convencional" (BCT); los contaminantes tóxicos deben ser controlados por "la mejor tecnología disponible económicamente viable" (BAT).

Permisos NPDES:

Las siglas NPDES corresponden a las iniciales en inglés del "Programa Nacional para el Sistema de Eliminación en la Descarga de Contaminantes"

Un permiso NPDES es necesario para cualquier descarga de "contaminantes" (definido ampliamente así, como para incluir casi cualquier cosa que sea diferente del agua pura) en "aguas navegables" (definida como todas las aguas superficiales de los Estados Unidos, incluyendo las interestatales) desde "cualquier punto" (definido como cualquier transmisión "discernible, confinada y discreta, incluyendo pero no limitando cualquier pipa, zanja, canal, túnel, conducto, pozo, fisura discreta, contenedor o embarcación flotante".

Reglamentaciones separadas regulan las descargas de silvicultura, lotes de alimentación y escurrimientos, los cuales necesitan permisos para separar drenajes pluviales y otras descargas de escurrimientos.

Típicamente, los permisos tienen una duración de cinco años, y se encuentran sujetos a condiciones generales y especiales. Ellos rutinariamente requieren monitoreo del efluente, reporte con límites numéricos y uso o instalación de equipo así como las llamadas " Buenas prácticas de Manufactura" (BPM). La EPA puede delegar el programa NPDES a cada estado. Los estados pueden tener sus propios estatutos, pero necesitan un permiso federal de requisitos mínimos que deben cumplir

Es a través de estos permisos que los estándares de calidad del agua son satisfechos para promover o mantener los mejores usos de los cuerpos de agua. El permiso también requiere de instalaciones y el uso del equipo especial para alcanzar los límites de efluentes (45).

Para otorgar un permiso es necesario presentar la caracterización del efluente y en caso de ser requerido un informe cuantitativo, el aplicante debe presentar los resultados utilizando los métodos analíticos aprobados y publicados en el Código Federal de Regulaciones (CFR) parte 136

Cada aplicante de una industria, que contribuye con una descarga, debe reportar datos cuantitativos de cada conducto de agua residual con que cuente en su proceso para:

- a) Las fracciones orgánicas listadas en la Tabla b, dependiendo del tipo de industria
- b) Cada uno de los compuestos orgánicos contenidos en cada fracción (Tabla c)
- c) Si se sabe o se tiene alguna causa para sospechar su descarga, las sustancias peligrosas, listadas en la Tabla d.

Para cada contaminante descargado, que no se encuentre listado el aplicante (de permiso NPDES) debe reportar datos cuantitativos del mismo, además de una breve explicación de su descarga (24).

Para cada contaminante que se espera sea descargado en concentraciones de 10 ppb o mayores, el aplicante debe reportar datos cuantitativos (45).

En los casos de: acroleína, acrilonitrilo, 2,4-dinitrofenol y 2-metil,4,6-dinitrofenol en concentraciones de 100 ppb o mayores, deberán reportarse datos cuantitativos (45).

Tabla b Requisitos de análisis para compuestos orgánicos Tóxicos por categoría de Industria, en descargas ya existentes (45)

Categoría Industrial	Fracción a analizar por CG/EM 11			Plaguicidas
	Volátiles	Ácidos	Base/Neutros	
Adhesivos y Selladores	121	121	121	
Moldaje de Aluminio	121	121	121	
Autolavado y lavanderías	121	121	121	121
Manufactura de Baterías	121		121	
Recubrimientos de carbón	121	121	121	
Moldeaje de Cobre	121	121	121	
Componentes Eléctricos y Electrónicos	121	121	121	121
Galvanoplastia	121	121	121	
Manufactura de Explosivos		121	121	
Fundidores	121	121	121	
Agentes químicos de madera y caucho	121	121	121	
Manufactura de agentes químicos Inorgánicos	121	121	121	
Manufactura de Hierro y acero	121	121	121	
Curtido y terminado de pieles	121	121	121	
Manufactura de Productos Mecánicos	121	121	121	
Manufactura de metales No ferrosos	121	121	121	121
Minas de Oro		121		
Manufactura de agentes químicos Orgánicos	121	121	121	121
Formulación de Pinturas y tintes	121	121	121	
Plaguicidas	121	121	121	121
Refinería del Petróleo	121			
Preparaciones Farmacéuticas	121	121	121	
Equipo Fotográfico y películas	121	121	121	
Manufactura de plásticos y materiales Sintéticos	121	121	121	121
Procesamiento de Plásticos	121			121
Imprentas y Publicaciones	121	121	121	121
Fábrica de Papel y Pulpa	121	121	121	
Procesamiento de Caucho	121	121	121	
Manufactura de Jabón y Detergentes	121	121	121	
Plantas de corriente eléctrica y de Poder	121	121	121	
Procesamiento de productos para cimbra	121	12	121	121

11) La lista de contaminantes tóxicos en cada fracción están listados en la Tabla c.

12) Requisito de prueba

Tabla c. Contaminantes orgánicos Tóxicos en cada una de las 4 fracciones en el análisis de CG/EM

Volátiles
Acroleína
Acronitrilo
Benceno
Bromoformo
Tetracloruro de carbono
Clorobenceno
Clorodibromometano
Cloroetano
2-cloroetilvinil éter
Cloroformo
Diclorobromometano
1,1-dicloroetano
1,2-dicloroetano
1,1-dicloroetileno
1,2-dicloropropano
1,3-dicloropropileno
Etilbenceno
Bromuro de metilo
Cloruro de metilo
Cloruro de metileno
1,1,2-tetracloroetano
Tetracloroetileno
Tolueno
1,2-trans-dicloroetileno
1,1,1-tricloroetano
1,1,2-tricloroetano
tricloroetileno
Cloruro de vinilo

Compuestos Acidos
2-clorofenol
2,4-diclorofenol
2,4-dimetilfenol
4,6-dinitro-o-cresol
2,4-dinitrofenol
2-nitrofenol
4-nitrofenol
p-cloro-m-cresol
pentaclorofenol
Fenol
2,4,6-triclorofenol

Plaguicidas
Aldrin
α -BHC
β -BHC
γ -BHC
δ -BHC
Clordano
Dieldrin
α -endosulfan
β -endosulfan
endosulfan sulfato
Endrin
Endrin aldehido
Heptacloro
Heptacloro epóxido
PCB-1242
PCB-1254
PCB-1221
PCB-1232
PCB-1248
PCB-1260
PCB-1016
Toxafeno

Tabla d. Contaminantes Tóxicos y Sustancias peligrosas en las que se requiere identificación y cuantificación, sólo en caso de esperarse que sean descargados.

Base/Neutros (Continuación)
Acenafteno
Acenaftileno
Antraceno
Bencidina
Benzo (α) antraceno
Benzo (α) pireno
3,4-benzofluoranteno
benzo (g) perileno
benzo (k) fluoranteno
bis (2-cloroetoxi) metano
bis (2-cloroetil) eter
bis (2-cloroisopropil) eter
bis (2-etilhexil) ftalato
4-bromofenil fenil eter
butilencil ftalato
2-cloronaftaleno
4-clorofenil fenil eter
Criseno
dibenzo (a, h) antraceno
1,2-diclorobenceno
1,3-diclorobenceno
1,4-diclorobenceno
dietyl ftalato
dimetil ftalato
di-n-butyl ftalato
2,4-dinitrotolueno
2,6-dinitrotolueno
di-n-octil ftalato
1,2-difenilhidrazina
fluroranteno
fluoreno
hexaclorobenceno
hexaclorobutadieno
hexaclorocyclopentadieno
hexacloroetano
Indeno (1,2,3-cd) pireno
Isoforon
Naftaleno
Nitrobenceno
N-nitrosodimetilamina
N-nitrosodi-n-propilamina
N-nitrosodifenilamina
Fenantreno
Pireno
1,2,4-triclorobenceno

Contaminantes Tóxicos
Asbestos
Sustancias Peligrosas
Acetaldehido
Alcohol alílico
Cloruro de Alilo
Acetato de amilo
Anilina
Benzonitrilo
Cloruro de Bencilo
Acetato de Butilo
Butilamina
Captano
Carbaril
Carbofuran
Disulfuro de Carbono
Clorpirifos
Cumafos
Cresol
Crotonaldehido
Ciclohexano
2,4-D (ácido 2,4-diclorofenoxi acético)
Diazinon
Dicamba
Diclobenil
Diclon
Acido 2,2-dicloropropiónico
Diclorvos
Dietyl amina
Dimetil amina
Dintrobenceno
Diquat
Disulfoton
Diuron
Epiclorohidrina
Etión
Diamino Etileno
Dbromuro de Etileno
Formaldehido
Furfural
Gutión
Isopreno
Celtan
Cepon
Malatión
Mercaptodimetur
Metoxicloro
Metil mercaptano
Metil metacriato
Metil paratión

Sustancias Peligrosas (Continuación)
Isopropanolamina Dodecilbencensulfonato
Mevinfos
Mexacarbato
Monoetil amina
Monometil amina
Naled
Acido Nafténico
Nitrotolueno
Paratión
Fenolsulfonato
Fosgeno
Propargite
Oxido de propileno
Piretrinas
Quinolina
Resorcinol
Estroncio
Estrignina
Estireno
2,4,5-T (ácido 2,4,5-triclorofenoxi acético)
TDE (Tetraclorodifeniletano)
Acido 2,4,5-TP [2-(2,4,5-Triclorofenoxi) propanoico]
Triclorofan
Trietanolamina dodecilbencensulfonato
Tnetilamina
Tnmetilamina
Uranio
Vanadio
Acetato de Vinilo
Xileno
Xilenol
Zirconio

ANEXO 2: Cromatogramas

Perfiles cromatográficos de agua subterránea y potable

Figura a. TIC de agua de San Salvador utilizando en la extracción la fase de PDMS. Mismas condiciones cromatográficas que las expresadas en la Figura 11.

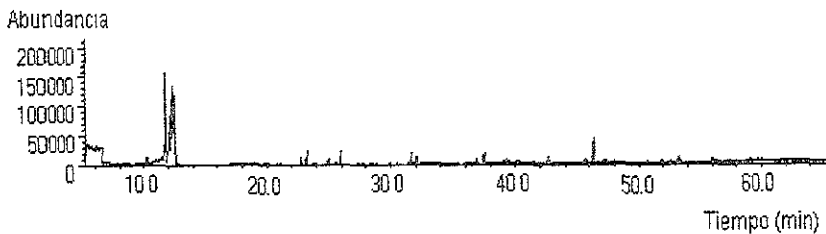


Figura b. TIC de agua de San Salvador utilizando en la extracción la fase de PA. Mismas condiciones cromatográficas que las expresadas en la Figura 11.

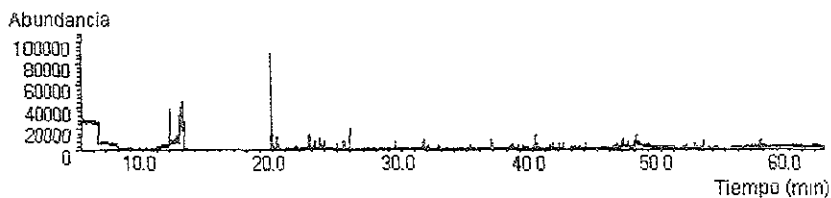


Figura c. TIC del agua del Pozo de Pemex, (Tlaxcoapan) utilizando en la extracción la fase de PDMS. Mismas condiciones cromatográficas que las expresadas en la Figura 11.

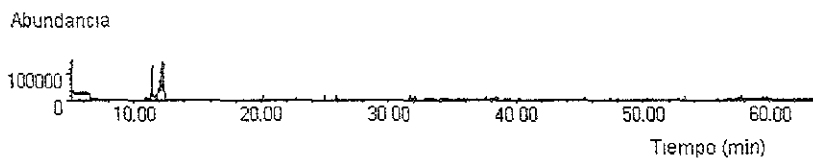


Figura d. TIC agua del Pozo de Pemex, (Tlaxcoapan) utilizando en la extracción la fase de PA. Mismas condiciones cromatográficas que las expresadas en la Figura 11

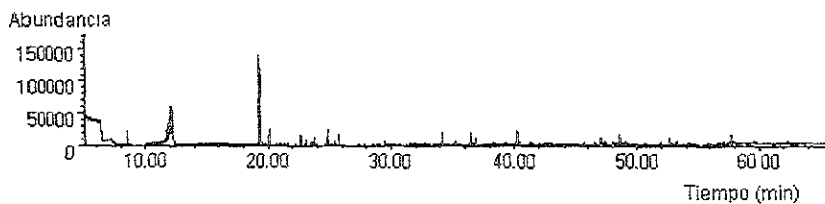


Figura e. TIC agua del Instituto de Ingeniería utilizando en la extracción la fase de PDMS. Mismas condiciones cromatográficas que las expresadas en la Figura 11.

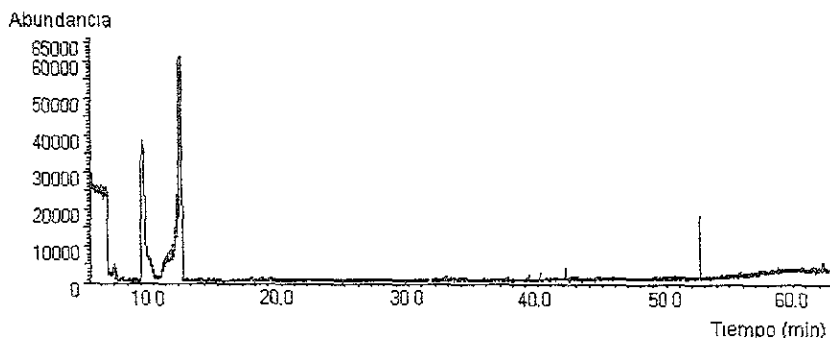
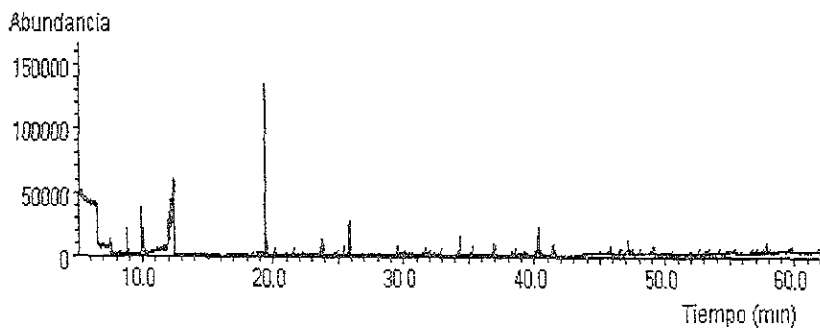


Figura f. TIC agua del Instituto de Ingeniería utilizando en la extracción la fase de PA. Mismas condiciones cromatográficas que las expresadas en la Figura 11.



ANEXO 3: Prueba Estadística

Prueba estadística χ^2 (46)

El análisis estadístico se llevo a cabo utilizando la prueba no paramétrica χ^2 para muestras independientes, que consiste en probar si la diferencia existente (en un nivel de confianza determinado) entre tres o más grupos o muestras independientes es debido a variaciones al azar o si son diferentes entre poblaciones. La hipótesis nula es que las k muestras independientes se recogieron de la misma población o bien, de k poblaciones idénticas. La prueba usual para probar si varias muestras independientes proceden de la misma población es el análisis de varianza, utilizando la prueba F.

Las suposiciones asociadas con el modelo estadístico en que se basa la prueba F piden observaciones tomadas de poblaciones que se distribuyen normalmente, las cuales deben tener la misma varianza.

Quando los datos están formados por frecuencias en categorías discretas (sean nominales u ordinales), la prueba χ^2 puede determinar la significación de las diferencia entre k grupos independientes:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^k \frac{(O_{ij} - E_{ij})^2}{E_{ij}}$$

donde:

O_{ij} = número observado de casos clasificados en la hilera i de las j columnas

E_{ij} = número de casos esperados conforme a H_0 para ser clasificados en la hilera i de la columna j .

Si el valor obtenido es igual o mayor al presentado en tablas en un nivel particular de significación y para g.l. = $(k - 1)(r - 1)$, H_0 puede rechazarse.

Esta prueba requiere que las frecuencias esperadas no sean demasiado pequeñas. Cochran recomienda que para pruebas de χ^2 menos del 20% de las celdas deberá tener una frecuencia esperada de menor que 5 y ninguna celdilla deberá tener una frecuencia esperada menor que 1

Si los datos no satisfacen estos requisitos, se pueden combinar las categorías de acuerdo a la naturaleza de los datos, por lo que deben tener una propiedad en común o identidad mutua para que sea posible la interpretación.

BIBLIOGRAFIA

- Jiménez B, López. N. "Estudio de la Calidad y suministro del agua para consumo doméstico en el Valle del Mezquital" Informe Final para la Comisión Nacional de Agua; 1997.
- Del Arenal, R "Estudio Hidrogeoquímico de la Porción Centro-Oriental del Valle del Mezquital, Hidalgo" Revista Inst. Geología, U.N.A.M. vol. 6,num 1; 1985.
- Hernández, G; Flores, L; Maples, M; Solorio, J; Alcalá, J "Riesgo de acumulación de Cd, Pb, Cr y Co en tres series de suelos del DR-03, Estado de Hidalgo, México" Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, vol. 11, núm 1; 1994.
- Palacios, P; Ciebe, C; Cortes, A "Variabilidad y distribución espaciales de algunos parámetros físicos y químicos del suelo en el DR-03, Estado de Hidalgo, México; Parte 1, semivariogramas" Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, vol. 11, num. 1; 1994.
5. Palacios, P; Ciebe, C "Variabilidad y distribución espaciales de algunos parámetros físicos y químicos del suelo en el DR-03, Estado de Hidalgo, México; Parte 2, cartografía" Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, vol. 11, num 1; 1994.
6. Mathes, M "To save a City: The desagué of Mexico-Huehuetoca" Américas 26, p.p419-430;1970.
7. SEDUE "Evaluación del Impacto Ambiental del Desarrollo Urbano del Valle de México. DR-03. Tula, Hidalgo"; 1982.
8. Department for International Development "Impact of wastewater reuse on groundwater in the Mezquital Valley, Hidalgo State, Mexico" Comisión Nacional del Agua, British Geological Survey, University of Birmingham; 1998.
9. INEGI, Datos Estadísticos del Estado de Hidalgo, 1998.
10. CNA, DDF, Edo. de Hidalgo, Edo. de México "Estudio de Factibilidad de Saneamiento del Valle de México. Informe final "; 1995.
- 11 Del Arenal, R "Carta Hidrogeológica del área Actopan-Ixmiquilpan, estado de Hidalgo" Revista Inst. Geología, U.N.A.M. vol. 2,num 1.; 1978.
12. <http://www.cna.gob/productos/informe/>
13. Dirección General de Usos del Agua y Prevención de la Contaminación "Reuso del Agua en la Agricultura, la Industria , los municipios y en la recarga de acuíferos Etapas 1974-1976"
14. NOM-127-SSA1-1994, Salud Ambiental, agua para consumo Humano. Límites permisibles de calidad y Tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización, Diario Oficial de la Federación 18 de Enero de 1996.
15. NOM-003-ECOL-1997, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público ; Diario Oficial de la Federación, 21 de Septiembre de 1998.

Departamento del Distrito Federal, Secretaria de Obras y servicios, DGCOH "Plan Maestro de drenaje"; 1980.

Mazari, M Tesis de Doctorado, Instituto de Ecología, U.N.A.M.; 1992.

"Prevención y Control de la Contaminación", Publicación oficial, México; 1998.

Solorzano A. "Cuadernos de vigilancia Biotecnológica" CambIOTec; 1996.

. NOM-001-ECOL-1996, Que establece los limites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes Nacionales; Diario Oficial de la Federación, 6 de Enero de 1997.

1. NOM-002-ECOL-1997, Que establece los limites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal; Diano Oficial de la Federación, 3 de Junio de 1998.

2. Pawliszyn, J; Derek, L; Safa Motlagh "Dynamics of organic compounds extraction from water usin Liquid-coated fused silica fibers" Anal. Chem. 64. ; 1992.

23. Pawliszyn J., Boyd-Boland A. "New Solvent-Free Sample Preparation Techniques" Environ.Sci.Technol., Vol 28, No. 13; 1994.

24. Pawliszyn J., Zhouyao Zhang, Min Yang "Solid Phase Microextraction" Analytical Chemistry, vol 66, No. 17; 1994.

25. Application Supelco "Solid Phase MicroExtraction of volatile Compounds in US EPA Method 524.2; 1994.

26. Shang Huang, Chun Yi, Cheng-Shiun "Determination of haloeters in water by solid phase microextraction" J. Chromatogr. A 769; 1997.

27. Santos, F., Galcerán M. "Application of solid-phase microextraction to the analysis of volatile organic compounds in water" J. Chromatogr. A, 742; 1996.

28. Application Supelco "Polyacrilate Film Fiber for Solid Phase MicroExtraction of polar semivolatilis from water"; 1994.

29. Application Supelco "Solid Phase MicroExtraction of semivolatile Compounds in US EPA Method 625"; 1994.

30. Valor, I, Molto J. "Matrix effects on solid-phase microextraction of organophosphorus pesticides from water" J. Chromatogr. A 767; 1997.

31. Application Supelco "Fast Screening for Chlorinated Pesticides by Solid Phase MicroExtraction/CGC"; 1994.

32. Magdic, S., Pawliszyn J "Analysis of organochlorine pesticides using solid-phase microextraction" J Chromatogr. A 723; 1996.

33. Magdic, S., Pawliszyn J "Analysis of organophosphorus insecticides from environmental samples using solid-phase microextraction" J Chromatogr. A 736; 1996.

34. Sng M, Lee F. "Solid-phase microextraction of organophosphorus pesticides from water" *J Chromatogr. A* 759: 1997.
35. Potter, D , Pawliszyn *Journal Environ. Sci. Technol.*, vol. 28; 1994.
36. Arthur C., Killam L. "Analysys of substituted benzene compounds in Groundwater using Solid Phase MicroExtraction" *Environ Sci. Technol.* 26., 1992.
37. Potter, D , Pawliszyn, J "Detection of substituted benzenes in water at the pg/ml level using solid-phase microextraction and gas chromatography-ion trap mass spectrometry" *J Chromatogr.* 625; 1992.
38. Sarrion, M, Santos, F "Strategies for analysis of chlorobenzenes in soil using solid-phase microextraction coupled with gas chromatography-ion trap mass spectrometry" *J Chromatogr.* 819; 1998.
39. Csuros, M. "Environmental Sampling and analysis for Technicians" Lewis publishers, USA; 1994.
40. <http://webbook.nist.gov/chemistry>
41. Patterson, J. "Industrial Wastewater Treatment Technology" 2nd Edition; Butterworth-Heinemann, USA; 1985.
42. Valle, P "Toxicología de Alimentos", Programa de Salud Ambiental, OMS, México; 1991.
43. Dowden, L; McNumey J "Municipal Environmental Compliance Manual" CRC, USA; 1995.
44. <http://www.epa.gov/OGWDW/wot/appa.html>
45. McGregor, G "Environmental Law and Enforcement" Lewis publishers, USA; 1994.
46. Sidney S "Estadística no paramétrica" Editorial Trillas, México, 1996.