



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
"ZARAGOZA"

B I O L O G I A

14

2y

EVALUACION DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RIO
"LA COMPAÑIA", EN EL TRANSECTO DEL MUNICIPIO
DE TLALMANALCO A CIUDAD NETZAHUALCOYOTL,
ESTADO DE MEXICO
(MARZO DE 1994 - FEBRERO 1995)

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
B I O L O G O
P r e s e n t a n:

HERNANDEZ GONZALEZ MARIA GUADALUPE
RIVERA BADILLO ELISA
DIRECTOR DE TESIS: BIOL. MARICELA ARTEAGA MEJIA



México, D. F. Agosto de 1996

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ZARAGOZA**

BIOLOGIA

**EVALUACION DE LA CALIDAD DEL AGUA
DEL RIO "LA CANTERA"
EN EL TRAMITE DEL MUNICIPIO DE
TLALMANALCO A BARRIO DE TLALMANALCOYOTL,
ESTADO DE MEXICO.
(MARZO DEL 1996)**

TESIS QUE PARA OBTENER EL TITULO DE BIOLOGO PRESENTAN:

**Hernández González María Guadalupe.
Rivera Badillo Elisa.**

**DIRECTOR DE TESIS
Bíol. Maricela Arteaga Mejía.**

México, D.F.

AGOSTO DE 1996.

AGRADECIMIENTOS

A Mis Padres

*Leopoldo Fernández Maruri.
María de los Angeles González*

Por que con su amor formaron nuestra familia, con esfuerzo nos enseñaron a luchar, a conseguir nuestras metas, agradezco de todo corazón, sus sacrificios, apoyo, cariño, compañía, consejos y sobre todo por darme la herencia más grande del mundo que es el estudio, a ustedes dedico este trabajo con profundo amor.

A Mis Hermanos.

Martha, Leopoldo, y Roberto

No sólo por compartir conmigo, mis metas, aspiraciones, fracasos, si no también por su apoyo, comprensión y por tener siempre ese gran espíritu de superación que tienen para seguir adelante, comparto con ustedes este momento como prueba de mi cariño y amor.

A MI Novio.

Arturo Guzmán Ch.

Con quien he compartido muchos momentos dulces y amargos que tiene la vida, por el apoyo, cariño y confianza que siempre me has brindado, ya que sin tú amor hubiera sido más difícil superar las adversidades.

A Mis Amigos

Demetrio, Gloria, Tere, Luz, Rilda, Cesar, Santos, Raúl, Angeles.

Con quien compartí experiencias buenas y malas, por su apoyo, entusiasmo y por brindarme su amistad sincera por el paso de la escuela de la vida, porque la verdadera amistad es como agua en el desierto cuando es verdadera.

Maria Guadalupe

A Mis Compañeros

Pedro C. Silvia, Guadalupe, Teresa, Pedro M. Genoveva, María de Jesús, Teresa V.
Por que con ellos pase momentos de alegría y compañerismo.

A Guadalupe Ambriz.

Y a su familia por haberme honrado con su apoyo y amistad.

A Francisco Chavez S.

Un reconocimiento especial por su valioso y desinteresado apoyo para poder llevar a cabo las salidas a campo, la cuales fueron una parte importante de este trabajo

Agradezco a la Facultad de Estudios Superiores "Zaragoza" así como a mis profesores por la formación recibida en especial al profesor *Gilberto Matamoros Freja* por sus consejos, apoyo y el haber sido más que un profesor un amigo en quien uno puede confiar.

A los integrantes de *EMAS* por su apoyo.

María Guadalupe

RECONOCIMIENTOS

La presente Tesis logro llegar a su termino satisfactoriamente gracias a las valiosas aportaciones de las siguientes personas.

A la Bióloga Maricela Arceaga Mejia

Por las sugerencias, comentarios, apoyo y tiempo brindados para poder sacar adelante este trabajo por fin terminado.

A la Maestra en Ciencias Lourdes Castillo

Por sus sugerencias, aportaciones y comentarios a este trabajo, pero sobre todo por ser una persona en quien uno puede confiar.

Al Maestro en Ciencias Miguel Castillo

Por tener un alto sentido de responsabilidad, y por sus valiosos consejos, sugerencias y por el empeño de la revisión y termino de este trabajo.

Al Biólogo Paul Arco

Por su apoyo y revisión a este trabajo.

A la Bióloga Aida Zapata

Por sus sugerencias y apoyo a este trabajo

A Enrique Morales (Henry)

Por su apoyo y ayuda para la realización de este trabajo en el área de la computación.

Maria Guadalupe

DEDICATORIAS

A MIS PADRES.

Por que a pesar de tantas dificultades , problemas y malas experiencias vividas, aún siguen unidos. Eso no es más que ganas de decir "Estoy aquí no solo para disfrutar de tus triunfos, sino también para apoyarte cuando no los tengas".

Eso nos ha hecho ver que existe una gran lealtad entre ambos, de la cual todos sus hijos hemos tomado ejemplo.

A MI HERMANO ALFREDO.

Por que a pesar de tener tres hijos y una mujer, a sus veinticinco años decidió reiniciar sus estudios de secundaria, preparatoria y concluir con una carrera universitaria.

Un gran ejemplo, de que, cuando se quiere se puede, aunque tenga que comer poco, dormir poco, y divertirse poco.

Por eso me sorprende mucho cuando alguien que tiene todas las facilidades del mundo para salir adelante, lo único que dice es "No puedo.....es que no puedo".

MAESTRA MARICELA ARTEAGA M.

Una de las personas que logro quitar de nuestro vocabulario las palabras "No puedo", por que esa fué una de las formas en las que el Laboratorio de Investigación y Desarrollo Tecnológico surgió y logro salir adelante, con esfuerzo mucho esfuerzo, por que finalmente así es como se aprecian y disfrutan más las cosas.

ELISA

AGRADECIMIENTOS

MAESTRA MARICELA ARTEAGA M.

Por ser la persona que me abrió los brazos para entrar a una nueva familia, el Laboratorio de Investigación y Desarrollo Tecnológico.

MAESTRA LOURDES CASTILLO G.

Muchas gracias, por que a pesar de parecer una persona distante su cercanía se siente en el corazón.

MAESTRO JOSÉ LUIS MIGUEL CASTILLO G.

Por ser una persona que quisiera que todos fueran igual que él, impetuoso y con muchas ganas de triunfar, motivo por el cual nos tiende sus firmes manos como apoyo, para levantarnos y brincar muy, muy alto, solo espero que su mano firme se encuentre cuando yo tropiece.

MARCO ANTONIO MARQUEZ O. Y SALVADOR DE JESÚS URQUILLA C.

Por su apoyo en el diseño de la tesis y por brindarse sin reservas, así es como lo hacen los grandes amigos.

A MIS HERMANOS Y TODOS AQUELLOS que están cerca de mí, por que son un motivo para vivir.

Estoy satisfecha y agradecida con **DIOS** por lo que he logrado, por que se que si alguien me dijera "Tú no eres nada", con toda tranquilidad volvería mi vista atrás y diría con orgullo "Soy mucho más de lo que hubiera esperado ser".

ELISA

INDICE

	Pag.
1.- RESUMEN.....	1
2.- INTRODUCCION.....	2
3.- MARCO TEORICO.....	3
3.1.- Parámetros que Permiten Evaluar la Calidad y Grado de Contaminación de un Cuerpo de Agua.....	3
3.1.1.- Oxígeno Disuelto.....	4
3.1.2.- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).....	5
3.1.3.- Demanda Química de Oxígeno (DQO).....	5
3.1.4.- Sólidos.....	6
3.1.5.- Grasas y Aceites.....	6
3.1.6.- Sustancias Extractables con Clorofomto.....	7
3.1.7.- Acidez, Alcalinidad y pH.....	7
3.1.8.- Detergentes.....	8
3.1.9.- Conductividad Eléctrica y Temperatura.....	9
3.1.10.- Metales.....	10
3.1.11.- Estudios Microbiológicos.....	15
3.2.- Tratamiento de Aguas Residuales.....	16
3.3.- Legislación Mexicana en Materia de Prevención de la Contaminación del Agua.....	19
4.- JUSTIFICACION.....	21
5.- LOCALIZACION DEL AREA DE ESTUDIO.....	22
5.1.- Descripción de las Area de Estudio.....	22
5.1.1.- Tlalmanalco (San Rafael y Miraflores).....	23
5.1.2.- Chalco (Cupido).....	25
5.1.3.- Ixtapaluca (Tlapacoya y Tlalpizahuac).....	26
5.1.4.- Netzahualcoyotl.....	28
6.- HIPOTESIS.....	30

7.- OBJETIVOS.....	30
7.1.- Objetivo General.....	30
7.2.- Objetivos Particulares.....	30
8.- METODO.....	31
8.1.- Selección de los Sitios de Muestreo.....	31
8.1.1.- San Rafael.....	31
8.1.2.- Miraflores.....	31
8.1.3.- El Cupido.....	31
8.1.4.- Tlapacoya y Tlalpizahuac.....	32
8.1.5.- Netzahualcoyotl.....	32
8.2.- Monitoreo a Cuerpo receptor.....	33
8.3.- Análisis de las Muestras.....	33
9.- RESULTADOS.....	35
10.- DISCUSION Y ANALISIS DE RESULTADOS.....	47
10.1.- Evaluación de la Calidad del Río "La Compañía" de Acuerdo a los Criterios de Calidad y a las NOM-PA-CCA-031/93 (NOM-031) y NOM-PA-CCA-032 (NOM-032).....	47
10.1.1.- Temperatura (Gráfica 1).....	47
10.1.2.- pH, Alcalinidad y Acidez (Gráficas 2, 3 y 4).....	47
10.1.3.- Conductividad Eléctrica, Sólidos Totales y Sólidos Sedimentables (Gráficas 5, 6 y 7).....	51
10.1.4.- Oxígeno Disuelto (O. D.), Extracción con Cloroformo, Grasas y Aceites (Gráficas 8,9 y 10).....	52
10.1.5.- Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM), Demanda Bioquímica de Oxígeno (D.B.O.) y Demanda Química de Oxígeno (D.Q.O.) (Gráficas 11, 12 y 13).....	55
10.1.6.- Metales (Cd, Cu, Cr, Fe, Pb y Zn).....	59
10.2.- Evaluación de la Calidad del Río "La Compañía" de Acuerdo a la NOM-PA-CCA-033/93 (NOM-033).....	64
11.- CONCLUSIONES.....	67

12.- RECOMENDACIONES PARA MEJORAR LA CALIDAD	
DEL AGUA DEL RIO "LA COMPAÑIA".....	69
12.1.- Propuestas Dirigidas al Sector Público.....	69
12.2.- Propuestas Dirigidas al Sector Industrial.....	71
12.3.- Propuestas Orientadas al Establecimiento de Disposiciones Legales.....	74
12.4.- Propuestas de Modificación a la NOM-033.....	74
12.5.- Propuestas de Aplicación Directa.....	77
13.- BIBLIOGRAFIA.....	87
14.- ANEXO.....	95

1.-RESUMEN

La gran importancia que tiene la protección al ambiente para la conservación de los ecosistemas y la salud pública, hace primordial el control y manejo adecuado de las aguas residuales producto de los asentamientos humanos y complejos industriales. El río "La Compañía" ha sido utilizado como un sistema de evacuación de las aguas residuales de origen doméstico e industrial de los municipios: Tlalmanalco, Chalco, Ixtapaluca y Netzahualcoyotl, dando origen a un foco latente de contaminación. En el presente trabajo se hace la caracterización de las aguas del río "La Compañía", por medio de análisis Físicos, Químicos y Biológicos de acuerdo a las Normas Oficiales Mexicanas:

NOM-CCA-031/93. Establece los Límites Máximos permisibles de contaminantes en las aguas residuales provenientes de la industria, actividades agroindustriales, de servicios y el tratamiento de aguas residuales a los sistemas de drenaje, alcantarillado urbano y municipal.

NOM-CCA-032/93. La cual establece los Límites Máximos Permisibles de contaminantes en las aguas residuales de origen urbano o municipal para su disposición mediante riego agrícola.

NOM-CCA-033/93. Establece las condiciones para el uso de aguas residuales de origen urbano o municipal o de la mezcla de éstas con la de los cuerpos de agua en el riego agrícola.

También se consideran los Criterios Ecológicos de Calidad del agua establecidos por la SEDUE en 1988.

De acuerdo a los resultados obtenidos la concentración de Coliformes Fecales, Aceites y grasas, alcalinidad, Sustancias Extractables con Cloroforno, SAAM y algunos metales como Cu, Cd, Fe y Zn, no cumplen con los Criterios Ecológicos establecidos por SEDUE, ni con las Normas Oficiales Mexicanas, a excepción, del primer sitio de monitoreo ubicado en San Rafael, Municipio de Tlalmanalco Edo. de México.

Tomando en cuenta la NOM-CCA-033/93 las aguas del río "La Compañía" se clasifican, en la Estación 1 como aguas de Tipo 1 y de la Estación 2 a la Estación 6 como agua de Tipo 3. El río es afectado en mayor proporción por descargas de origen doméstico en las estaciones 2 y 3, y en las estaciones 4, 5 y 6 este tipo de descarga se ve incrementado, además de recibir descargas de origen industrial. Con base a la caracterización se dan propuestas para disminuir la cantidad de contaminantes vertidos al cuerpo receptor.

2.- INTRODUCCION.

El agua ha sido para el ser humano fuente de alimento, medio de transporte y sanidad; esto explica por que desde tiempos remotos las grandes civilizaciones se desarrollaron en sitios donde predominó el elemento agua.¹⁷

La disponibilidad inmediata de este recurso hace posible crear un ambiente higiénico que evita o limita la propagación de diferentes enfermedades en el hombre y los animales.⁴² Además, habitar a orillas de un cuerpo de agua facilita su utilización para el riego agrícola y para transportar residuos que son vertidos por la población,³¹ sin embargo, el crecimiento poblacional acentuado, el gran desarrollo industrial, el aumento de nivel de vida y los nuevos campos agrícolas puestos bajo riego, necesarios para satisfacer las exigencias de la población, ha hecho que los cuerpos de agua sean totalmente insuficientes, tanto para abastecer al núcleo poblacional, como para recibir los residuos sin modificar las condiciones físicas y químicas de la flora y fauna.³²

De acuerdo con estimaciones del Instituto de Recursos Mundiales, en muchos países en desarrollo, más del 95% de las aguas negras urbanas se descargan sin ser tratadas,³⁸ es así, como surge uno de los problemas más apremiantes de nuestro tiempo, la contaminación del agua y posterior a ello la contaminación del suelo.

Debido a esta problemática, la protección al agua en lo que se refiere a calidad y cantidad es prioritario para el bienestar de la población, es por ello que las aguas superficiales, subterráneas, de manantial, etc., que sirven para cubrir las necesidades de agua potable deben ser protegidas para evitar impurezas y deterioro en su calidad.

El problema en México es tangible, por ser un país que presenta diferentes características geográficas y climatológicas, lo que ha ocasionado que sus recursos naturales estén concentrados en áreas definidas,⁷⁷ esto, aunado al crecimiento económico y social hace que se agraven y multipliquen los problemas derivados de la contaminación, que junto con la creciente escasez y el desperdicio, favorece que se presenten severos problemas de abastecimiento, por lo cual los mantos freáticos son sometidos a una sobreexplotación, principalmente durante la época de estiaje; por otro lado la falta de apoyo económico para mantener y administrar los recursos hídricos, hacen de esta situación un problema crítico,⁶ ejemplo de esto es la Ciudad de México cuyo núcleo poblacional hace imposible lograr un abasto eficiente del líquido, aunado al hecho de que la cuenca de México ocupa sólo el 0.03 % de la superficie total del país y en ella habita el 22 % de la población;²¹ que al ir creciendo requiere mayores cantidades de agua. Actualmente la Zona Metropolitana de la Ciudad de México consume en promedio diariamente de 57 a 63 m³/s³⁸ para poder

mantener su actividad, de esta cantidad el 80% proviene del subsuelo y el 20% de aguas superficiales.³³

Como consecuencia del alto consumo se produce un gran volumen de agua contaminada y prueba de ello es, que en la República Mexicana se generan aproximadamente 7,520,000 m³/día de aguas residuales y la zona metropolitana del Valle de México genera 1 660 millones de m³/año, equivalentes a un aforo de 53 m³/s.¹³

Las aguas residuales son aquellos líquidos de composición variada provenientes de usos domésticos, comercial y de servicios públicos o privados, así como industriales o cualquier otro uso, que por este motivo haya sufrido degradación en su calidad original.⁷⁹

La composición de las aguas residuales varía en cantidad y calidad según sea su origen conteniendo un gran número de elementos contaminantes. La Environmental Protection Agency (EPA) ha identificado aproximadamente 129 contaminantes de alto riesgo, orgánicos e inorgánicos, y han sido clasificados en 65 clases. La selección se ha hecho con base en su conocida o supuesta acción cancerígena, mutagénica y tóxica,¹ algunos de ellos se presentan en la **tabla 1**.⁴⁷ (ver Anexo). En la **tabla 2**¹ se presentan otros compuestos clasificados por su origen, y la gran diversidad de contaminantes presentes en las aguas residuales en la **tabla 3**⁴⁷ (ver Anexo).

Por la gran diversidad y naturaleza de contaminantes presentes en las aguas residuales, se hace necesario realizar una caracterización física, química y biológica, ya que permite determinar la mejor alternativa para reducir la concentración de los contaminantes y seleccionar un diseño apropiado de colección, tratamiento, reutilización o desecho de estas aguas.¹

3- MARCO TEORICO.

3.1.- PARAMETROS QUE PERMITEN EVALUAR LA CALIDAD Y GRADO DE CONTAMINACION DE UN CUERPO DE AGUA.

Por la problemática que representa la contaminación del agua, uno de los objetivos fundamentales es evaluar la concentración de contaminantes y hacer un seguimiento; para lograrlo es necesario organizar programas de monitoreo que estén orientados a lograr el bienestar y salud del hombre, además de la protección al ambiente.⁷

La evaluación de la calidad del agua implica varios aspectos:

- 1.- Inspección.
- 2.- Vigilancia.
- 3.- Control y/o investigación.

Inspección. En este punto el investigador se encarga de efectuar visitas a la zona de estudio durante un tiempo apropiado para decidir el programa de muestreo de acuerdo a la afectación del cuerpo de agua.

Vigilancia. Consiste en medir continuamente variables que permitan definir la dinámica de los contaminantes en el cuerpo de agua.

Investigación. La finalidad de la investigación es examinar con detalle el proceso de contaminación, por medio de técnicas experimentales y analíticas. En las primeras, a menudo se recurren a índices o criterios de calidad de agua específicos para poder establecer una comparación, a través de una evaluación cuantitativa que sirve, como medio de comunicación, pero, cuya utilización hace que no se consideren un gran número de aspectos biológicos importantes;⁴⁵ por eso es imprescindible realizar observaciones más puntuales para determinar casos de contaminación ligera o intermitente.

Los parámetros que nos permiten evaluar la calidad y grado de contaminación del agua son los siguientes^{47, 65, 16;}

3.1.1.- OXIGENO DISUELTO (O.D.)

El análisis del oxígeno disuelto (O.D.) es una evaluación importante de la contaminación del agua y control del proceso de tratamiento de aguas residuales,⁴ refleja la cantidad de materia orgánica que existe en el sistema;³¹ de esta forma el efecto de una descarga de desechos en un río se determina principalmente por el balance de oxígeno del sistema.⁸⁶

La disponibilidad del oxígeno libre y disuelto es el factor importante que limita la capacidad de autopurificación de una corriente de agua. Si entra al agua una carga considerable de nutrientes, el O.D. se gasta más rápidamente de lo que se puede reponer en cuyo caso ningún aeróbico obligado desde los microorganismos hasta los peces, podrá sobrevivir.⁹⁰

El grado de desoxigenación no depende tan sólo de la carga de nutrientes sino de varios factores, como son: el nivel de dilución, demanda bioquímica de oxígeno, de la emisión contaminante y de la calidad del agua receptora, composición de la

materia orgánica, temperatura, intensidad de la reoxigenación atmosférica, oxígeno disuelto en la corriente, cantidad y tipo de bacterias existentes en la descarga, etc.

Un valor alto de O.D. cercano a la saturación (10 ppm) indica que la tasa de desoxigenación es baja y por tanto, el nivel de contaminación es bajo también, y existe una reserva de oxígeno como amortiguador para mezclarse con cualquier contaminante que pueda estar presente.⁴⁵

Mientras más oxígeno se requiera para la descomposición de un contaminante, será más probable que se presente la desoxigenación, por tanto, la demanda de oxígeno ejercida por una sustancia es una medida de su poder para causar contaminación.⁹⁰

3.1.2.-DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (D.B.O.)

La prueba de Demanda Bioquímica de Oxígeno, representa la cantidad de oxígeno disuelto gastado en la descomposición biológica en una muestra de agua, y es una simulación de laboratorio del proceso microbiano de autpurificación.⁹⁰ La prueba tiene su aplicación más extendida en la determinación del gasto de oxígeno en las aguas residuales en las instalaciones de tratamiento y en la evaluación de la concentración de oxígeno disuelto que requiere un contaminante para su degradación.

3.1.3.-DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (D.Q.O.)

Una limitación importante de la prueba de D.B.O es el largo periodo que transcurre entre el momento que se toma la muestra y se obtiene el resultado; lo cual ha llevado a realizar pruebas químicas para evaluar la demanda de oxígeno de un residuo. La oxidación de los contaminantes en la muestra se efectúa en dichas pruebas usando un agente químico oxidante. Dichas pruebas son mucho más rápidas y por lo general más reproducibles y ha tomado gran importancia por que sirve para evaluar la resistencia de los residuos industriales no biológicos.⁸⁶ En estas técnicas la oxidación de la mayoría de los compuestos orgánicos es del 95 al 100%.⁴ Casi todas las sustancias orgánicas se oxidan virtualmente en su totalidad con la excepción de ciertos compuestos aromáticos, como la piridina, benceno y tolueno.^{90, 4}

No obstante, se debe enfatizar que debido al proceso de oxidación es totalmente diferente de un sistema biológico, la demanda de oxígeno evaluada químicamente no tiene relación directa con la demanda de oxígeno que se ejerce sobre el proceso natural de autpurificación en una corriente de agua. Sin embargo la demanda de oxígeno evaluada se puede correlacionar con la D.B.O. de determinada agua residual, y su rapidez permite utilizarlas en el proceso de control de los sistemas de tratamiento y en el control de la contaminación.⁹⁰

3.1.4.- SÓLIDOS

El análisis de sólidos es importante en el control de procesos de tratamientos biológicos y físicos de aguas residuales, y para evaluar el cumplimiento de las limitaciones que regulan su vertido.

Los sólidos pueden afectar la calidad y suministro del agua. Las aguas con abundantes sólidos disueltos suelen ser de inferior palatibilidad y pueden inducir una reacción fisiológica desfavorable en el consumidor. Las aguas altamente mineralizadas tampoco son adecuadas para muchas aplicaciones industriales.⁴

Los sólidos disueltos se encuentran mezclados con una fracción coloidal que puede ser removida por sedimentación, están constituidos por partículas de materia orgánica e inorgánica, generalmente se requiere una oxidación biológica o coagulación, seguida de una sedimentación para poder remover estas partículas.⁴⁷

Son de especial interés los sólidos sedimentables por ser los principales contribuyentes al proceso de envejecimiento de un cuerpo de agua.⁷³ Los sólidos al sedimentarse forman una capa sobre el lecho de la corriente de agua, en la que es muy difícil la penetración de oxígeno disuelto, con lo que se crea en el fondo, una capa anaeróbica.

Los sólidos en suspensión evitan que la luz penetre hasta los organismos fotosintéticos, originando una reducción en la producción de oxígeno,⁸⁵ liberan gran cantidad de nitrógeno y fósforo presentes en las proteínas, estos elementos crean condiciones favorables para el desarrollo de las algas.⁷³

3.1.5.- GRASAS Y ACEITES

Desde el punto de vista analítico cualitativo las grasas y aceites son un grupo de sustancias con características físicas similares sobre la base de su solubilidad común en un disolvente, como son los lípidos biológicos y los hidrocarburos minerales. Este tipo de contaminantes si se presentan en cantidades excesivas pueden interferir en los procesos biológicos aerobios y anaerobios y reducen la eficiencia del tratamiento de las aguas residuales.⁴

Son sustancias flotantes no miscibles o parcialmente miscibles que originan una reducción de la capacidad de reaeración³² al formar películas de superficie que impiden el contacto alre-agua y crean una demanda importante de oxígeno en su degradación por que las grasas son uno de los compuestos orgánicos más estables y no son fácilmente degradadas por las bacterias, sin embargo en presencia de álcalis se descomponen en glicerinas y ácidos grasos con los que forman una sal alcalina

que recibe el nombre de jabón, soluble en agua; sin embargo, si el agua es dura el sodio es intercambiado por calcio y magnesio lo cual hace insoluble al jabón y recibe el nombre de jabón mineral.⁴⁶

Las grasas muchas veces quedan retenidas por las plantas y algas en el propio terreno de las márgenes del río ocasionando una mayor acumulación de sedimentos,³² a este fenómeno se le conoce como depósitos de borde de playa,⁴ los remansos del río colaboran en gran parte con esta acción.

3.1.6.- SUSTANCIAS EXTRACTABLES CON CLOROFORMO.

Las sustancias extractables con cloroformo son sustancias complejas consideradas como microcontaminantes orgánicos, que pueden inducir modificaciones en los caracteres organolépticos del agua e incrementar su toxicidad, son sustancias muy complejas y estables, como los plaguicidas organoclorados y los compuestos fenólicos. La presencia de estos compuestos se atribuye a las actividades agrícolas, industriales o descargas domésticas, sin embargo la técnica de extracción con cloroformo no es una medida exacta de estas sustancias pero puede usarse para casos de comparación.⁷⁴

3.1.7.- ACIDEZ, ALCALINIDAD Y pH

La **acidez** es la capacidad del agua para neutralizar iones hidróxilo. La mayoría de las aguas naturales y residuales son amortiguadas por un sistema de CO_2 y H_2CO_3 . La acidez del CO_2 ocurre dentro de un pH de 8.2 a 4.5 debido a que el H_2CO_3 no se neutraliza totalmente hasta un pH de 8.2 y no disminuye por debajo de 4.5.⁸⁶

Los ácidos incrementan la corrosividad e interfieren en los índices de reactividad química, su especificidad y los procesos biológicos, reflejan además, las variaciones en la calidad del agua; no es frecuente encontrarla excepto en casos de contaminación severa.⁴⁸

La **alcalinidad** del agua ayuda a resistir cambios en el pH provocados por la adición de ácidos,⁴⁷ esto se debe a la presencia de hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos de Calcio, Magnesio, Sodio, Potasio o Amoníaco.⁴⁴ Los valores determinados pueden incluir también la concentración de boratos, fosfatos, silicatos y otras bases.⁴ Normalmente se divide en alcalinidad caústica, por encima de pH 8.2 y alcalinidad total por encima de pH 4.5. La alcalinidad puede existir a este pH debido a que los bicarbonatos se neutralizan completamente a pH de 4.5.⁸⁷

La determinación de alcalinidad se utiliza en la interpretación y el control de procesos de tratamiento de aguas limpias y residuales.⁴ Sirve para calcular la

cantidad de químicos que se adicionan a un tratamiento de aguas.⁸⁷ El agua con alcalinidad alta eleva el pH y contiene niveles elevados de sólidos disueltos.⁴⁵

La acidez y la alcalinidad son de importancia en el agua natural y residual por que proporcionan condiciones para resistir los cambios de pH,^{86, 87} además la tensión superficial del agua así como la densidad y viscosidad tienden a aumentar en forma aproximadamente lineal en relación a la cantidad de sales disueltas.⁸⁹

pH. Las propiedades de alcalinidad y acidez reflejan la concentración de iones. La determinación del pH refleja la actividad de los iones, a una temperatura determinada, la intensidad del carácter ácido o básico de una solución se da por la actividad del ion hidrógeno o pH. Se utiliza en las determinaciones de alcalinidad y dióxido de carbono y en muchos otros equilibrios ácido-base. La alcalinidad y acidez representan por tanto la capacidad neutralizante de ácidos y bases en el agua.⁴

Prácticamente todas las fases del tratamiento de agua para suministro y residual, así como la neutralización ácido-base, suavizado, precipitado, coagulación, desinfección y control de la corrosión, dependen del pH.

El desarrollo normal de una depuración biológica estriba en la adecuada actividad de las enzimas de los organismos que habitan el agua, por tanto es importante mencionar que las enzimas son activas en un rango muy estrecho de pH y suelen inhibirse con concentraciones altas de sales.³⁰ El intervalo de pH idóneo para la existencia de la mayoría de los organismos en un cuerpo de agua, es muy estrecho y crítico, y muy sensible a cambios extremos, principalmente en los mecanismos osmóticos.⁸⁵

3.1.8.-DETERGENTES

Los detergentes entran en las aguas limpias y residuales principalmente por descargas de residuos acuosos del lavado doméstico e industrial.⁴ La molécula de los detergentes esta formada por un grupo hidrófobo y un hidrófilo, el grupo hidrófobo es por lo regular una cadena de hidrocarburo que contiene de 10 a 20 átomos de carbono. Los grupos hidrófilos son de dos tipos, los ionizables y no ionizables en el agua.⁴

Los detergentes, tanto para uso doméstico como para uso industrial contienen fosfato, el cual tiene un papel muy importante, son ablandadores que por sus propiedades como acomplejantes, disminuyen la dureza del agua al fijar el calcio y magnesio. Los fosfatos que se encuentran en un producto para el lavado se presentan en general en forma de polifosfatos,¹⁴ que son las moléculas más difíciles de separar.

Los polifosfatos se pueden considerar como polímeros de condensación del fosfato e incluye formas tales como $P_2O_7^{4-}$, $P_3O_{10}^{5-}$ y $P_3O_9^{3-}$. Los polifosfatos se utilizan en los detergentes y también los sintetizan los organismos vivos. Debido a esto se han desarrollado procesos de remoción biológica que utilizan la capacidad de los microorganismos para absorber excesos de fósforo en sus requerimientos nutricionales inmediatos.

El fósforo es un compuesto característico de los organismos vivos y son liberados por la descomposición de las células, de manera que los residuos humanos, animales y de aguas residuales procedentes de industrias que procesan materiales biológicos, como la industria alimenticia, constituyen otras fuentes principales de los compuestos de fósforo.⁹⁰

3.1.9.- CONDUCTIVIDAD ELECTRICA Y TEMPERATURA

La temperatura y la conductividad eléctrica se relacionan de manera importante por que la conductividad se incrementa a medida que aumenta la temperatura, a un índice de 1.9 μS por 100 °C aproximadamente, esto hace notar que cada ión tiene un coeficiente de temperatura distinto.

La medición de la **conductividad eléctrica** se utiliza para evaluar las variaciones de la concentración de minerales disueltos en aguas naturales y residuales,⁴ así como para el monitoreo de la calidad en abastecimientos de agua con alta pureza.³

La **temperatura** es importante no sólo por participar en la actividad metabólica y la conducta de los organismos, sino por que puede alterar el estado físico-químico de los contaminantes; las investigaciones tienden a demostrar que la toxicidad de muchos compuestos aumenta con la temperatura,⁴⁵ debido al incremento de la biodisponibilidad de los contaminantes.

La temperatura afecta la densidad, viscosidad y tensión superficial del agua, cada una de ellas al aumentar la temperatura tienden a disminuir,⁸⁹ asimismo el oxígeno es menos soluble al incrementar la temperatura. El aumento en las reacciones bioquímicas que acompañan al incremento de temperatura, combinado con la disminución de concentración de oxígeno disuelto en el agua superficial puede provocar serias depleciones en su concentración en los meses de primavera; de esta forma cuando los cuerpos de agua reciben descargas de agua caliente el efecto se magnifica.⁴⁶

3.1.10.- METALES

Los efectos de los metales en aguas potables y residuales pueden ser benéficos, tóxicos o simplemente molestos. Algunos metales resultan esenciales mientras que otros pueden perjudicar a los organismos del agua, a los sistemas de tratamiento y aguas de depósito. En muchos casos el potencial benéfico o de riesgo depende de la concentración en que estén presentes.⁴

Muchos metales se vierten al agua debido a procesos naturales como actividad volcánica y erosión de rocas. Los procesos industriales tienden a movilizar muchos de éstos,⁴⁵ de tal forma que se da una amplia dispersión y transporte, existe fijación en fracciones minerales y orgánicas de un cuerpo de agua y con el tiempo tienden a concentrarse en el fondo.

Altas concentraciones de metales pueden desestabilizar los procesos metabólicos de los tejidos de las plantas y de los organismos, la base química de este efecto es la afinidad que tienen por los grupos sulfhídrico de las proteínas, en especial el Arsénico, Plomo y Mercurio, unidos a las proteínas de una membrana celular pueden alterar la distribución de los iones, cambiar los potenciales eléctricos y, de este modo, el movimiento de fluidos a través de la membrana,²⁸ afecta también la partición de iones entre la fase sólida y la solución del suelo y con esto el flujo convectivo de nutrimentos.⁴⁸

El equilibrio dinámico entre el suelo y los metales depende del pH, la química natural de las especies metálicas, estabilidad de los complejos, enlaces de los grupos funcionales, competencia iónica y fuerza iónica de la solución.⁸⁷ El pH es por lo tanto, el factor más importante que determina la disponibilidad de los metales, por que afecta sus mecanismos de adsorción y especiación en el suelo.

Algunos metales pueden influir en la actividad microbiana del suelo y reducir la productividad del mismo.²⁵

A valores bajos de pH, también se tienen efectos perjudiciales en los tejidos de las plantas, que pueden ser independientes de su posible efecto en el transporte de iones y se pueden ocasionar pérdidas de varios constituyentes solubles de las células. La pérdida de potasio y los cambios en la estructura fina de las puntas de las raíces es debido al daño ocasionado por el ión H^+ .⁴⁸

Es importante que se evalúe en los ríos como actúan los metales potencialmente tóxicos, por su efecto en los organismos, y con ellos, otros factores que pueden modificar su toxicidad, ya que en ocasiones surgen reacciones que desembocan en

formas más tóxicas del metal; además por su estabilidad, los metales suelen ser transportados a distancias considerables tanto por aire como por agua.

Uno de los resultados más graves de su persistencia es la magnificación biológica en las cadenas tróficas, donde, la concentración de metales en los miembros superiores de la cadena pueden alcanzar valores muchas veces más altos a los que se encuentran en el aire o en el agua. Ello induce que muchas plantas o animales lleguen a constituir un peligro para la salud al destinarse usarse como alimentos.⁸⁵

Cadmio (Cd). La concentración de Cd estimada sobre la superficie terrestre es de 0.1 mg/Kg. Por lo cual se considera un elemento traza. En el agua se encuentran niveles de 0.01 mg/l.⁵ El Cd no ejerce ninguna función biológica esencial y es altamente tóxico para plantas y animales. Los efectos tóxicos del metal se determinan más por su forma que por su concentración, es fácilmente absorbido en el suelo en forma de ion libre Cd^{2+} . La FAO/WHO⁵ recomienda una cantidad máxima tolerable de 400 a 500 μg /semanales, lo que equivale a 70 μg /día.²

El promedio de vida del Cd en el suelo varía entre 15 y 1100 años, por lo que se considera muy importante prevenir la contaminación por este metal. Tiende a ser más móvil en el suelo y de esta forma estar más disponible para las plantas que muchos otros metales, incluyendo Pb y Cu. Cuando existen valores altos de pH suele precipitarse como compuestos de fosfatos y carbonatos, sobre todo este último por que tiene una afinidad muy alta por la calca.

En un rango de pH de 4 a 7.7 el Cd aumenta su disponibilidad en un factor de 3 por cada unidad.

Compite con metales como: Ca, Co, Cr, Cu, Ni y Pb, que a su vez pueden inhibir la adsorción del Cd.

La contaminación ambiental por cadmio tiene como fuentes principales la refinación del zinc y en menor grado la fundición de plomo y cobre. Es importante también la incineración o eliminación de productos que lo contienen (neumáticos de caucho, envases de plástico), la quema de combustibles fósiles y el uso de fertilizantes fosfatados. La concentración de cadmio es alta en las zonas en las que hay fundiciones e industrias que lo utilizan.¹⁷

La toxicidad por Cd en las plantas se manifiesta por clorosis, marchitamiento y atrofia el crecimiento, raramente se da y es ocasionada por la presencia en exceso de otros elementos.

El Cd se enlaza a las proteínas citoplasmáticas que usualmente contienen cisteína fitoquelatinas y se encuentran en hongos, frijoles, soya, col, trigo y otras plantas. La concentración elevada en el tejido de las plantas puede disparar la formación de fitoquelatinas.²

En el humano el cadmio se deposita principalmente en el hígado, riñón y pulmones. La intoxicación crónica tiene efectos cuyas manifestaciones pueden presentarse años después de que cesó la exposición. Sus efectos sobre los huesos provocan fracturas espontáneas en ratas y/o anemia cuando se lesiona la médula ósea. Hay evidencias experimentales que sus compuestos producen cáncer.¹⁷

Plomo (Pb). El Pb no ejerce ninguna función biológica esencial, es un elemento traza, y se encuentra en forma natural en la corteza terrestre, su abundancia es muy elevada en las zonas donde hay yacimientos y se calcula en 16 µg/Kg. En aguas superficiales se han encontrado concentraciones de hasta 0.014 mg/l⁵. Su forma más frecuente es como Pb²⁺. Se usa en procesos industriales muy diversos, como la fabricación de acumuladores eléctricos, producción de aditivos, para combustibles con alquilatos de plomo, elaboración de pigmentos para pinturas, etc.

Puede acumularse fácilmente en suelo y sedimentos, posee baja solubilidad y es resistente a la degradación microbiana, puede ingresar fácilmente a la cadena alimenticia y al metabolismo del hombre.²

En el humano el plomo se deposita en los huesos, médula ósea, cerebro y nervios periféricos. La intoxicación produce alteraciones muy graves, como anemia, dolor abdominal intenso, encefalopatía aguda o crónica (puede provocar deterioro mental) y neuropatía periférica.¹⁷

Cromo (Cr). El Cromo es considerado un elemento traza, se encuentra en la naturaleza en una concentración aproximada de 100 mg/Kg en la corteza terrestre, pero esto depende del tipo de material parental y muchas veces se encuentra asociado con importantes cantidades de Ni, Mg y Fe; sus estados de oxidación son Cr³⁺ y Cr⁶⁺ de los cuales el más estable es el primero. En aguas superficiales el cromo se encuentra en concentraciones aproximadas de 10 µg/l.⁵

El Cr cumple una función biológica importante que es la de un factor de tolerancia a la glucosa (GTF) y es identificado como un complejo activo, dinicotinato (Cr(III)-glutatión). Su esencialidad para las plantas no ha sido demostrada.²

La dieta normal es de 200 µg/día.² Su carencia en la dieta provoca problemas cardiovasculares, madura la diabetes, puede ocasionar cáncer y leucemia en concentraciones elevadas, la USEPA clasifica este metal como carcinogénico.⁵

Los compuestos del cromo se utilizan en diversos procesos industriales, como la producción de aleaciones de acero, material refractario, fabricación de pinturas y pigmentos, curtido de pieles, fabricación de fungicidas, conservadores preservadores para madera, anticorrosivos y otros.¹⁷

El Cr^{6+} es fácilmente extraído del suelo y las partículas de sedimentos, y se considera la forma más tóxica. Posee un alto potencial de reducción y oxida rápidamente a distintas especies químicas y en presencia de materia orgánica se reduce a Cr^{3+} . Su reducción es más rápida en suelos ácidos que en alcalinos. Algunas investigaciones demuestran que el Cr^{6+} inhibe el crecimiento de raíces y vástagos en mayor proporción que el Cr^{3+} .⁸⁶

El Cr^{3+} es mucho más móvil y forma fácilmente compuestos con óxidos de Fe, Al y Mg con la fórmula general $\text{FeO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$, su solubilidad decrece por arriba de $\text{pH}=4$ y por arriba de $\text{pH}=5.5$ precipita completamente. Se reduce su movilidad cuando se presenta como óxidos e hidróxidos insolubles. En este estado de oxidación el cromo reduce su biodisponibilidad a pH mayores de 5.²

Cobre (Cu). El Cobre es un elemento esencial para las plantas y animales, se encuentra en la superficie terrestre en concentraciones de 24-55 mg/Kg, en forma de sulfuros, sulfatos, carbonatos y otros compuestos. En agua se encuentra a concentraciones aproximadas de 0.02 mg/l.⁵

El cobre se encuentra asociado a suelos que contienen importantes cantidades de materia orgánica, óxidos de Fe y Mn, arcillas y otros minerales. Tiene gran afinidad por coloides orgánicos e inorgánicos. En las plantas se presenta en el siguiente rango de abundancia respecto a otros micronutrientes: $\text{Fe} > \text{Mn} > \text{B} > \text{Zn} > \text{Cu} > \text{Mo} > \text{Cl}$.

La dieta en el hombre se considera que es de 1-5 mg/día. La acumulación de Cu en los humanos afecta el desarrollo de los infantes, desarrolla una enfermedad hereditaria conocida como enfermedad de Wilson, se observan daños histológicos que se desarrollan principalmente en niños menores de 5 años.²

La calidad de los productos agrícolas se ve afectada por la deficiencia de Cu en: apariencia desagradable, talla pequeña en frutos cítricos, decoloración, textura esponjosa, clorosis, reducción de proteínas y alteración en la proporción de aminoácidos.

Elevadas concentraciones de Cu actúan como inhibidor en el transporte de Fe. Altas concentraciones de Zn o Cu en el suelo actúan como elementos antagónicos para otros iones en la adsorción. Algunos iones que reducen la adsorción de Cu son el K^+ , Ca^{2+} y el NH_4^+ .⁴⁸

La mayor concentración de Cu es proporcionada por la industria. El principal uso es en la producción de alambres, aleaciones, latón y bronce.¹⁷

Zinc (Zn). El Zinc se considera un elemento traza por encontrarse en la corteza terrestre en una concentración de 17-125 mg/Kg y en el agua se encuentra a niveles de 0.064 mg/l.⁵ Prevalce en forma de hidróxidos, carbonatos, fosfatos, sulfuros y molibdatos. también se considera un elemento esencial para los humanos y plantas mayores, en los humanos para una dieta diaria se recomiendan 15 mg/día.²

El Zn actúa como un componente catalítico o estructural en numerosas enzimas involucradas en el metabolismo y en la transcripción del ADN.

En las plantas mayores se absorbe como un catión divalente Zn^{2+} , actúa como un cofactor funcional, estructural y regulador de enzimas como las deshidrogenasas, aldolasas, isomerasas, transfosforilazas, las polimerasas de RNA y ADN, y se involucra en el metabolismo de proteínas, carbohidratos, y la síntesis de triptófano que es un precursor de la síntesis de ácido Indol Acético (IAA).

Las deficiencias del Zn en humanos y animales se manifiesta en un mal desarrollo, lesiones en la piel, inmadurez sexual, cirrosis pos-alcohólica, alteraciones en la integridad óptima de la piel, ojo y huesos.²

La deficiencia de Zn en las plantas se manifiesta por clorosis, atrofia del crecimiento, malformaciones del tallo, hojas pequeñas y arrocetadas. Los cultivos más sensibles a esta deficiencia son maíz, sorgo, algodón, leguminosas, cítricos, lino, lúpulo, uvas, durazno y la manzana. Junto con el Cu, Ni y Cr el zinc es potencialmente fitotóxico.

Los componentes del suelo que más contribuyen a la adsorción de este metal, son minerales arcillosos, óxidos metálicos hidratados y materia orgánica lo que constituye la fase coloidal del suelo. El Ca^{2+} compite con el Zn^{2+} por los sitios de adsorción pero una deficiencia incrementa marcadamente la concentración de Cu.²⁵

En la actualidad la contaminación por Zn se ha incrementado por el gradual desarrollo industrial, también suele darse por el uso de agroquímicos como los fertilizantes y plaguicidas.²

Fierro (Fe). El Fierro es un elemento esencial, es el más abundante en las rocas de la corteza terrestre y tiene la capacidad de formar compuestos estables con S, O y Si, su forma más común es como Fe^{2+} y Fe^{3+} . Este metal precipita fácilmente a un pH mayor a 7.

El Fe es necesario para el mantenimiento de la clorofila en las plantas, es claramente esencial como componente de muchas enzimas y transportadores. Un exceso provoca una coloración rojiza en las hojas de las plantas.²

Existe poca posibilidad de problemas de toxicidad por Fe, el problema surge cuando existe una mayor concentración de otros metales como el Cu ó Zn que provocan deficiencia de Fe en las plantas, por inhibir su asimilación.

Una deficiencia de Fe en el humano da origen a la anemia, pero se observa con más frecuencia en mujeres embarazadas, también se vuelve un problema entre las personas que tienen fuertes pérdidas de sangre por cualquier causa.

El Zn interfiere fuertemente con el transporte de Hierro. El Zn y el Cu a bajas concentraciones estimulan el transporte de Fe dentro del xilema de las plantas, pero a concentraciones elevadas actúan como inhibidores, provocando su deficiencia que indirectamente afecta al hombre por ser un factor nutricional importante.⁴⁸

3.1.11.- ESTUDIOS MICROBIOLÓGICOS

Es importante realizar estudios microbiológicos en muestras de agua con el fin de determinar su calidad sanitaria. El grupo de bacterias coliformes es el principal indicador de la adecuación del agua para usos domésticos, industriales o de otro tipo.⁴

Los organismos coliformes son organismos en forma cilíndrica, presentes en el sistema digestivo humano. Una persona descarga entre 0.1 y 0.4 billones de organismos coliformes por día, además de otras especies de microorganismos.

Los organismos coliformes no son en sí mismos perjudiciales y de hecho son importantes para la degradación de la materia orgánica en los sistemas de tratamiento. Sin embargo, junto con los organismos coliformes el hombre descarga microorganismos patógenos, como los que pueden causar fiebre tifoidea, disentería, diarrea, cólera, etc.

Teniendo en cuenta que la población de estos microorganismos patógenos en las aguas residuales es pequeña, y además, difícil de localizar, se utiliza la presencia de organismos coliformes que son numerosos y fáciles de localizar como indicadores potenciales de la presencia de organismos patógenos,⁷³ las coliformes cumplen la función de organismos indicadores, de acuerdo a las siguientes características:

- 1.- Se encuentran presentes donde existen microorganismos patógenos.
- 2.- Se encuentran en la materia fecal en gran cantidad.

- 3.- Responde a los procesos de tratamiento de la misma forma que los organismos patógenos.
- 4.- Son fáciles de identificar, aislar y contabilizar.
- 5.- El rango indicador del patógeno puede ser alto.
- 6.- El indicador y el patógeno provienen de la misma fuente.⁵

Existen otros parámetros que permiten evaluar la calidad y grado de contaminación de un cuerpo de agua, pero, los mencionados aquí son los considerados por la normatividad mexicana para regular las descargas de aguas residuales.

Una vez que se realiza la evaluación de los contaminantes, se puede ver con claridad cuáles son los que están por arriba de los lineamientos o los que provocan problemas al cuerpo de agua y en base a ello poder establecer un tren de tratamiento para la eliminación o disminución del contaminante, y de esta forma poder dar otro uso al agua tratada.

3.2.- TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

El objetivo de utilizar aguas tratadas es importante para poder contrarrestar los altos costos de transporte de agua, de distancias lejanas a la Ciudad de México, ya que las aguas que se envían a la cuenca de México deben conducirse por 107 Km. de tuberías y deben vencer un desnivel de 1,200 metros de diferencia altitudinal, la energía necesaria para mover tales volúmenes es del orden de 150 millones de watts proporcionados en forma constante durante todo el año.²¹

Los principales aportes de agua externos a la cuenca de México provienen de los pozos subterráneos de la cuenca alta del río Lerma, entre la Cd. de México y Toluca, esta cuenca provee 5 m³/s. La ciudad obtiene también agua de la cuenca del río Cutzamala, desde donde se bombean unos 7 m³/s tomados de los caudales superficiales del río,²¹ se estima que la inversión necesaria para cada metro cúbico por segundo del Cutzamala, es del orden de 200 millones de pesos.⁷¹

Debido a estos problemas energéticos y económicos, el tratamiento de las aguas constituye una alternativa posible para la obtención de energía y recuperación de subproductos con el fin de elevar la eficiencia económica de muchas industrias y sistemas de tratamiento de aguas residuales. El empleo de las aguas residuales para el riego agrícola brinda también una de las mayores soluciones económicas y se desarrolla en la actualidad de manera importante.⁷⁵

En la actualidad aproximadamente el 40 % de agua residual que se produce en la cuenca de México es eliminada a través del sistema de drenaje profundo, y se usa principalmente para irrigación sin tratamiento previo, en el estado de Hidalgo,²¹

hacia donde se dirigen actualmente 1,660 millones de m³/año, de este volumen el Valle del Mezquital recibe anualmente 1,350 millones de m³ (43 m³/s)¹³ y los mayores usuarios se encuentran en los distritos de riego 03 Tuñá y 100 Alfajayucan, la superficie bajo riego es de 43,972 y 24,972 ha respectivamente, y los volúmenes de agua que se utilizan son de 908.5 y 304.4 millones de m³/año.⁷¹

Los efectos del riego con aguas residuales han sido motivo de constante preocupación debido a que, por un lado, se mencionan las ventajas del riego porque los cultivos aprovechan los nutrimentos que contiene y, por otro lado, los riesgos que representa la presencia de metales pesados y coliformes fecales en los cultivos, especialmente los que se consumen crudos.⁷¹

Debido a la problemática planteada, el tratamiento de las aguas residuales es un complemento muy importante para mejorar su calidad, considerando además, que se ha llegado a una situación en la que con frecuencia la mejor solución ecológica, es también la mejor solución económica. Es decir que resulta más conveniente intercambiar y tratar las aguas residuales que continuar pasando el agua de una cuenca a otra.¹⁵

Existen diversos procesos y operaciones unitarios para el tratamiento de aguas residuales que con una adecuada selección y combinación, pueden resolver la mayoría de los casos. El grado de depuración requerido depende fundamentalmente de los límites de vertimiento al efluente; una clasificación convencional de los procesos es la siguiente:

Tratamiento Preliminar. Se utiliza para separar los sólidos mayores o flotantes, sólidos inorgánicos pesados y cantidades excesivas de aceites o grasas.¹⁸

Tratamiento Primario. Este se emplea para la eliminación de los sólidos en suspensión en aproximadamente 40-60 %, además de los sólidos flotantes¹⁸ y disminuir la D.B.O. en 25-40 %.³²

Tratamiento Secundario. Comprende tratamientos biológicos, tanto aerobios como anaerobios,⁷³ para eliminar sólidos en suspensión en un 75-85 % y disminuir la D.B.O. en 50-75 %.³²

Tratamiento Terciario. Su objetivo fundamental es la reducción de contaminantes que no se eliminan con los tratamientos anteriores, estos pueden ser sólidos suspendidos que pueden ser separados, por 1) adsorción de carbón activado; 2) intercambio iónico; 3) ósmosis inversa; 4) electrodiálisis; 5) oxidación química.⁷³ Logrando una reducción de contaminantes hasta 93-98 % y la D.B.O. se logra reducir a 92-98 %.

Finalmente, suele darse una cloración que reduce a las bacterias coliformes en 98-99 %.³²

En la Tabla 4 se muestran los contaminantes de interés que conciernen al tratamiento de aguas residuales.

Tabla 4.- Contaminantes de interés para los tratamientos de las aguas residuales.

CONTAMINANTES	RAZON DE IMPORTANCIA
Sólidos Suspendidos	Los sólidos suspendidos pueden generar depósitos de lodo y condiciones anaeróbicas cuando una descarga de agua sin tratar es dirigida a un ambiente acuático.
Orgánicos Biodegradables	Son compuestos orgánicos biodegradables, principalmente como las proteínas, carbohidratos y grasas que son medidos comúnmente en términos de D.B.O. (Demanda bioquímica de oxígeno) y D.Q.O. (Demanda Química de Oxígeno), la estabilización biológica de las descargas de agua sin tratar pueden ocasionar una depresión en la concentración de O.D. (Oxígeno Disuelto) y evitar condiciones sépticas.
Patógenos	Comúnmente las enfermedades pueden ser transmitidas por organismos patógenos presentes en el agua.
Nutrientes	El Nitrógeno y Fósforo, junto con el Carbono, son nutrientes esenciales para el crecimiento. Cuando son descargados al ambiente acuático pueden generar el crecimiento de vida acuática indeseable.
Contaminantes Prioritarios	Compuestos orgánicos e inorgánicos seleccionados en base a su conocida o supuesta carcinogenicidad, mutagenicidad, teratogenicidad o alta toxicidad.
Orgánicos Refractarios	La tendencia de estos compuestos es la resistencia a los tratamientos de agua. Los ejemplos típicos son surfactantes, fenoles y plaguicidas agrícolas.
Metales Pesados	Los metales pesados son usualmente incorporados al agua en actividades comerciales o industriales y pueden ser removidos del agua para ser usada nuevamente.
Inorgánicos Disueltos	Constituyentes inorgánicos como el Calcio, Magnesio, Sodio y el Sulfato son incorporados al agua por el uso doméstico.

Metcalf & Eddy, 1991.

El tratamiento de aguas residuales es una necesidad de primer orden para mejorar su calidad pero para lograr tal objetivo se requiere contar con una completa caracterización, para saber con claridad que clase de contaminantes se tiene y en que proporción, y de esta forma saber que tipo de tratamiento se requiere para poder recuperar la calidad del agua (si no de manera total, sí, parcialmente) y ser destinada a otros usos.

Un valioso apoyo para que se realice el tratamiento de las aguas residuales lo constituye la reglamentación de las descargas, especialmente de tipo industrial, y en la medida que se extienda la vigilancia se podrá garantizar un nivel de tratamiento adecuado para la reutilización, bajo estas consideraciones la participación de las diversas instituciones es fundamental.⁷¹

3.3.- LEGISLACION MEXICANA EN MATERIA DE PREVENCIÓN DE LA CONTAMINACION DEL AGUA.

Considerando este aspecto, en México se cuenta ya con 44 Normas Oficiales Mexicanas para controlar las descargas de aguas residuales y se cuenta con la facultad de otorgar o negar permisos para su vertimiento, en base a la calidad del agua que se pretende alcanzar en el cuerpo receptor. Para apoyar estas acciones, se cuenta con una red nacional de monitoreo de la calidad del agua, consistente en 304 estaciones manejadas por la SEDUE y 774 administradas por la SARH. Asimismo, se encuentra en operación la red nacional de laboratorios analíticos.⁸¹

En el año de 1988 se promulgo con base en el artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos la "Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente" (LGEEPA), donde se menciona en su Título IV, Capítulo II. La prevención y Control de la Contaminación del Agua y de los Ecosistemas Acuáticos y la formulación de Normas Técnicas Ecológicas (actualmente Normas Oficiales Mexicanas).¹⁵

Con base a esta ley y en la "Ley Orgánica de la Administración Pública Federal", surgen en el año de 1989 los "Criterios Ecológicos de Calidad del Agua" (CEE-CCA-001/89), donde se menciona que uno de los asuntos al que se le otorga especial atención dentro de dicha política es el aprovechamiento racional, la prevención y control de la contaminación del agua, así como la protección de la flora y fauna acuática⁷⁸

En el año de 1992 surge, también con base en el artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, la "Ley de Aguas Nacionales", donde se menciona a la Comisión Nacional del Agua ... como autoridad federal única, para la administración del recurso agua, y trata en su Título VII, capítulo único la

Prevención y Control de la Contaminación del agua y en el Art. 89 se especifica que la CNA para otorgar los permisos deberá tomar en cuenta la clasificación de los cuerpos de aguas nacionales, las NOM correspondientes y las condiciones particulares que requieran las descargas.¹⁶

Dentro de las Normas Oficiales Mexicanas que se crean conforme a la "Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente" existen tres que son de particular interés por tratar características de las aguas empleadas para riego agrícola y las provenientes de descargas industriales, cuyos enunciados son los siguientes:

NOM-PA-CCA-031/93. Norma Oficial Mexicana que establece los Límites Máximos Permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales provenientes de la industria, actividades agroindustriales, de servicios y el tratamiento de aguas residuales a los sistemas de drenaje y alcantarillado urbano o municipal.⁴⁹

NOM-PA-CCA-032/93. Norma Oficial Mexicana que establece los Límites Máximos Permisibles de contaminantes en las aguas residuales de origen urbano o municipal para su disposición mediante riego agrícola.⁴⁹

NOM-PA-CCA-033/93. Norma Oficial Mexicana que establece las condiciones para el uso de aguas residuales de origen urbano o municipal o de la mezcla de éstas con la de los cuerpos de agua en el riego agrícola.⁴⁹

Nota 1.- En las **Tablas 5, 6 y 7**, se presentan las NOM anteriormente mencionadas y en la **Tabla 8** se presentan los Criterios de Calidad establecidos por la desaparecida SEDUE (ahora SEMARNAP) para los parámetros que se manejan en este proyecto (ver Anexo).

4.- JUSTIFICACION.

El río "La Compañía" pertenece a la región hidrológica N° 26, "Alto Pánuco", especialmente a la zona 26 D del río "Moctezuma".⁴⁰ Es una de las regiones hidrológicas más importantes de la República Mexicana, por el volumen de sus corrientes superficiales, y la sitúan dentro de las cinco regiones hidrológicas más grandes del país; abarca una gran extensión que comprende toda la parte norte, noreste y noroeste del Estado de México. Se considera la cuenca principal del Golfo en la parte Norte, cuya desembocadura se localiza entre los estados de Veracruz y Tamaulipas. Su mayor afluente es la subcuenca del río Tula, en la zona Centro.⁸¹

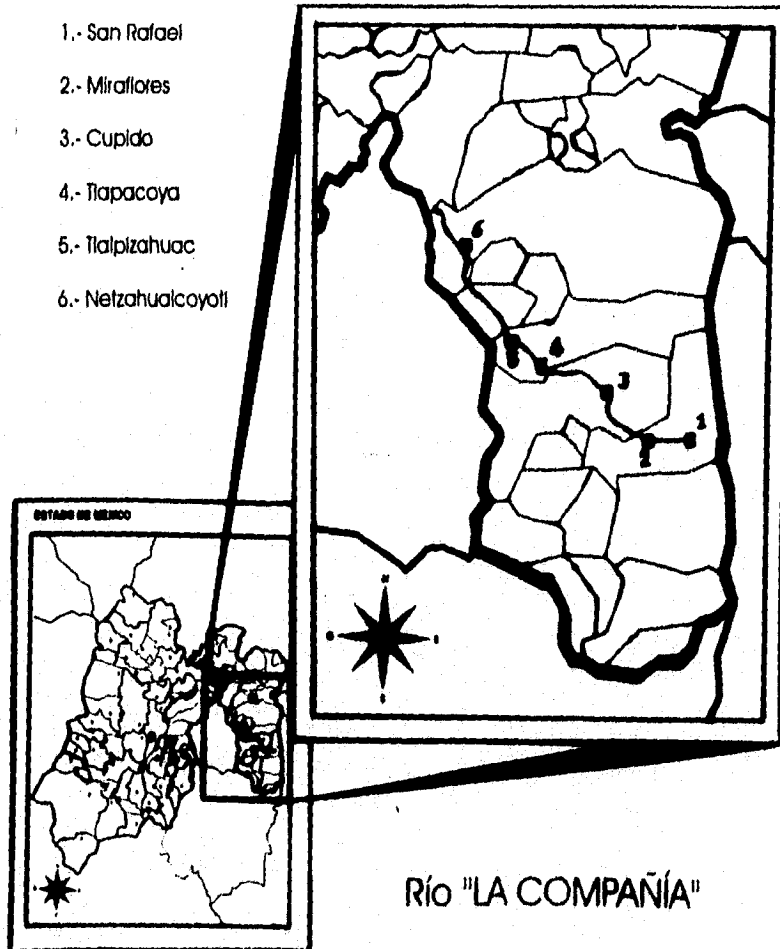
Esta cuenca presenta un problema de contaminación de primer orden y requiere de control inmediato tanto por sus niveles de contaminación, como por el hecho de encontrarse localizada entre grandes centros de desarrollo. La situación ambiental que prevalece en esta región se ha hecho muy crítica, a causa de las constantes descargas de un gran número de industrias. Estas descargas involucran volúmenes muy grandes de D.Q.O., D.B.O. y contaminantes tóxicos, lo cual repercute negativamente en la ecología de la zona.⁴⁰

El río "La Compañía" es un claro ejemplo de contaminación industrial y doméstica, existen 5 municipios que potencialmente vierten sus aguas residuales a su cauce como son: Tlalmanalco, Cocotltlan, Ixtapaluca, Los Reyes la Paz y Ciudad. Netzahualcoyotl. Las Aguas Residuales arrastran una carga contaminante de aproximadamente 2,500,806 habitantes y 4,948 establecimientos manufactureros, (Ver Tablas 9, 10, 11, y 12 en Anexo)⁴¹ entre los que sobresalen, la manufactura de productos alimenticios, bebidas, tabaco, productos minerales no metálicos, fabricación de materiales de arcilla para la construcción, elaboración de productos de panadería, molinería, textiles, industria del cuero, industria de la madera, productos metálicos, productos de papel; de tal forma que el curso de este río se encuentra totalmente afectado por estas descargas, a excepción del municipio de Tlalmanalco (San Rafael) donde nace, como producto de infiltraciones y deshielo de la cima del volcán Iztaccíhuatl. El nivel de contaminación de este río limita el uso de sus aguas, principalmente para riego agrícola.

A pesar de esta situación las aguas del río "La Compañía" se utilizan localmente para riego agrícola en los municipios de Tlalmanalco, Chalco y parte del municipio de Ixtapaluca, sin tratamiento previo, finalmente, el curso de estas aguas es conducido por medio del Gran Canal de Desagüe hacia los distritos de riego 03 Tula y 100 Ahijayucan en el estado de Hidalgo, no existe tratamiento previo, solamente el que puede alcanzar de manera natural a lo largo de su recorrido en cauces y conductos cerrados.

5.- LOCALIZACION DEL AREA DE ESTUDIO

El río "La Compañía" nace en la porción Noroeste de las faldas del Volcán Iztaccihuatl y recorre el Valle de Chalco, el municipio de los Reyes la Paz y Netzahualcoyotl hasta comunicarse con el Dren General del Valle, el cual se une al Gran Canal de desagüe, el río se localiza entre las coordenadas 19° 2' y 19°12' de latitud Norte y los meridianos 99°2" y 98°44' longitud Oeste a una altura promedio de 2250 m.s.n.m. y tiene una longitud aproximada de 43 Km.



5.1.- DESCRIPCIÓN DE LAS ÁREAS DE ESTUDIO

5.1.1.- TLALMANALCO (San Rafael y Miraflores).

Tlalmanalco cuenta con una superficie de 158.76 Km.², la altitud en la cabecera del municipio alcanza 2,400 m.s.n.m. Sus coordenadas geográficas son:

	MINIMA	MAXIMA
LONGITUD	98° 37' 58"	98° 51' 20"
LATITUD	19° 8' 48"	19° 15' 43"

La distribución del uso del suelo del municipio se presenta como sigue:

USO DEL SUELO				
SUPERFICIE (ha)	AGRICOLA	URBANO	FORESTAL	OTROS
15 876	2 948	570	10 325	2 033
100 %	18.57 %	3.59 %	65.03 %	12.81 %

G.E.M. 1993.

El municipio de **Tlalmanalco** es una porción constituida por terrenos volcánicos y aluviales que se formaron en el Mioceno, época que se caracterizó por la gran extensión de erupciones volcánicas. El suelo es propicio para la agricultura de temporal además de que cuenta con vegetación boscosa,⁸⁴ es en su mayor parte de tipo (Th+I+Bd/I) Andosol húmico asociado a un Litosol y un Cambisol districo de textura gruesa.³⁷ En el tipo Andosol en condiciones naturales se encuentra en su superficie hojarasca suelta que descansa sobre un horizonte superior Ah, muy humoso, de color pardo oscuro a negro, migajonoso o granular,²³ el Cambisol districo es un suelo muy ácido y pobre en nutrientes; presenta en el subsuelo una capa arcillosa que forma terrones con gran facilidad.⁴⁰

En **San Rafael** se presenta un tipo de clima que pertenece al grupo de climas fríos y muy fríos, los cuales se caracterizan por tener un régimen térmico medio en el mes más caliente menor de 6.5 °C; están asociados a comunidades vegetativas de alta montaña como son los musgos, líquenes y algunas plantas herbáceas. perteneciente al subgrupo de climas fríos.

En especial esta área se caracteriza por pertenecer al Subgrupo de climas Fríos y por que la temperatura del mes más frío es menor de 0 °C y en el mes de diciembre se presenta la temperatura mínima con 2 y 3 °C. La precipitación media anual fluctúa entre 1,000 y 1,500 mm. La máxima incidencia de lluvias se presenta en el mes de julio con un valor que oscila entre 260 y 270 mm, y la mínima en diciembre con un valor menor de 15 mm.

Se registran granizadas de más de 18 días al año. Las heladas generalmente comienzan en septiembre y terminan en mayo, la máxima incidencia se registra en noviembre, diciembre, enero y febrero.⁴⁰

En la zona de **Miraflores** también se encuentra un tipo de suelo (Je/I) Fluvisol eútrico de textura gruesa,³⁷ el cual está formado por materiales transportados por el agua. No tiene estructura y sólo presenta capas alternadas de arena, arcilla o grava. Puede ser profundo o somero, arenoso o arcilloso, fértil o infértil dependiendo del material parental que lo constituye y el clima bajo el cual se desarrolla,⁴⁰ tiene una saturación de bases > 50 % a una profundidad de 20 a 50 cm de la superficie, pero a esa profundidad no son calcáreos.²³

En esta zona abundan las coníferas, especialmente el pino, ocote y cedro. Se tienen diversas plantas medicinales como el maguey de sávila, altibrillo, pata de león, hinojo, cueldo, manrubio y valeriana, también se encuentran matorrales y pequeños arbustos.⁸⁴

Presenta un clima perteneciente al Subgrupo de climas Semifríos, Semifrío-Subhúmedo. Este tipo de clima se caracteriza por tener temperatura media anual menor de 16 °C, la máxima temperatura se registra en los meses de abril y mayo, con un valor de 12 y 13 °C, los meses más fríos son enero y diciembre, ambos con una temperatura que oscila entre 8 y 9 °C. Se encuentra asociado a comunidades vegetativas del tipo de bosques y praderas de alta montaña. Es el más húmedo de los semifríos, con lluvias en verano, una precipitación en el mes seco menor de 40 mm y un porcentaje de lluvia invernal menor de 5 mm. La precipitación media anual es mayor de 800 mm; la mayor incidencia de lluvias se registran en el mes de julio, con un rango que fluctúa entre 200 y 210 mm, la mínima corresponde a febrero, con un valor menor de 10 mm.

Las heladas presentan una frecuencia de 20 a 120 días al año, destacando principalmente el rango de 80 a 100 días. Las granizadas registran una incidencia de 0 a 18 días al año, destacando el rango de 0 a 4 días.⁴⁰

5.1.2.- CHALCO (Cupido).

Este municipio cuenta con una superficie de 274,43 Km.² la altitud en la cabecera del municipio alcanza 2,250 m.s.n.m. Sus coordenadas geográficas son las siguientes:

	MINIMA	MAXIMA
LONGITUD	98° 41' 4"	98° 58' 14"
LATITUD	19° 9' 21"	19° 20' 6"

La distribución del uso del suelo se presenta como sigue:

USO DE SUELO				
SUPERFICIE (ha)	AGRICOLA	URBANO	FORESTAL	OTROS
27,443	9,539	4,545	7,781	5,578
100 %	34.76 %	16.56 %	28.35 %	20.32 %

G.E.M. 1993.

El suelo esta constituido por rocas efusivas de tipo andesítico y basáltico. Con un uso variado, agrícola, pecuario, forestal, industrial y urbano. Se presenta un suelo de tipo (Je/l)³⁷ Fluvisol eútrico de textura gruesa, en este tipo de suelos se desarrollan depósitos aluviales, recientes que no tienen más horizontes de diagnóstico (a menos que estén enterrados a 50 cm o más de material nuevo) que un horizonte A ócrico o úmbrico, un horizonte H hístico o un horizonte sulfúrico. Los depósitos aluviales recientes son sedimentos fluviales, lacustres o coluviales. Tienen una saturación de bases > 50 % a una profundidad de 20 a 50 cm de la superficie, pero a esa profundidad no son calcáreos.²³

La flora natural e inducida está constituida por: pirul, capullín, ocote, cedro, encino, sauce, álamo, jacarandá, alcanfor, fresno, colorín, trueno, olivo, ciruelo, peral, manzano, durazno, granado, chabacano, nogal, tejocote, manzanilla, santa María, árnica, ruda, yerbabuena, epazote, toloache, te de monte, higuierillas, anís, uña de gato, malva, chicalote, amapola silvestre, carricillo de los pantanos, tabaquillo, trébol, ajeno, zacatón, alfilerillo y jarilla, rosales, margarita, margaritón, cempaxochitl, alcatraz, chícharo de flor, malvón, alhelí, vara de san José, petunia.⁸⁴

El **Cupido** se ubica dentro de un clima perteneciente al Subgrupo de climas Semifríos, Semifrío-Subhúmedo. Este tipo de clima se caracteriza por tener temperatura media anual menor de 16 °C, la máxima temperatura se registra en los meses de abril y mayo, con un valor de 12 y 13 °C, los meses más fríos son enero y diciembre, ambos con una temperatura que oscila entre 8 y 9 °C. Se encuentra asociado a comunidades vegetativas del tipo de bosques y praderas de alta montaña. Es el más húmedo de los semifríos, con lluvias en verano, una precipitación en el mes seco menor de 40 mm y un porcentaje de lluvia invernal menor de 5 mm. La precipitación media anual es mayor de 800 mm; la mayor incidencia de lluvias se registran en el mes de julio, con un rango que fluctúa entre 200 y 210 mm, la mínima corresponde a febrero, con un valor menor de 10 mm.

Las heladas presentan una frecuencia de 20 a 120 días al año, destacando principalmente el rango de 80 a 100 días. Las granizadas registran una incidencia de 0 a 18 días al año, destacando el rango de 0 a 4 días.⁴⁰

5.1.3.- IXTAPALUCA (Tlapacoya y Tlalpizahuac).

Ixtapaluca cuenta con una superficie de 319.44 Km², la altitud en la cabecera del municipio alcanza 2,250 m.s.n.m. Sus coordenadas geográficas son las siguientes:

	MINIMA	MAXIMA
LONGITUD	98° 37' 57''	98° 57' 15''
LATITUD	19° 14' 30''	19° 24' 40''

La distribución del uso del suelo se presenta de la siguiente forma:

USO DE SUELO				
SUPERFICIE (ha.)	AGRICOLA	URBANO	FORESTAL	OTROS
31 944	8 495	1 475	19 190	2 784
100 %	26.59 %	4.62 %	60.07 %	8.71 %

G.E.M. 1993.

Es una región constituida por terrenos volcánicos y aluviales del Plioceno.⁴⁰

En **Tlapacoya** se encuentra un suelo de tipo (Zm-Hh/2 y Zm-h/2) Solonchak mólico con Feozem háptico asociado a un Solonchak mólico con una fase sódica de textura mediana.³⁶ El Solonchak mólico, son suelos que tienen salinidad elevada excluyendo aquellos formados por depósitos aluviales recientes, y sin otros horizontes de diagnóstico que un horizonte A mólico, (a menos que esté cubierto por 50 cm o más de material nuevo), carecen de propiedades hidromórficas dentro de los primeros 50 cm de espesor desde la superficie.²³

En general todos los suelos de este grupo se caracterizan por presentar un alto contenido de sales, el mólico en particular presenta una capa superficial oscura, rica en humus y fértil.⁴⁰

El Feozem háptico asociado al Solonchak mólico presenta un horizonte A mólico, el cual se caracteriza por ser humífero (+ de 10 cm), de color oscuro, rico en cationes bivalentes y nitrógeno.¹⁹

En **Tlalpizahuac** se presenta un tipo (Hh+Re/1) Feozem háptico asociado con un Regosol Eútrico de textura gruesa y (Hh+I/2) un Feozem háptico asociado a un litosol con textura mediana.³⁶ El tipo Feozem háptico, posee un horizonte A mólico, humífero, de más de 10 cm, de color oscuro con estructura alreada grumosa, rico en cationes bivalentes y en nitrógeno.¹⁹

En **Ixtapaluca** la flora silvestre esta formada por quelite, verdolaga, quintonil, nabo, tepozán, manrrublo, entre otros.⁸⁴

Esta zona presenta un clima que pertenece al Subgrupo de climas Semifríos, Semifrío subhúmedo, caracterizado por tener una temperatura media anual menor de 16 °C. La máxima temperatura se registra en los meses de abril y mayo, con un valor de 12 y 13 °C; los meses más fríos son enero y diciembre, ambos con una temperatura que oscila entre 8 y 9 °C.

Este tipo de climas se encuentra asociado a comunidades vegetativas del tipo de bosques y praderas de alta montaña. Es el más húmedo de los Semifríos, con lluvias en verano, una precipitación en el mes seco menor de 40 mm y un porcentaje de lluvia invernal menor de 5. La precipitación media anual es mayor de 800 mm. La mayor incidencia de lluvias se registra en el mes de julio, con un rango que fluctúa entre 200 y 210 mm; la mínima corresponde a febrero, con un valor menor de 10 mm.

Las heladas en los climas templados presentan una frecuencia de 20 a 120 días al año, destacando principalmente el rango de 80 a 100 días. Las granizadas registran una incidencia de 0 a 18 días al año, destacando el rango de 0 a 4 días.⁴⁰

5.1.4.-NETZAHUALCOYOTL.

El municipio de Netzahualcoyotl cuenta con 63.44 Km.² de superficie, la altitud en la cabecera del municipio alcanza 2,240 m.s.n.m. Sus coordenadas geográficas son:

	MINIMA	MAXIMA
LONGITUD	98° 57' 57''	99° 4' 17''
LATITUD	19° 21' 56''	19° 30' 4''

La distribución del uso del suelo se presenta de la siguiente forma:

USO DE SUELO				
SUPERFICIE (ha)	AGRICOLA	URBANO	FORESTAL	OTROS
6 344	00.00	5 293	00.00	1 051
100 %	00.00 %	83.44 %	00.00 %	16.56 %

G.E.M. 1993.

Las cifras y su distribución porcentual reflejan la condición urbana del municipio, no hay tierras dedicadas a actividades agropecuarias o forestales.²⁷

Toda el área ocupada por el municipio, al secarse el lago se fue rellenando con sedimentos y materiales finos arrancados de las montañas del contorno y transportadas por las aguas del escurrimiento.⁴⁰

En este municipio se encuentra un tipo de suelo (Zg-n/3) Solonchak gleyico con una fase sódica de textura fina.³⁷ Tiene alto contenido de sales, además, tiene una capa fina en el subsuelo en la que se estanca el agua de color gris azulosa y al exponerse al aire se mancha de rojo.⁴⁰ El suelo en conjunto es normalmente de color gris a pardo-grisáceo, a menudo con motas. El horizonte superior es un poco más oscuro debido a la coloración que le imparte la materia orgánica y en muchos casos tiene en la superficie una costra delgada de sal.²³

Netzahualcoyotl se encuentra en una zona del grupo de climas secos perteneciente al Subgrupo de climas Secos, y es considerado Semiseco templado.

Este grupo de climas es conocido también como seco estepario; se caracteriza por que la evaporación excede a la precipitación. Las comunidades vegetativas con que está asociado son las xerófilas y los pastizales.

El clima Semiseco templado, presenta lluvias de verano y un porcentaje de precipitación invernal entre 5 y 10.2. La precipitación media anual es de 500 a 600 mm; el rango térmico medio tiene un valor entre 14 y 18 °C.

La máxima incidencia de lluvias se registra en el mes de julio, con un rango entre 110 y 120 mm, y la mínima en febrero con un valor menor de 5 mm.

El mes más cálido es junio, con una temperatura entre 18 y 19 °C. Diciembre es el más frío con una temperatura entre 11 y 12 °C.⁴⁰

6.- HIPOTESIS

Si se conoce el grado de contaminación de las aguas del río "La Compañía" y sus posibles fuentes contaminantes en el transecto de San Rafael a Ciudad Netzahualcoyotl, sera posible proponer alternativas para el mejoramiento de su calidad.

7.- OBJETIVOS

7.1.- OBJETIVO GENERAL

Evaluación del grado de contaminación de las aguas del río "La Compañía" en el transecto del municipio de Tlalmanalco a Ciudad Netzahualcoyotl, de acuerdo a las Normas Oficiales Mexicanas 31, 32, 33 y Criterios Ecológicos de Calidad del Agua establecidos por el INE y SEDUE respectivamente.

7.2.- OBJETIVOS PARTICULARES

Realizar análisis físicos, químicos y biológicos de acuerdo a las Normas Oficiales Mexicanas para evaluar pH, Temperatura, Conductividad Eléctrica, DBO₅, DQO, Grasas y Aceites, Coliformes Totales, Metales Pesados (Cr, Cu, Cd, Fe, Pb, Zn), Sólidos Totales, Sólidos Sedimentables, O.D., Alcalinidad y Acidez, Sustancias Extractables con Cloroformo, Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM).

Comparar los resultados obtenidos con los Límites Máximos Permisibles establecidos en las Normas Oficiales Mexicanas 31, 32, 33 y los Criterios de Calidad, para saber los usos a los que puede ser destinada.

De acuerdo a los resultados obtenidos y el tipo de fuente contaminante, se podrán dar propuestas para eliminar o disminuir la cantidad de contaminantes presentes.

8.- METODO

8.1.- SELECCION DE LOS SITIOS DE MUESTREO.

Se realizó la selección de 6 puntos de muestreo de acuerdo a cambios fuertes de sección, por la influencia del tipo de descarga, localización de los núcleos poblacionales y además por el uso del suelo ya que hay sitios donde se practica la agricultura y se utiliza el agua del río "La Compañía" para riego agrícola.

8.1.1.- San Rafael.

Es el lugar donde nace el río, de los escarmientos y deshielo de las cumbres nevadas del volcán Iztaccihuatl y es considerado como muestra blanco y punto de comparación con respecto a los otros sitios de muestreo, por que no se recibe ningún tipo de descarga y , además es considerado parque nacional.

8.1.2.- Miraflores.

En este sitio de muestreo se localiza un asentamiento poblacional importante con características rurales, el número de Industrias es muy reducido, por lo que el tipo de descarga que se recibe en el río "La Compañía" es de tipo doméstico principalmente.

Estas dos zonas (San Rafael y Miraflores), pertenecientes al municipio de Tlalmanalco, se incluyen dentro de una zona forestal del 65.03%, con una zona urbana que cubre el 3.59%, y una zona agrícola de 18.57% donde los principales cultivos son maíz, frijol, cebada, haba, algunos frutales como la pera, nogal de Castilla, manzana, durazno, capulín y tejocote.

El asentamiento industrial es muy bajo, hasta 1984, se registraron 74 industrias que se dedican a la producción de alimentos, bebidas, tabaco; productos de papel, celulosa, cartón; textiles prendas de vestir e industria de cuero, así como productos metálicos, maquinaria y equipo.

8.1.3.- El Cupido.

Este punto de muestreo se ubica en el municipio de Chalco, donde la agricultura es una de las actividades más importante, el cultivo principal es el maíz, que abarca el 80% de la superficie cosechada, otros cultivos importantes son la cebada, avena y maíz forrajero (en esta zona el área agrícola junto con la forestal cubren el 63.11% del área total).

Existe un número importante de industrias de las que sobresalen las productoras de alimentos, bebidas y tabaco; productos minerales, metálicos, maquinaria y equipo, textiles, industria del cuero, productos de madera, papel y sustancias químicas.

Esta zona posee una red de alcantarillado que solo cubre la tercera parte de la población, la descarga de este drenaje es dirigido a la "Laguna de Xico", por lo cual las descargas al río "La Compañía" no son importantes, sin embargo resulta de gran importancia el hecho de que en la zona norte del municipio las aguas de este río son utilizadas para el riego de los cultivos.

8.1.4.- Tlapacoya y Tlalpizahuac.

Estos sitios de muestreo se encuentran en un área con un núcleo poblacional importante y donde el número de industrias es asentado, por lo que se tienen descargas de aguas mezcladas, de tipo doméstico e industrial. Tlapacoya se sitúa prácticamente en la entrada de este núcleo poblacional y Tlalpizahuac a la salida, esto se hizo con el fin de observar con que calidad llega el agua a esta zona y la carga final con la que sale. Se considera así, la carga de contaminantes que son agregados durante su recorrido en este asentamiento urbano.

En el municipio de Ixtapaluca, donde pertenecen ambos sitios de muestreo, la agricultura se practica en el 26.59 % de la superficie, siendo los cultivos más importantes la avena forrajera, maíz y frijol; las industrias manufactureras más importantes son, de productos minerales no metálicos, petroquímica, refinación, fabricación de materiales de arcilla, textiles, alimentos, bebidas y tabaco; molienda de nixtamal y fabricación de tortillas.

8.1.5.- Netzahualcoyotl.

En esta zona el área urbana cubre el 83.44 % de la superficie total, no existe zona agrícola y el parque industrial es muy importante; el número de descargas de agua residual que aquí se producen se incrementa marcadamente por el incremento de la población y son resultado de una mezcla de tipo industrial y doméstico.

Las industrias manufactureras más importantes son: productos alimenticios, bebidas, tabaco, petroquímica, refinación, hule, maquinaria, metal, corcho, piel, electrónica, cartón, textil, entre otros.

El propósito de monitorear esta zona es, el de saber la cantidad de contaminantes acumulados en el recorrido de 42 Km que tiene este río, atravesando varios municipios del Estado de México, y conocer la calidad de agua que finalmente se incorpora al dren general.

8.2.- MONITOREO A CUERPO RECEPTOR

Para realizar el monitoreo a cuerpo receptor se consideraron las siguientes Normas Oficiales Mexicanas:

NOM-AA-14-1980. "Cuerpos receptores-Muestreo". Esta norma establece los lineamientos generales y recomendaciones para el muestreo en cuerpos receptores de aguas superficiales, excluyendo aguas estuarinas y aguas marinas, con el fin de determinar las características físicas, químicas y bacteriológicas.

NOM-AA-3-1980. "Aguas Residuales-Muestreo". Establece los lineamientos generales y recomendaciones para muestrear las descargas de aguas residuales, con el fin de determinar sus características físicas y químicas.

De lo recomendado por estas normas se cuidaron los siguientes aspectos:

- 1.- Tomar la muestra a una distancia tal, que no se manifestara influencia directa de ninguna descarga.
- 2.- Se cuidó que la distancia fuera la suficiente, como para que los contaminantes se encontraran en una mezcla uniforme en el cuerpo receptor.
- 3.- Se consideró una distancia en la cual el cuerpo receptor haya absorbido el efecto de la descarga, para apreciar el grado de recuperación.

8.3.- ANALISIS DE LAS MUESTRAS

La conservación de las muestras se realizó de acuerdo a lo mencionado en la Norma Oficial Mexicana recomendada para cada método, los análisis de las muestras se realizaron de acuerdo a lo establecido en las siguientes Normas Oficiales Mexicanas (Ver Anexo).

NOM-PA-CCA-031/93

NOM-PA-CCA-032/93

Las Normas anteriormente mencionadas consideran las técnicas analíticas para los parámetros físicos, químicos y biológicos que se establecen en las siguientes Normas Oficiales Mexicanas:

TOMA DE MUESTRA	
NOM-AA-14-1980.	Cuerpos Receptores-Muestreo.
NOM-AA-3-1980.	Aguas Residuales-Muestreo.

PARAMETROS DE CAMPO	
NOM-AA-7	Aguas-Determinación de la Temperatura-Método Visual con Termómetro.
NOM-AA-8	Aguas Determinación de pH-Método Potenciométrico.
NOM-AA-93	Protección al Ambiente-Contaminación del Agua-Determinación de la Conductividad Eléctrica.

PARAMETROS DE LABORATORIO.	
NOM-AA-4-1980.	Determinación de Sólidos Sedimentables en Aguas Residuales. Método del Cono Imhoff.
NOM-AA-5-1980.	Aguas. Determinación de Grasas y Aceites. Método Extracción Soxhlet.
NOM-AA-12-1980.	Aguas. Determinación de Oxígeno Disuelto (OD).Método de Winkler, Azida.
NOM-AA-28-1980.	Aguas. Determinación de Demanda Biológica de Oxígeno (DBO)-Método de Incubación por Dilución.
NOM-AA-30-1980.	Aguas. Determinación de Demanda Química de Oxígeno (DQO). Método de Reflujo del Dicromato.
NOM-AA-34-1980.	Análisis de Agua. Determinación de Residuos.
NOM-AA-36-1980.	Agua. Determinación de Alcalinidad/Acidez. Método Volumétrico.
NOM-AA-39-1980.	Aguas. Determinación de Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM) . Método Colorimétrico del Azul de Metileno.
NOM-AA-42-1980.	Determinación del Número más Probable de Coliformes Totales y Fecales. Método de Tubos Múltiples de Fermentación.
NOM-AA-51-1990.	Análisis de Agua. Determinación de Metales. Método Espectrofotométrico de Absorción Atómica.
NOM-AA-53-1980.	Aguas. Materia Extractable con Cloroformo.

9.- RESULTADOS

Tabla 13. VALORES OBTENIDOS PARA EL PUNTO DE MUESTREO SAN RAFAEL EN EL RIO "LA COMPAÑIA".

PARAMETROS	FECHAS DE MUESTREO						LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES		
	27/10/93	05/11/93	13/12/93	28/04/94	15/05/94	23/08/94	NOM-31	NOM-32	C. E. C.
pH (unidades de pH)	6.60	7.14	7.06	7.0	7.0	7.1	6 a 9	6,5 a 8,5	4.5 a 9.0
Temperatura (°C)	13	12	11	15	16	15	40	N. C.	N. C.
Conductividad Eléctrica (micromhos/cm)	200	133	131	180	190	229	15,000	2,000	1.0 (xx)
Oxígeno Disuelto (mgO ₂ /l)	8.11	8.68	8.40	8.59	8.68	8.93	N. C.	N. C.	N. C.
Alcalinidad (mgCaCO ₃ /l)	52.2	40.00	44.6	38.00	58.8	57.12	N. C.	N. C.	N. C.
Acidez (mgO ₂ /l)	6.42	6.65	9.5	13.63	10.92	8.22	N. C.	N. C.	N. C.
Sólidos Totales (mg/l)	50.55	100.92	240.22	216.66	342.00	97.66	N. C.	N. C.	N. C.
Sólidos Sedimentables (mg/l)	0.04	0.10	0.07	0.01	0.01	0.04	10	N. C.	N. C.
Grasas y Aceites (mg/l)	N. D.	60.00	20.00	99.20	105.80	86.80	140	N. C.	N. C.
Extracción con Cloroformo (mg/l)	N. D.	0.50	0.02	0.04	0.06	0.07	N. C.	N. C.	N. C.
DBO (mgO ₂ /l)	4.09	2.403	1.88	3.840	4.340	2.273	N. C.	N. C.	N. C.
DQO (mg/l)	32.512	42.07	40.64	59.10	45.06	38.00	N. C.	N. C.	N. C.
Detergentes-SAAM-(mg/l)	0.1	0.1	0.1	0.2	0.5	0.4	60	N. C.	N. C.
Coliformes Fecales (NMP/100 ml)	0.0	0.0	0.0	70	70	0.0	N. C.	N. C.	1000.0

NOM 31, NOM-CCA-031-ECOL/93, NOM-32, NOM-CCA-032-ECOL/93, C. E. C, Criterios Ecológicos de Calidad, N. D, No Detectado, N. C, No Considerado. * Parámetro Fuera de Norma

Tabla 13. (Continuación). VALORES DE METALES PESADOS EN SAN RAFAEL EN EL RIO "LA COMPAÑIA".

METALES PESADOS	FECHAS DE MUESTREO						LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES		
	27/10/93	05/11/93	13/12/93	28/04/94	25/05/94	23/08/94	NOM-31	NOM-32	C. E. C.
Cd (mg/l)	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	1.0	0.01	0.01
Cu (mg/l)	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	10	0.20	0.20
Cr (mg/l)	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	5.0	0.01	1.0
Fe (mg/l)	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	N. C.	5.0	5.0
Pb (mg/l)	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	2.0	0.50	5.0
Zn (mg/l)	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	12	2.0	2.0

NOM-31, NOM-CCA-031-ECOL/93, NOM-32, NOM-CCA-032-ECOL/93, C. E. C. Criterios Ecológicos de Calidad, N. D.: No Detectado, N. C.: No Considerado, * Parámetro Fuera de Norma

Tabla 14. VALORES OBTENIDOS PARA EL PUNTO DE MUESTREO MIRAFLORES EN EL RIO "LA COMPAÑIA".

PARAMETROS	FECHAS DE MUESTREO						LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES		
	27/10/93	05/11/93	13/12/93	28/04/94	25/05/95	23/08/94	NOM-31	NOM-32	C. E. C.
pH (unidades de pH)	7.24	7.24	7.12	7.20	7.20	7.8	6 a 9	6,5 a 8,5	4.5 A 9.0
Temperatura (°C)	19	18	17	20	22	23	40	N. C.	N. C.
Conductividad Eléctrica (micromhoms/cm)	590	593	680	740	860	980	15,000	2,000	1.0 (xx)
Oxígeno Disuelto (mgO ₂ /l)	4.46	1.35	1.88	N. D.	N. D.	N. D.	N. C.	N. C.	N. C.
Alcalinidad (mgCaCO ₃ /l)	231.28	235.6	199.92	233.30	267.30	308.60	N. C.	N. C.	N. C.
Acidez (mgCaCO ₃ /l)	9.17	19.45	20.10	65.33	72.85	25.38	N. C.	N. C.	N. C.
Sólidos Totales (mg/l)	507.12	518.00	555.15	764.66	758.66	1366.00	N. C.	N. C.	N. C.
Sólidos Sedimentables (mg/l)	2.4	3.8	3.3	4.5	4.0	1.5	10	N. C.	N. C.
Grasas y Aceites (mg/l)				119.4	124.4	213.8	140	N. C.	N. C.
Extracción con Cloroformo (mg/l)	3.00	5.30	5.0	1.43	1.55	2.48	N. C.	N. C.	N. C.
DBO (mgO ₂ /l)	41.1	19.23	47.98	40.73	44.09	59.11	N. C.	N. C.	N. C.
DQO (mg/l)	272.28	112.48	223.52	671.96	600.92	772.48	N. C.	N. C.	N. C.
Detergentes-SAAM-(mg/l)	1.73	1.73	1.54	1.93	1.73	2.13	60	N. C.	N. C.
Coliformes Fecales (NMP 100/ml)	0.0	0.0	0.0				N. C.	N. C.	1000.0

NOM-31: NOM-CCA-031-ECOL/93, NOM-32: NOM-CCA-032-ECOL/93, C. E. C.: Criterios Ecológicos de Calidad, N. D.: No Detectado, N. C.: No Considerado, * Parámetro Fuera de Norma

Tabla 14 (Continuación). VALORES DE METALES PESADOS EN MIRAFLORES EN EL RIO "LA COMPAÑIA".

METALES PESADOS	FECHAS DE MUESTREO						LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES		
	27/10/93	05/11/93	13/12/93	28/04/94	25/05/94	23/08/94	NOM-31	NOM-32	C. E. C.
Cd (mg/L)	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	1.0	0.01	0.01
Cu (mg/L)	N. D.			0.023	0.035	0.107	10	0.20	0.20
Cr (mg/L)	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	5.0	0.01	1.0
Fe (mg/L)	0.202			*	3.9	1.07	N. C.	5.0	5.0
Pb (mg/L)	0.012	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	2.0	0.50	5.0
Zn (mg/L)	1.0		0.08	0.45	0.16	0.20	12	2.0	2.0

NOM-31, NOM-CCA-431-ECOL/93, NOM-32, NOM-CCA-432-ECOL/93, C. E. C. Criterios Ecológicos de Calidad, N. D.: No Detectado, N. C.: No Considerado, * Parámetro Fuera de Norma.

Tabla 15. VALORES OBTENIDOS PARA EL PUNTO DE MUESTREO CUPIDO EN EL RIO "LA COMPAÑIA".

PARAMETROS	FECHAS DE MUESTREO						LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES		
	27/10/93	05/11/93	13/12/93	28/04/94	25/05/94	23/08/94	NOM-31	NOM-32	C. E. C.
pH (unidades de pH)	7.4	7.5	7.6	7.4	7.5	7.5	6 a 9	6.5 a 8.5	4.5 A 9.0
Temperatura (°C)	20	19	18	26	24	22	40	N. C.	N. C.
Conductividad Eléctrica (micromhos/cm)	720	840	920	960	1000	1046	15.000	2.000	1.0 (xx)
Oxígeno disuelto (mg O ₂ /l)	2.43	0.58	0.75	N. D.	N. D.	N. D.	N. C.	N. C.	N. C.
Alcalinidad (mg CaCO ₃ /l)	219.52	173.18	246.87	160.00	238.3	284.6	N. C.	N. C.	N. C.
Acidez (mg CaCO ₃ /l)	11.92	22.80	38.00	55.93	58.17	17.15	N. C.	N. C.	N. C.
Sólidos Totales (mg/l)	542.00	530.23	500.00	430.00	529.33	726.00	N. C.	N. C.	N. C.
Sólidos Sedimentables (mg/l)	1.2	4.4	1.9	1.6	1.0	3.0	10	N. C.	N. C.
Grasas y Aceites (mg/l)							140	N. C.	N. C.
Extracción con Cloroformo (mg/l)	2.80	5.25	5.10	2.50	2.66	2.68	N. C.	N. C.	N. C.
DBO (mg O ₂ /l)	32.7	19.23	83.7	81.18	82.46	81.85	N. C.	N. C.	N. C.
DQO (mg/l)	188.99	197.10	282.5	647.68	663.23	672.2	N. C.	N. C.	N. C.
Detergentos-SAAM- (mg/l)	2.93	3.01	1.42	2.57	1.9	1.14	60	N. C.	N. C.
Coliformos Focales (NMP/100 ml)							N. C.	N. C.	1000.0

NOM-31, NOM-CCA-631-ECOL/93, NOM-32, NOM-CCA-032-ECOL/93, C. E. C. Criterios Ecológicos de Calidad, N. D: No Detectado, N. C: No Considerado, * Parámetro Fuera de Norma

Tabla 15 (Continuación). VALORES DE METALES PESADOS EL PUNTO DE MUESTREO CUPIDO EN EL RIO "LA COMPAÑIA".

METALES PESADOS	FECHAS DE MUESTREO						LIMITES MÁXIMOS PERMISIBLES		
	27/10/93	05/11/93	13/12/93	28/04/94	25/05/94	23/08/94	NOM-31	NOM-32	C. E. C.
Cd (mg/l)	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	1.0	0.01	0.01
Cu (mg/l)	N. D.			0.178	0.089	0.178	10	0.20	0.20
Cr (mg/l)	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	5.0	0.01	1.0
Fe (mg/l)	0.20				4.20	1.98	N. C.	5.0	5.0
Pb (mg/l)	0.0126	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	2.0	0.50	5.0
Zn (mg/l)	1.0	0.170	0.105	0.611	0.364	0.470	12	2.0	2.0

NOM-31, NOM-CCA-431-ECOL/93, NOM-32, NOM-CCA-432-ECOL/93, C. E. C. Criterios Ecológicos de Calidad, N. D.: No Detectado, N. C.: No Considerado, * Parámetro Fuera de Norma

Tabla 16. VALORES OBTENIDOS PARA EL PUNTO DE MUESTREO TLAPACOYA EN EL RIO "LA COMPAÑIA".

PARAMETROS	FECHAS DE MUESTREO						LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES		
	27/10/93	05/11/93	13/12/93	28/04/94	25/05/94	23/08/94	NOM-31	NOM-32	C. E. C.
pH (unidades de pH)	7.27	7.47	7.54	7.60	7.80	7.60	6 a 9	6.5 a 8.5	4.5 A 9.0
Temperatura (°C)	26	23	22	23	22	23	40	N. C.	N. C.
Conductividad Eléctrica (microhoms/cm)							15.000	2.000	1.0 (xxx)
Oxígeno Disuelto (mgO ₂ /l)	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	N. C.	N. C.	N. C.
Alcalinidad (mgCaCO ₃ /l)	1505.28	1017.96	1273.98	1000.02	1190.00	1491.3	N. C.	N. C.	N. C.
Acidez (mgCaCO ₃ /l)	30.27	59.85	167.20	30.43	134.30	67.32	N. C.	N. C.	N. C.
Sólidos Totales (mg/l)	2372.00	1402.16	2150.00	1990.02	1992.66	1696.66	N. C.	N. C.	N. C.
Sólidos Sedimentables (mg/l)	1.8	3.1	3.1	2.0	1.4	1.4	10	N. C.	N. C.
Grasas y Aceites (mg/l)					139.2		140	N. C.	N. C.
Extracción Con Cloroformo (mg/l)	0.50	0.153	0.29	0.59	0.80	0.77	N. C.	N. C.	N. C.
DBO (mgO ₂ /l)	65.5	37.6	15.5	142.53	288.14	167.46	N. C.	N. C.	N. C.
DQO (mg/l)	536.00	420.62	658.6	663.87	609.16	305.76	N. C.	N. C.	N. C.
Detergentes-SAAM-(mg/l)	7.15	3.06	1.55	4.00	6.00	0.160	60	N. C.	N. C.
Coliformes Fecales (NMP100/ml)	40	40					N. C.	N. C.	1000.0

NOM-31, NOM-CCA-031-ECOL/93, NOM-32, NOM-CCA-032-ECOL/93, C. E. C. Criterios Ecológicos de Calidad., N. D.: No Detectado, N. C.: No Considera *Parametro Fuera de Norma

Tabla 16 (Continuación). VALORES DE METALES PESADOS EN TLAPACOYA EN EL RIO "LA COMPAÑIA".

METALES PESADOS	FECHAS DE MUESTREO						LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES		
	27/10/93	05/11/93	13/12/93	28/04/94	25/05/94	23/08/94	NOM-31-	NOM-32-	C. E. C.
Cd (mg/l)	N. D.	N. D.	N. D.	2.142	2.022	0.022	1.0	0.01	0.01
Cu (mg/l)				0.143			10	0.20	1.20
Cr (mg/l)	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	5.0	0.01	1.0
Fe (mg/l)	0.054					3.84	N. C.	5.0	5.0
Pb (mg/l)	0.0158	N. D.	N. D.	0.357	0.0714	N. D.	2.0	0.50	5.0
Zn (mg/l)	1.0	0.259	0.253	1.282	0.529	0.141	12	2.0	2.0

NOM-31, NOM-CCA-831-ECOL/93, NOM-32, NOM-CCA-832-ECOL/93, C. E. C. Criterios Ecológicos de Calidad., N. D.: No Detectado, N. C. No Considerado, * Parámetro Fuera de Norma

Tabla 17. VALORES OBTENIDOS PARA EL PUNTO DE MUESTREO TALPIZAHUAC EN EL RIO "LA COMPAÑIA".

PARAMETROS	FECHAS DE MUESTREO						LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES		
	27/10/93	05/11/93	13/12/93	28/04/94	25/05/94	23/08/94	NOM-31	NOM-32	C. E. C.
pH (unidades de pH)	8.43	8.16	8.21	8.00	8.3	8.5	6 a 9	6.5 a 8.5	4.5 A 9.0
Temperatura (°C)	23	21	20	21	24	21	40	N. C.	N. C.
Conductividad Eléctrica (microhoms/cm)							15.000	2.000	1.0 (xxx)
Oxígeno Disuelto (mgO ₂ /l)	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	N. C.	N. C.	N. C.
Alcalinidad (mgCaCO ₃ /l)	1617.00	1004.70	1183.20	1014.5	1435.3	1000.00	N. C.	N. C.	N. C.
Acidez (mgCaCO ₃ /l)	21.10	53.20	98.80	27.37	21.03	89.3	N. C.	N. C.	N. C.
Sólidos Totales (mg/l)	2230.66	2220.12	1744.16	1745.33	1870.0	2437.66	N. C.	N. C.	N. C.
Sólidos Sedimentables (mg/l)	1.30	2.00	1.30	1.70	1.70	1.0	10	N. C.	N. C.
Grasas y Aceites (mg/l)		120.00	100.00			80.0	140	N. C.	N. C.
Extracción con Cloroformo (mg/l)	5.70	1.44	1.60	1.42	1.52	1.36	N. C.	N. C.	N. C.
DBO (mgO ₂ /l)	57.20	15.40	56.4	216.09	246.930	119.14	N. C.	N. C.	N. C.
DQO (mg/l)	363.56	406.40	712.10	801.50	798.16	349.26	N. C.	N. C.	N. C.
Detergentes-SAAM (mg/l)	5.00	3.03	1.00	4.88	20.4	27.55	60	N. C.	N. C.
Coliformes Fecales (NMP/100ml)	40	40					N. C.	N. C.	1000.0

NOM-31. NOM-CCA-031-ECOL/93. NOM-32. NOM-CCA-032-ECOL/93. C. E. C. Criterios Ecológicos de Calidad.. N. D: No Detectado.
N. C. No Considerado. * Parámetro Fuera de Norma

Tabla 17 (Continuación). VALORES DE METALES PESADOS EN TLALPIZAHUAC EN EL RIO "LA COMPAÑIA".

PARAMETROS	FECHAS DE MUESTREO						LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES		
	27/10/93	05/11/93	13/12/93	28/04/94	25/05/94	23/08/94	NOM-31	NOM-32	C. E. C.
Cd (mg/l)	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	1.0	0.01	0.01
Cu (mg/l)					0.160		10	0.20	0.20
Cr (mg/l)	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	5.0	0.01	1.0
Fe (mg/l)	0.054					*3.54	N. C.	5.0	5.0
Pb (mg/l)	0.0221	N. D.	N. D.	0.285	0.071	N. D.	2.0	0.50	5.0
Zn (mg/l)	1.3	0.194	0.165	0.402	0.452	0.105	12	2.0	2.0

NOM-31, NOM-CCA-031-ECOL/93, NOM-31, NOM-CCA-032-ECOL/93, C. E. C. Criterios Ecológicos de Calidad., N. D.: No Detectado, N. C.: No Considerado, * Parametro Fuera de Norma

Tabla 18. VALORES OBTENIDOS PARA EL PUNTO DE MUESTREO NETZAHUALCOYOTL EN EL RIO "LA COMPAÑA".

PARAMETROS	FECHAS DE MUESTREO						LIMITES MAXIMOS FERMISIBLES		
	27/10/93	05/11/93	13/12/93	28/04/94	25/05/94	23/08/94	NOM-31	NOM-32	C. E. C.
pH	7.76	7.64	7.76	7.80	8.10	8.10	6 a 9	6.5 a 8.5	4.5 a 9.0
Temperatura (°C)	24	24	23	24	25	22	40	N. C.	N. C.
Conductividad Eléctrica (microhoms/cm)							15.000	2.000	1.0 (xx)
Oxígeno Disuelto (mgO ₂ /l)	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	N. C.	N. C.	N. C.
Alcalinidad (mgCaCO ₃ /l)	399.1	679.20	750.20	682.60	872.78	883.32	N. C.	N. C.	N. C.
Acidez (mgCaCO ₃ /l)	42.75	33.15	21.90	31.25	16.51	43.70	N. C.	N. C.	N. C.
Sólidos Totales (mg/l)	1950.16	1222.20	1940.14	1794.66	1940.00	1811.44	N. C.	N. C.	N. C.
Sólidos Solubles (mg/l)	2.2	2.1	2.4	2.5	2.0	1.8	10	N. C.	N. C.
Grasas y Aceites (mg/l)						116.2	140	N. C.	N. C.
Extracción con Cloroformo (mg/l)	3.70	8.85	5.00	3.90	4.50	2.92	N. C.	N. C.	N. C.
DBO (mgO ₂ /l)	81.9	230.4	243.7	304.49	142.18	144.48	N. C.	N. C.	N. C.
DQO (mg/l)	585.00	591.31	593.6	648.30	232.16	249.52	N. C.	N. C.	N. C.
Detergentes (SAAM)- (mg/l)	3.09	3.19	13.55	6.22	22.4	57.77	60	N. C.	N. C.
Coliformes Fecales (NMP/100 ml)	640	640					N. C.	N. C.	1000.0

NOM-31, NOM-CCA-431-ECOL/93, NOM-32, NOM-CCA-432-ECOL/93, C. E. C. Criterios Ecológicos de Calidad., N. D.: No Detectado, N. C.: No considerado, * Parámetro Fuera de Norma

Tabla 18 (Continuación). VALORES DE METALES PESADOS EN NETZAHUALCOYOTL EN EL RIO "LA COMPAÑIA".

PARAMETROS	FECHAS DE MUESTREO						LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES		
	27/10/93	05/11/93	13/12/93	28/04/94	25/05/94	23/08/94	NOM-31	NOM-32	C. E. C.
Cd (mg/l)		N. D.	N. D.		0.011	0.011	1.0	0.01	0.01
Cu (mg/l)							10	0.20	0.20
Cr (mg/l)	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	5.0	0.01	1.0
Fe (mg/l)	0.1618						N. C.	5.0	5.0
Pb (mg/l)	0.22	N. D.	N. D.	0.214	0.143	N. D.	2.0	0.50	5.0
Zn (mg/l)	1.3	0.341	0.465	0.573	0.618	0.352	12	2.0	2.0

NOM-31, NOM-CCA-431-ECOL/93, NOM-32, NOM-CCA-432-ECOL/93, C. E. C. Criterios Ecológicos de Calidad., N. D.: No Detectado, N. C.: No Considerado, * Parámetro Fuera de Norma.

10.- DISCUSION Y ANALISIS DE RESULTADOS.

10.1.- EVALUACION DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RIO "LA COMPAÑIA" DE ACUERDO A LOS CRITERIOS DE CALIDAD Y A LAS NOM-PA-CCA-031/93 (NOM-031) Y NOM-PA-CCA-032/93 (NOM-032).

10.1.1.- TEMPERATURA (Gráfica 1).

La gráfica 1 muestra las variaciones de temperatura para las 6 estaciones de monitoreo. Se observa que en la estación 1, lugar donde nace el río, se presentaron temperaturas por debajo de los 16 °C y conforme se avanza a lo largo del río asciende ligeramente, encontrando en la estación 6 una temperatura máxima de 25 °C, en ninguna ocasión los valores de temperatura rebasaron los Límites Máximos Permisibles (LMP).

Las bajas temperaturas que se presentan en la estación 1, se deben a que esta corriente surge del deshielo, la cual al avanzar en su recorrido sufre un ascenso en la temperatura debido a la dinámica del mismo cuerpo de agua.

Se considera importante la determinación de este parámetro por que influye en las propiedades físicas, químicas y biológicas del río, como pueden ser las estratificaciones térmicas, disminución de la solubilidad de los gases en el agua, aceleración de reacciones químicas y puede afectar la tolerancia de los microorganismos acelerando o disminuyendo su metabolismo.^{85,88}

10.1.2.- pH, ALCALINIDAD Y ACIDEZ (Gráficas 2, 3 y 4).

En la gráfica 2 se presentan los valores de pH, se observa que en la estación 1 los valores se encuentran próximos a la neutralidad, en la estación 2 se observa un ligero ascenso con un promedio de 7.2, sin alejarse de la neutralidad, pero de la estación 3 a la estación 6 el ascenso en el pH resulta más acentuado, especialmente en la quinta estación, donde los valores son claramente alcalinos con valores por arriba de 8, llegando a igualar en una ocasión el LMP de la NOM-32 con un pH de 8.5.

Los valores más altos de pH se encontraron en la época seca para la estación 4, 5 y 6 donde la escorrentía ya no logra un efecto de dilución en el río, pero aún así los valores obtenidos no rebasan los LMP.

La acidez y alcalinidad no son consideradas en las NOM, pero es importante evaluar estos parámetros por que se miden en la escala de pH; además, reflejan la

capacidad de amortiguamiento que tiene una corriente de agua para soportar cambios bruscos de pH.⁸⁶

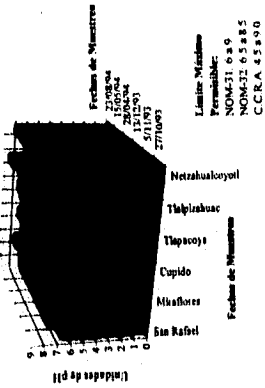
Los valores de alcalinidad y acidez obtenidos (gráfica 3 y 4), se comportan de manera ascendente conforme se avanza en el recorrido del río, siendo la alcalinidad la que presenta los valores más altos, notándose un incremento considerable en la estación 5 con valores de 1,617 mg CaCO₃/l, también se encontraron valores de pH superiores a 8, estos resultados reflejan que todos los valores de alcalinidad se correlacionan con el pH, ya que a mayor pH se encuentra una mayor alcalinidad, y la tendencia marcadamente alcalina de los resultados obtenidos sugieren que la capacidad amortiguadora del agua se está perdiendo.

El incremento paulatino de estos 3 parámetros, aguas abajo del río "La Compañía", se debe a las múltiples descargas de agua residual que recibe, tanto domésticas como industriales, éste efecto se ve más claramente conforme el río avanza en su recorrido de la estación 4 a la estación 6 donde el número de pobladores se incrementa al igual que el número de industrias, en especial las relacionadas con la producción de alimentos que utilizan saborizantes y estabilizadores.

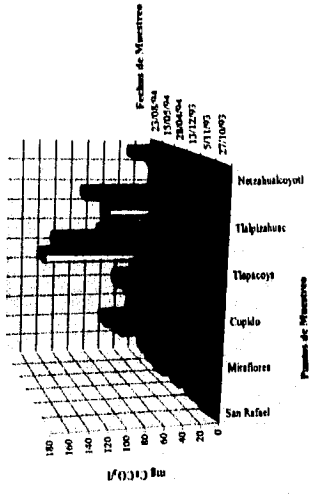
En la estación 5, particularmente, existen descargas de industrias jaboneras, estas se caracterizan por ser alcalinas, ocasionando que el pH y la Alcalinidad se incrementen, existiendo un pico en los resultados obtenidos. Al salir de Tlalpizahuac el río continúa un recorrido de aproximadamente 12 Km, distancia en la que las sales que contribuyen al incremento de estos parámetros reaccionan con otros elementos que forman compuestos menos solubles y precipitan, pasando a formar parte de los sedimentos, por eso se observa que en la estación 6 estos parámetros descienden ligeramente, quedando el pH por abajo de 8.

Los tres parámetros analizados deben ser vigilados, debido a que en la estación 3 el río es utilizado en el riego agrícola, y en menor proporción en las estaciones 4 y 5; la importancia de vigilar el pH se debe a que su variación determina la disponibilidad de los nutrientes, afectando los mecanismos de adsorción y la especiación de los metales en el suelo.² De igual manera debe vigilarse la alcalinidad y la acidez por reflejar, de cierta forma, la cantidad de sales que se incorporan con el riego a las zonas de cultivo y que pueden afectar propiedades del suelo.

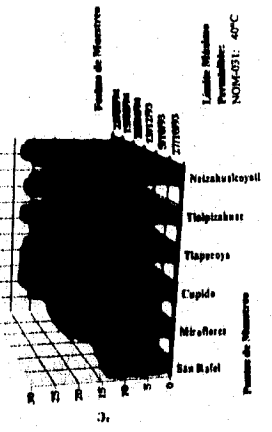
Gráfica 2. Valores de pH obtenidos en las 6 estaciones de monitoreo en el Río "La Compañía"



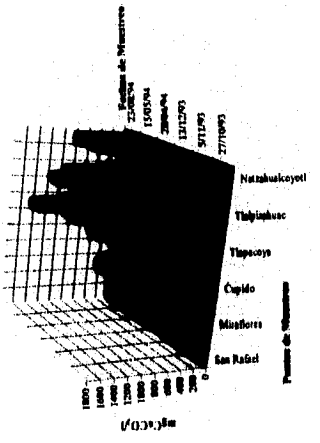
Gráfica 4. Valores de Acidez obtenidos en las 6 estaciones de monitoreo en el Río "La Compañía"



Gráfica 3. Valores de Temperatura obtenidos en las 6 estaciones de monitoreo en el Río "La Compañía"



Gráfica 5. Valores de Alkalinidad obtenidos en las 6 estaciones de monitoreo en el Río "La Compañía"



10.1.3.- CONDUCTIVIDAD ELECTRICA, SOLIDOS TOTALES Y SOLIDOS SEDIMENTABLES (Gráficas 5, 6 y 7).

En la gráfica 5 se presentan los valores de Conductividad Eléctrica (C.E.) donde se tiene que las estaciones 1, 2 y 3 presentan valores bajos, sin embargo, en las estaciones 4, 5 y 6, los valores se incrementan notoriamente, al grado de rebasar los LMP establecidos por la NOM-032, que es de 2000 microhoms/cm; los valores más altos se registraron en la estación 5 con un valor máximo de 7,760 microhoms/cm.

La C.E. del agua depende en gran parte de la cantidad de sólidos presentes, en particular los sólidos disueltos, de forma que cuanto mayor sea el contenido de sólidos mayor será la conductividad eléctrica.⁸

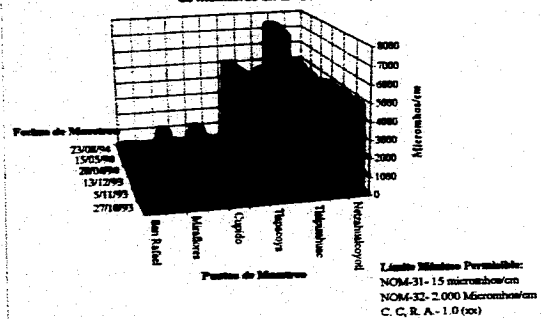
Los sólidos disueltos no fueron determinados, pero la alcalinidad y la acidez (gráfica 3 y 4) muestran la cantidad de sales disueltas que se encuentran en cada estación de monitoreo. De esta forma, en las estaciones donde se presentan valores altos de Alcalinidad y Acidez también se tienen valores altos de C.E.

La concentración de Sólidos Totales (gráfica 5) y Sólidos Sedimentables (gráfica 6), respaldan en gran parte estos resultados, ya que, la baja concentración de Sólidos Totales encontrados en la primera estación corresponden a valores bajos de C.E., mientras que en las siguientes estaciones 4, 5 y 6 se presentaron valores bajos de sólidos sedimentables en un rango promedio 1.83 mg/l, y valores muy altos de sólidos totales que en promedio fue de 1900 mg/l, esta diferencia tan grande relaciona una gran existencia de sólidos disueltos, que favorecen altos valores de C.E.

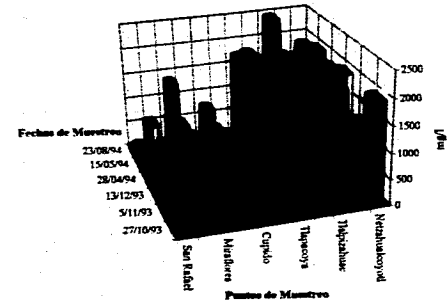
Los Sólidos Sedimentables, considerados únicamente en la NOM-031, presentan en todas las estaciones, concentraciones que no rebasan los LMP. En la estación 2 se encontraron los valores más altos, por las descargas de agua domiciliarias y residuos sólidos que recibe directamente el río, los efectos de estas descargas se reflejan en la estación 3 donde la concentración de sólidos decrece ligeramente en comparación con la estación anterior.

La baja concentración de Sólidos Sedimentables y alta concentración de sólidos totales, denota que en las últimas 3 estaciones existe mayor cantidad de Sólidos disueltos, cuyo origen puede ser la descarga de aguas residuales industriales, más que las de origen doméstico. La presencia de sólidos debe cuidarse en especial en las estaciones 1 y 2, ya que además de los sólidos evaluados existe la presencia de sólidos flotantes que muchas veces se estancan en las orillas reteniendo otro tipo de sólidos y materia orgánica, obstruyendo y reduciendo el cauce del río, o existen sólidos de gran tamaño que se depositan en el fondo y ejercen el mismo efecto.

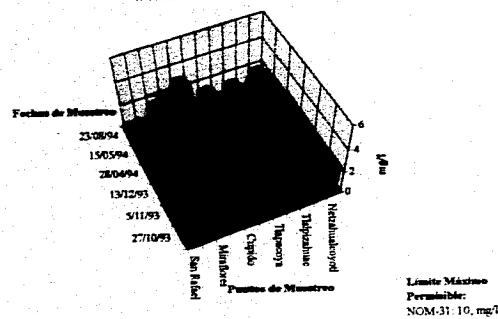
Gráfica 5. Valores de Conductividad Eléctrica obtenidos en las 6 estaciones de monitoreo en el Río "La Compañía"



Gráfica 6. Valores de Sólidos Totales obtenidos en las 6 estaciones de monitoreo en el Río "La Compañía"



Gráfica 7. Valores de Sólidos Sedimentables obtenidos en las 6 estaciones de monitoreo en el Río "La Compañía"



10.1.4.- OXIGENO DISUELTO (O.D.), EXTRACCIÓN CON CLOROFORMO, GRASAS Y ACEITES (Gráficas 8, 9 y 10).

La determinación de **Oxígeno Disuelto** es importante en el control de la calidad del agua, ya que el efecto de una descarga de desechos en un río determina principalmente el balance de oxígeno en el sistema,⁹⁰ generalmente una masa de agua se considera contaminada cuando la concentración de O.D. desciende del nivel necesario para mantener una biota normal, aproximadamente 4-5 ppm.⁸⁶

La gráfica 8 refleja el comportamiento de la concentración de oxígeno, el cual presenta una tendencia a disminuir al avanzar en el transecto, de la estación 1 a la estación 6. La estación 1 presentó una concentración promedio de O.D. de 8.56 ppm, concentración muy cercana a la saturación, que se reporta de 9.1 ppm a nivel del mar,⁸⁶ con una marcada tendencia a disminuir en las siguientes estaciones.

En las estaciones 2 y 3 se observan concentraciones promedio de 2 ppm en la época fría y en la época cálida el oxígeno desaparece por completo, este comportamiento se debe a que el ligero incremento de temperatura favorece los procesos de degradación, abatiendo el escaso oxígeno existente, además en esta época la disminución de la corriente da lugar a una concentración de contaminantes que demandan oxígeno para su degradación, que en su mayor parte son residuos orgánicos provenientes de descargas domésticas (grasas, aceites, carbohidratos, proteínas, entre otros).⁴⁶

En los sitios 4, 5 y 6 la concentración de oxígeno se abate completamente tanto en la época seca como en la época fría, debido a la presencia de una alta carga orgánica, que requiere para su degradación grandes cantidades de oxígeno que utilizan las bacterias en su metabolismo y en reacciones oxidativas.

Ante una elevada carga de residuos, los procesos anaerobios sustituyen a los aerobios, que dan origen a sustancias inestables tales como ácidos orgánicos, alcoholes, cetonas, metano, sulfuro de hidrógeno, etc., obteniéndose una corriente maloliente, que se considera totalmente contaminada.²⁶

Algunas sustancias que consumen oxígeno y que provocan su deficiencia, son las sustancias extractables con cloroformo, grasas y aceites, que provienen principalmente de los alimentos y son un constituyente importante de las descargas domésticas, la mayoría son compuestos orgánicos estables constituidos por C, O e H, que requieren gran cantidad de oxígeno para su degradación, además resultan ser sustancias muy estables que entorpecen la transferencia de oxígeno a través de la interfase aire-agua y llegan a incorporarse a partículas sólidas que son depositadas en el fondo del río para constituir parte de los sedimentos.⁴⁶

La presencia de **Sustancias Extractables con Cloroformo**, contribuyen a eliminar prontamente el O.D., fenómeno prevaleciente en la corriente del río "La Compañía". En los sitios de muestreo con baja concentración de oxígeno se encontraron niveles altos de sustancias extractables con cloroformo, aceites y grasas.

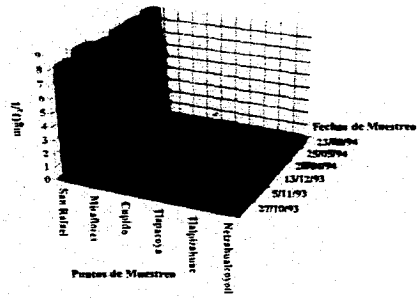
En las estaciones 2, 3 y 6 se presentaron los valores más altos de sustancias extractables con cloroformo, los cuales rebasan los LMP de los C.C. para agua potable (para riego agrícola no son considerados). En las estaciones 2 y 3 la presencia de estas sustancias se debe principalmente a que es una zona agrícola en la cual se aplican plaguicidas; la técnica de extracción con cloroformo no es una medida exacta de estas sustancias pero puede usarse para casos de comparación.⁷⁴

En la estación 1, en los meses más secos se encontraron concentraciones de **grasas y aceites**, pero no rebasaron los LMP de la NOM-031 y los niveles máximos considerados por los C.C. para agua potable (gráfica 9). La presencia de grasas se debe a que antes del punto de muestreo, se encuentra una planta de bombeo que es la que suministra el agua potable a la comunidad de Tlalmanalco.

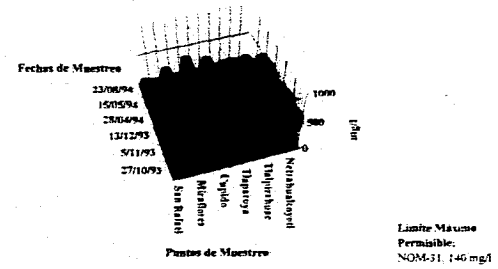
En las estaciones 2, 3, 4, 5 y 6 las grasas y aceites también se encuentran rebasando los LMP de la NOM-031, encontrando los máximos valores para las estaciones 4, 5 y 6, que es donde el curso del río se hace más lento reduciendo la aireación por turbulencia lo que favorece su acumulación y agota el O.D. existente.

Los parámetros anteriormente citados deben ser vigilados, especialmente en las estaciones 2 y 3, donde el agua del río se usa en los cultivos; los nutrientes proporcionados por las descargas domésticas pueden beneficiar a las cultivos, pero, la presencia en exceso de las grasas y aceites en estas aguas puede afectar la respiración de las raíces y de los organismos del suelo, por que la eficiencia del intercambio de gas se entorpece al reducirse el espacio poroso, lo cual trae como consecuencia una reducción en la provisión de agua y oxígeno²⁵ para el crecimiento de las plantas, provocando un crecimiento limitado en la raíz⁴³ y modificación en su estructura.

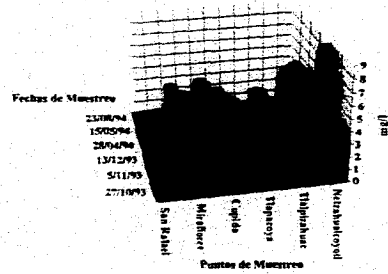
Grafica 8. Valores de Oxígeno Disuelto obtenidos en las 6 estaciones de monitoreo en el Río "La Compañía"



Grafica 9. Valores de Grasas y Aceites obtenidos en las 6 estaciones de monitoreo en el Río "La Compañía"



Grafica 10. Valores de Sustancias Extractables con Cloroformo obtenidos en las 6 estaciones de monitoreo en el Río "La Compañía"



10.1.5.- SUSTANCIAS ACTIVAS AL AZUL DE METILENO (SAAM), DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO (D.B.O.) Y DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO (D.Q.O.) (Gráficas 11, 12 y 13).

Los resultados de SAAM se presentan en la gráfica 11, esta prueba no es específica para determinar sustancias tensoactivas, por que interfieren todos los compuestos solubles en cloroformo, capaces de formar una unión con el átomo de nitrógeno del azul de Metileno (sulfonatos, sulfatos orgánicos, carboxilatos, fosfatos y fenoles),⁶⁰ pero aún sin ser una prueba específica, representa de cierta forma la cantidad de detergentes presentes en la corriente, en especial los aniónicos.⁷⁴

Las sustancias tensoactivas incorporadas a la corriente del río "La Compañía", son aportadas principalmente por las descargas de agua residual doméstica y en menor proporción por las descargas industriales; también puede existir la formación de jabones por la presencia de grasas y sales alcalinas en el agua; si se observa en las gráficas 9 y 3 estos compuestos se encuentran en gran cantidad en las estaciones 4, 5 y 6. Las grasas en presencia de sales alcalinas forman glicerinas y ácidos grasos, que al reaccionar con los álcalis forman sales alcalinas de los ácidos grasos, conocidas como jabones; estas sustancias formadas contribuyen en gran parte al problema de la formación de espuma, en particular en la estación 3, 4 y 5, mismas que impiden el contacto aire-agua y por lo tanto no hay una buena oxigenación, en consecuencia facilita la disolución de sustancias que anteriormente no eran muy solubles, de esta forma se aumenta la sensibilidad del cuerpo receptor a ser contaminado.³²

En la estación 1, se encontró un valor de 0.5, valor establecido como máximo en los C.C. para agua potable, éste valor se presentó cuando existió mayor aporte de grasas y aceites las cuales pudieron contribuir al incremento de la determinación.

Las concentraciones de SAAM encontradas en las estaciones 1, 2, 3, 4 y 5 no rebasan el LMP establecido en la NOM-031, en la estación 6 sólo una ocasión se registró un valor por arriba del límite, que fue de 57.7 mg/l en Agosto época de lluvia; en el mismo mes pero en la estación 5 se obtuvo un valor de 27.55 mg/l muy cercano al LMP de la NOM-031 que es de 60 mg/l, en estos casos la lluvia favoreció la presencia de valores elevados ya que la corriente se enturbia por los escurrimientos y remoción de los sedimentos donde son depositados, a pesar de que se evitó este tipo de circunstancias.

La DQO y la DBO no tienen LMP establecido, son consideradas como condiciones particulares de descarga, en este estudio son evaluados por ser indicadores del grado de contaminación de un cuerpo de agua.

Las aguas superficiales limpias normalmente están saturadas con Oxígeno Disuelto (O.D.), pero el requerimiento por los desechos orgánicos puede consumirlo rápidamente.

En las estaciones 4, 5 y 6 se observa claramente que existió una mayor cantidad de carga orgánica (gráfica 9) y también se presentó una menor concentración de oxígeno (gráfica 8), toda la materia orgánica incorporada al curso del río por las numerosas descargas, necesita para su degradación, el oxígeno disuelto en la corriente, que de acuerdo a los resultados obtenidos de D.Q.O. y D.B.O. no resulta suficiente en estos sitios de monitoreo.

En estas tres estaciones la materia orgánica que ingresa al cuerpo receptor se estabiliza lentamente, debido a que la corriente de agua se desoxigena con rapidez y no hay fuente de oxígeno que lo reemplace, dando lugar a condiciones anaerobias.

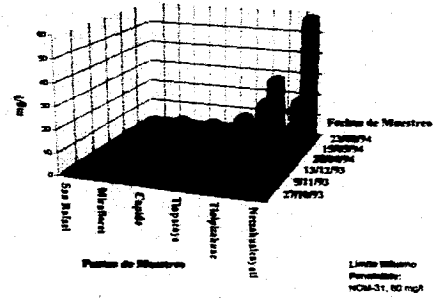
La indicación del contenido orgánico de un desecho, se obtiene al medir la cantidad de oxígeno que se requiere para su estabilización (para la obtención de productos como: CO_2 , NO_3 y H_2O), con este fin, la D.B.O. va a indicar la cantidad de oxígeno que se consumirá en los procesos naturales de degradación, ya que esta técnica es esencialmente un sistema microbiano de crecimiento. La D.Q.O. va a reflejar la cantidad de oxígeno que se requiere para degradar el contenido orgánico de un residuo, sea o no biodegradable, esto se debe a que muchos compuestos orgánicos oxidados por el dicromato no son oxidables bioquímicamente y que ciertos iones inorgánicos sulfuros (S_2^-), sulfatos ($\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$), sulfitos (SO_2^{2-}), nitritos (NO_2) y el ión ferroso (Fe^{2+}), son oxidados en la reacción, lo cual significa que son valorados en la D.Q.O. y sin embargo no son detectados en el ensayo de la D.B.O.

En la tabla 12 se muestra el comportamiento de la D.B.O en las 6 diferentes estaciones de monitoreo. En la estación 1, donde no se recibe ningún tipo de descarga, se registraron los valores más bajos de D.B.O y D.Q.O.; en las estaciones 2 y 3 la D.B.O. tiene valores cercanos a 110 mg/l que es un valor considerado para un cuerpo de agua que recibe descargas de agua residual de tipo domiciliario y la D.Q.O se encontró con un valor un poco más alto, próximo a 250 mg/l (valor considerado para cuerpos de agua que no han sido afectados por descargas industriales),⁴⁷ sin embargo en la época de calor estos valores tienden a subir por la disminución del caudal del río, alcanzando valores en la D.Q.O. de hasta 600 mg/l.

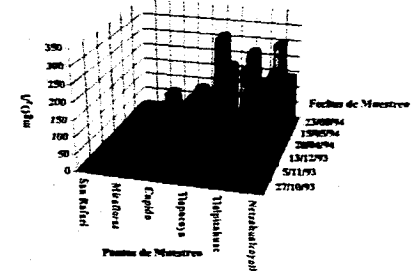
Se manifiesta una disminución muy marcada de la D.B.O con respecto a la D.Q.O. en las estaciones 4, 5 y 6, esto refleja que en estas estaciones existe una menor cantidad de carga orgánica en relación con la inorgánica, que sólo puede ser detectada en el ensayo de D.Q.O., la materia inorgánica (aportada principalmente por descargas industriales) hace que los valores de éste ensayo se incrementen, especialmente en la época de verano donde el curso del río disminuye, propiciando una concentración de los desechos, tanto inorgánicos como orgánicos.

Los valores encontrados para estas estaciones en la época invernal son cercanos a los 500 mg/l, valor característico para corrientes afectadas con descargas industriales; en la época de lluvia, estos valores disminuyen ligeramente, pero aún así, la demanda de oxígeno, sobrepasa la disponibilidad de oxígeno.

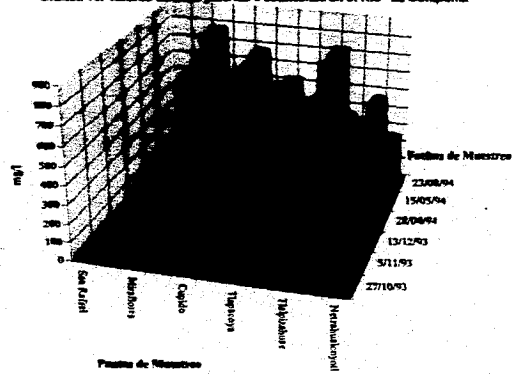
Grafica 11. Valores de Sólidos Totales (ST) obtenidos en las 5 estaciones de monitoreo en el Río "La Compañía"



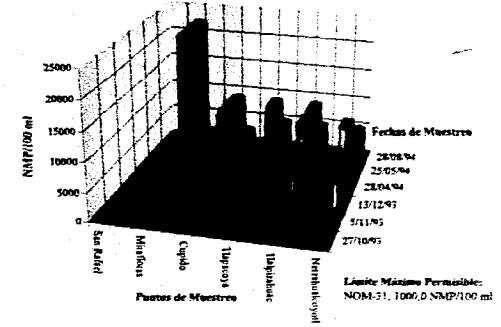
Grafica 12. Valores de DBO obtenidos en las 5 estaciones de monitoreo en el Río "La Compañía"



Grafica 13. Valores de BOD para las 5 estaciones en el Río "La Compañía"



Grafica 14. Valores de Coliformas Fecales obtenidos en las 5 estaciones de monitoreo en el Río "La Compañía"



10.1.6.- METALES (Cd, Cu, Cr, Fe, Pb, Zn)

En la siguiente tabla se presentan las estaciones y los valores de metales que rebasan el Límite Máximo Permisible para cada estación.

ESTACION	METAL																	
	Cd			Cu			Cr			Fe			Pb			Zn		
	31	32	CC	31	32	CC	31	32	CC	31	32	CC	31	32	CC	31	32	CC
1- San Rafael	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	NC	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
2- Miraflores	ND	ND	ND	NR	X	X	ND	ND	ND	NC	X	X	NR	NR	NR	NR	X	X
3- Cupido	ND	ND	ND	NR	X	X	ND	ND	ND	NC	X	X	NR	NR	NR	NR	NR	NR
4- Tlapacoya	X	X	X	NR	X	X	ND	ND	ND	NC	X	X	NR	NR	NR	NR	NR	NR
5- Tlalpizahuac	ND	ND	ND	NR	X	X	ND	ND	ND	NC	X	X	NR	NR	NR	NR	NR	NR
6- Netzahualcoyotl	X	X	X	NR	X	X	ND	ND	ND	NC	X	X	NR	NR	NR	NR	NR	NR

LMP-NOM-31	1.00	10.00	5.00	N.C.	2.00	12.00
LMP-NOM-32	0.01	0.20	0.01	5.00	0.50	2.00
LMP-CC	0.01	0.20	1.00	5.00	5.00	2.00
NIVELES MAXIMOS PARA METALES EN CULTIVOS AGRICOLAS (OMS, OPS) ¹⁰						
N.M.	0.01	0.20	0.10	5.00	5.00	2.00

N.C.- No considerado, N.R.- No rebasa, N.D.- No detectado, X.- Rebasa LMP, N.M.- Nivel Máximo.

ESTACION 1 (San Rafael).

En San Rafael la presencia de metales no fue detectada, esto se debe, a que es una zona donde no hay influencia significativa de la actividad del hombre, no se presenta ningún tipo de descarga de agua residual.

ESTACION 2 (Miraflores).

En Miraflores, a pesar de que no existe una actividad industrial muy importante, las concentraciones de Cu, Zn y Fe, rebasan los LMP de la NOM-032 y de los C.C.

La presencia de estos metales se justifica por que en el municipio de Tlalmanalco existen manufactureras de sustancias químicas, productos derivados del petróleo, carbón, hule y plástico. El Cu y Zn, en particular, son residuos comunes de las productoras de textiles, industria del cuero, productoras de papel y celulosa, de las cuales en esta zona se encuentran ubicadas 8 manufactureras.⁴¹ Además el Fe puede

tener otra fuente potencial de origen, que son, las arcillas arrastradas por el escurrimiento, ya que es un componente importante de muchos suelos, en especial los arcillosos.

ESTACION 3 (Cupido).

En esta zona el Fe y Cu rebasan los LMP de la NOM-032 y C.C., es posible que la presencia de estos metales se deba a las descargas de aguas residuales generadas por las industrias que en esta zona se encuentran asentadas, como la industria textil, productos derivados del petróleo, carbón, hule, plástico, industria del cuero, productos de papel y celulosa, aunque, se considera que no todas vierten sus aguas de desecho a este río; el hecho de que las concentraciones de estos metales rebasen el LMP también se puede deber a los metales incorporados en la estación anterior; otra fuente de origen es, la quema de llantas de automóvil que se realiza para calentar el horno de las ladrilleras que se encuentran asentadas en las márgenes del río; los residuos de los hornos pueden ser arrastrados al río por medio de escurrimientos provocados por la lluvia, el riego o por dispersión aérea.

ESTACION 4, 5 y 6 (Tlapacoya, Tlalpizahuac y Netzahuacoyotl).

En las tres estaciones Cu y Fe se encuentran rebasando el LMP de acuerdo a la NOM-032 y C.C., lo mismo sucede con el Cd de acuerdo a la NOM-032 y C.C. en las estaciones 4 y 6 pero en la estación 5 no se encontro.

El Fe y Cu tienen su origen en la industria, tanto orgánica como inorgánica, petroquímica, refinación, textil, fabricación de hule, productos de papel y celulosa que en estas estaciones suman un número muy importante, por lo que se tiene un aporte considerable de descargas.

El Cd puede ser aportado por la industria de producción de pigmentos, galvanoplastia, fotografía, química inorgánica y orgánica, petroquímica, refinación y fabricación de hule.

Las concentraciones encontradas de Pb y Zn, se encuentran muy cercanas a los LMP, pero no los rebasan. Se esperaba que los valores de Zn, Pb y Cr en las tres estaciones fueran altos, pero no es así, lo cual se puede deber a que existen valores altos de alcalinidad, que reflejan una alta concentración de HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- y NO_3^- que son iones que normalmente se combinan con los metales,⁸⁶ la presencia de altas concentraciones de estos iones reducen considerablemente la disponibilidad de los metales,⁸⁷ principalmente Pb, Cd y Zn, por poseer una forma química acuosa Cd^{++} , Zn^{++} y Pb^{++} , compitiendo eficazmente con el Ca^{++} y Mg^{++} , lo que facilita la formación y precipitación de sulfatos y carbonatos.

Un caso particular es el Cd, que en la estación 5 no se detecta, comportamiento que se puede asociar con los valores altos de alcalinidad obtenidos en esta estación, ya que los iones afines a los metales se encuentran en mayor cantidad, el Cd^{+2} , suele ser fácil de reaccionar, y a bajas concentraciones, lo hace completamente con los iones CO_3^{2-} , por que la forma química más común es el CdCO_3 .

El Cr no fue detectado en ninguna estación, se esperaría su presencia en las estaciones 4, 5 y 6 por el tipo de industria que labora en esas zonas, industria del cuero, pigmentos, tintes y recubrimientos metálicos. Pero tal vez la cantidad de cromo presente en las descargas de aguas residuales es tan pequeña que, al igual que el Cd, alcanza a reaccionar completamente con los iones característicos de la alcalinidad, particularmente Fe^{++} con el que es muy afín, y que se encuentra en cantidades importantes a lo largo de todo el curso del río, formando como compuesto más común el $\text{Fe}_2\text{Cr}_2\text{O}_4$.⁸²

A lo largo de todo el río, a excepción de la estación 1, el pH tiende a ser un poco alcalino, lo cual favorece la formación de compuestos estables con los iones característicos de la alcalinidad, esto aunado a la corriente lenta del río y a la falta de turbulencia, hace que los compuestos tengan tiempo de incorporarse a la gran cantidad de materia orgánica presente, que debido a la lentitud de la corriente se precipita formando parte de los sedimentos, especialmente en las estaciones 4, 5 y 6.

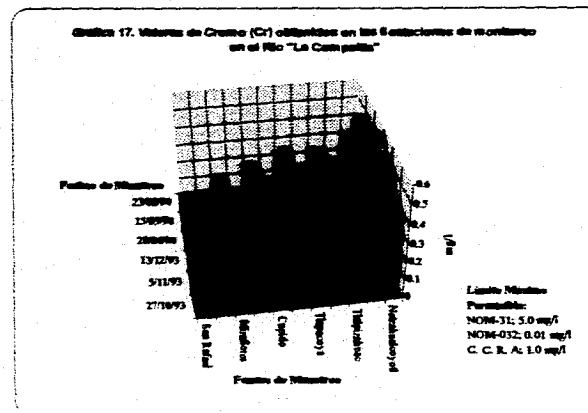
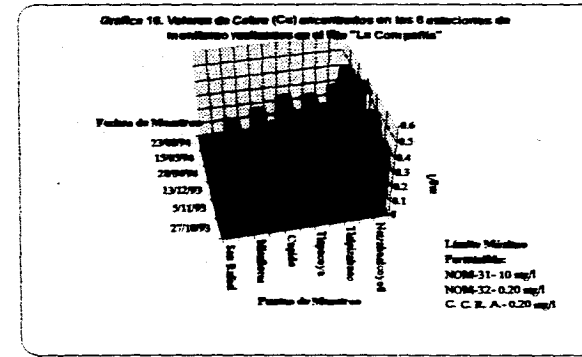
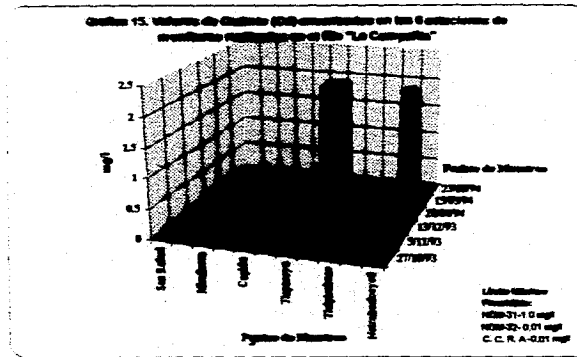


Grafico 18. Valores de Hierro (Fe) encontrados en las 6 estaciones de monitoreo en el Río "La Compañía"

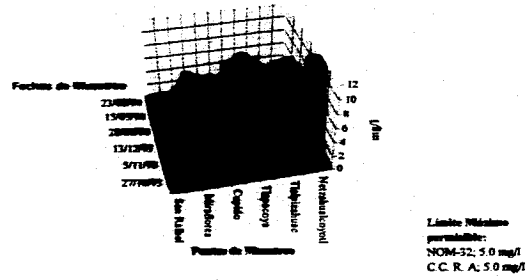


Grafico 19. Valores de Plomo (Pb) encontrados en las 6 estaciones de monitoreo realizadas en el Río "La Compañía"

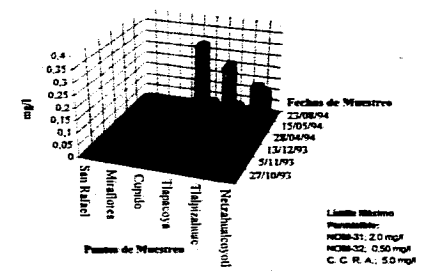
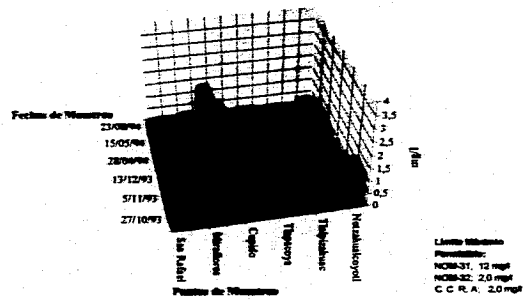


Grafico 20. Valores de Zinc (Zn) encontrados en las 6 estaciones de monitoreo realizadas en el Río "La Compañía"



10.2.- EVALUACION DE LA CALIDAD DEL RIO "LA COMPAÑIA" DE ACUERDO A LA NOM-PA-CCA-033/93 (NOM-033).

En 1995 la Organización Panamericana de la Salud (OPS), plantea que el objetivo prioritario del tratamiento de las aguas residuales debe ser la remoción de parásitos, bacterias y virus patógenos, por que son males endémico; en los países en vías de desarrollo, como México, esto se debe a que las aguas residuales de tipo doméstico son vertidas a los cuerpos de agua sin ningún tratamiento o desinfección, provocando un grave problema de salud pública, especialmente cuando las aguas superficiales se usan para el riego de cultivos de consumo humano, incrementando los factores ambientales de riesgo, debido a que los microorganismos pueden presentarse en los productos agrícolas. Es así, como surge la necesidad de hacer una selección de cultivos en función a las características del efluente, sin que impliquen un peligro potencial para la salud.

Debido a estos antecedentes, es necesario evaluar la calidad del agua del río "La Compañía" de acuerdo a la NOM-033, que considera el aspecto microbiológico, basándose principalmente en la presencia de Coliformes Fecales. Los resultados se presentan en la gráfica 14.

En la gráfica de resultados se observa el típico comportamiento de la curva de crecimiento bacteriano, ya que la población de microorganismos no decae a lo largo de la corriente del río. El crecimiento inicia en la estación 1 con valores muy bajos que se presentan en la época seca, ya que existe un aumento en el número de visitantes a esta zona, considerada parque nacional, los visitantes suelen excretar al aire libre afectando la calidad del agua.

En la estación 2 el crecimiento se ve más favorecido por el aporte de materia fecal proveniente de descargas domiciliarias, en esta zona se encuentran valores máximos, especialmente en la época seca debido al incremento de la temperatura, la ligera disminución de la corriente y acumulación de materia orgánica.

En la estación 3 el rango de temperaturas fluctúa de 19-26 °C, pero el aporte de materia orgánica disminuye ligeramente (gráfica 9), descendiendo la población bacteriana, pero en las siguientes estaciones, 4, 5 y 6 el crecimiento se recupera y se observa un comportamiento estable, la temperatura en estas tres estaciones se encuentra en un rango de 20-26 °C y el aporte de materia orgánica es mayor, lo cual favorece el desarrollo de los microorganismos.

De la estación 1 a la estación 2, se observan procesos aerobios, gracias a la presencia del Oxígeno Disuelto (gráfica 8), en los procesos aerobios predominan bacterias

heterótrofas, cuyo metabolismo depende de la transformación de la materia orgánica, utilizando oxígeno en grandes cantidades y dando como productos CO_2 y H_2O .⁸⁶

De la estación 3 a la estación 6 predominan procesos netamente anaerobios por la ausencia total de oxígeno (gráfica 8), en los procesos anaerobios predominan bacterias autótrofas que no utilizan materia orgánica como fuente de energía, utilizan elementos inorgánicos como NH_3 , NO_2 , compuestos sulfurados y el ión hierro, generando productos como CO_2 , H_2O , CH_4 , H_2S , ácidos orgánicos, mercaptanos y alcoholes.²⁶

El proceso anaerobio es mucho más lento que los aerobios y menos eficiente, donde se considera que las bacterias aerobias convierten de 40 a 50% de las sustancias orgánicas a material celular, mientras que las anaerobias solo del 5 al 10%.²⁶

El tipo de agua obtenida, se muestra en la tabla siguiente, de acuerdo al NMP de Coliformes Fecales por cada 100 ml, como lo establece la NOM-033

ESTACION DE MONITOREO	TIPO DE AGUA	TIPO DE RIEGO	INTERVALO MÍNIMO ENTRE EL ÚLTIMO RIEGO Y LA COSECHA	CULTIVOS NO PERMITIDOS.
1	1	Inundación	20	*Todos a excepción de ajo, pepino, jícama, melón y sandía.
		Surco	15	*Todos a excepción de: ajo, pepino, jícama, melón y sandía, así como el tomate verde o el de cáscara.
		Aspersión	20	*Todos, a excepción de: ajo, pepino, jícama, melón y sandía.
2 3 4 5 6	3	Inundación	20	*Todos, pero además hortalizas y frutos en general.
Surco		20	*Todos los cultivos considerados, excepto melón y sandía.	
Aspersión		20	*Todos los cultivos considerados, además todas las hortalizas y frutos en general.	

Tipo 1.- La que contenga menos de 1000 coliformes totales por cada 100 ml y ningún huevo de helmineto viable por litro de agua.

Tipo 3.- La que contiene de 1001 a 100,000 coliformes fecales por cada 100 ml.

***Cultivos considerados.** Hortalizas: Acelga, ajo, apio, berro, betabel, brócoli, cebolla, cilantro, col, coliflor, epazote, espinaca, hongo, lechuga, pápalo, perejil, quelite, quintonil, rábano, hierbabuena, zanahoria, pepino, calabacita, jitomate, tomatillo y tomate verde o de cáscara, con excepción de las cinco últimas cuando se siembran con espaldera. Se equiparan a las hortalizas los siguientes frutos: fresa, jícama, melón, sandía y zarzamora.^{67, 80}

11.- CONCLUSIONES

A partir del análisis y discusión de resultados de los aspectos más relevantes del trabajo, se tienen las siguientes conclusiones:

- 1) La calidad del agua del río "La Compañía" en San Rafael se considera no apta para agua potable debido a la presencia de grasas y aceites de acuerdo a los Criterios de Calidad; donde se establece que para agua potable no deben existir estas sustancias. Todos los demás parámetros evaluados se encontraron aceptables.
- 2) En el caso de la estación de Miraflores, los valores de grasas y aceites rebasan los Límites Máximos Permisibles establecidos en la NOM-031 De acuerdo a los Criterios de Calidad la materia extractable con cloroformo y coliformes fecales también se encuentran rebasando los niveles de aceptación por lo cual el agua no es apta para riego agrícola.
- 3) En la estación el Cupido, los parámetros que rebasan los Límites Máximos Permisibles de los Criterios de Calidad son: materia extractable con cloroformo y coliformes fecales. Grasas y aceites de acuerdo a la NOM-031. Los metales pesados y conductividad eléctrica rebasan los Límites Máximos Permisibles establecidos en la NOM-032.
- 4) En Tlapacoya, Tlalpizahuac y Netzahualcoyotl 5 parámetros rebasan los Límites Máximos Permisibles establecidos en los Criterios de Calidad y son: materia extractable con cloroformo, alcalinidad, conductividad eléctrica y coliformes fecales. De acuerdo a la NOM-031 metales pesados, grasas y aceites. Metales pesados y conductividad eléctrica rebasan el Límite Máximo Permisible de la NOM-032.
- 5) Las descargas de aguas residuales de origen domiciliario e industrial vertidas en el río "La Compañía" hacen insuficiente el proceso de autodepuración; debido a la presencia de gran cantidad de materia orgánica, dicho proceso se acentúa en las estaciones Tlapacoya, Tlalpizahuac y Netzahualcoyotl.
- 6) La gran cantidad de materia orgánica y los sólidos abaten el oxígeno disuelto impidiendo la degradación de la materia orgánica, se observa este comportamiento en las estaciones Tlapacoya, Tlalpizahuac y Netzahualcoyotl.
- 7) De acuerdo con los resultados obtenidos de D.B.O y D.O.O. en la estación 1, no existe carga orgánica excesiva y se clasifica como un agua superficial no afectada por descargas de agua residual. De la estación 2 a la estación 3 se encontró la corriente afectada, principalmente, por descargas de agua de origen domiciliario. De

la estación 4 a la estación 6, la corriente del río se encuentra afectada por una mezcla de agua residual de origen domiciliario e industrial.

8) La presencia de coliformes fecales en la estación 1 se incrementan en los meses de abril y mayo; en la estación 2 en abril, mayo y agosto, a partir de la estación 3 a 6 se presentaron a lo largo del tiempo monitoreado. De acuerdo a la NOM-033, la cantidad de coliformes encontradas en las 6 estaciones indican para la estación 1 agua de Tipo I, para las cinco estaciones restantes el agua es de Tipo III.

9) Los metales Cu y Fe rebasan los Límites Máximos Permisibles en todas las estaciones de muestreo a excepción de la estación 1.

10) El Cd se detecta sólo en la época seca en las estaciones 4 y 6 rebasando el Límite Máximo Permisible de la NOM-032. El Pb se encontró en las estaciones 2, 3, 4, 5 y 6 sin rebasar los Límites Máximos Permisibles establecidos en las NOM-031 y NOM-032, presentandose sólo en la época de lluvia en las estaciones 2 y 3.

11) En la época de lluvia se encontraron valores bajos de pH, temperatura, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, alcalinidad, acidez, sólidos totales, sólidos sedimentables, materia extractable con cloroformo, DBO y DQO.

12) En la época de secas se obtuvieron altos valores de conductividad eléctrica, SAAM, coliformes fecales, grasas y aceites, la corriente del río se reduce y favorece el incremento de estos parámetros.

13) La calidad y cantidad de descargas líquidas aunadas a las diferentes épocas del año, además de la ausencia de estudios anteriores, limitan el poder establecer indicadores de calidad del agua del río "La Compañía".

12.- RECOMENDACIONES PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA DEL RIO "LA COMPAÑIA".

La solución económica y efectiva a los problemas de contaminación requieren un enfoque interdisciplinario en el cual el aspecto cultural y financiero de la población debe ser considerado junto con la tecnología.⁷²

Antes se pensaba que la tecnología limpia y el manejo integral serían los caminos ideales para resolver en forma óptima los problemas de contaminación, pero un país subdesarrollado como México, está lejos de ser la solución, debido a la baja capacidad económica, capacitación técnica e infraestructura tecnológica, en particular del sector Industrial, donde la experiencia muestra que existen importantes barreras culturales y financieras para alcanzar un enfoque integral y , por consiguiente existe una fuerte tendencia a seguir con el sistema convencional.³⁴

Considerando esta problemática se plantean las siguientes propuestas integrales para mejorar la calidad del agua del río "La Compañía", teniendo en cuenta que los recursos económicos son muy limitados y que la factibilidad para llevar a cabo dichas propuestas dependen principalmente del interés de los municipios involucrados.

12.1.- PROPUESTAS DIRIGIDAS AL SECTOR PUBLICO.

Una parte importante del problema es la compleja interacción entre el nivel de educación y concientización de la población; uno de los más importantes es la disposición clandestina de los residuos sólidos de gran tamaño en el lecho del río, pero existen diferentes formas de solucionarlo, considerando las siguientes:

1.- Impulsar la organización social para atender la problemática del río, que incluye:

1.1.- Evitar el vertimiento de residuos sólidos de gran tamaño ya que provocan la obstrucción de tuberías, generando problemas severos como la fluctuación en la tensión superficial, depuración natural, difusión gaseosa, penetración de luz y estética, principalmente.

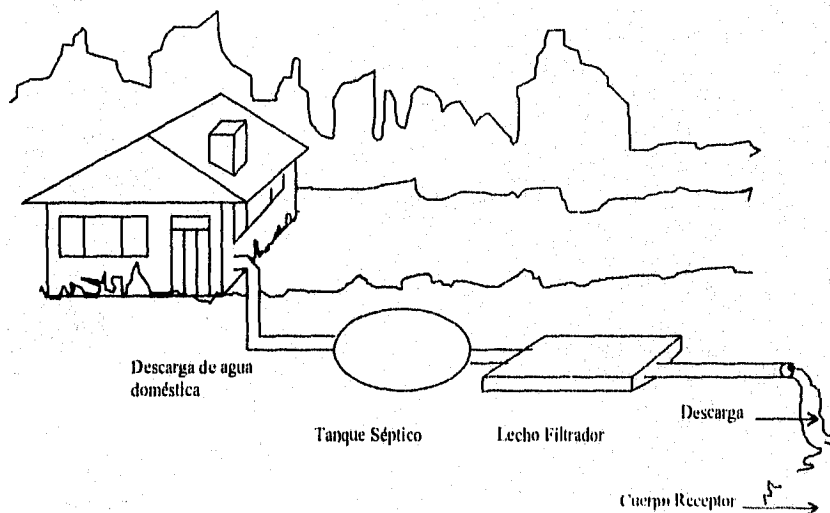
1.2.- Colocar cerca del río y en los poblados, contenedores de basura que sean fácilmente transportados por los camiones recolectores.

1.3.- Algunas zonas como Tlalmanalco y Chalco, aún se consideran zonas rurales o semirurales, las cuales en un 50 o 75 % aún no cuentan con drenaje y alcantarillado, ocasionando que ciertas descargas sean arrojadas directamente al río; para solucionar

este problema se pueden adaptar sistemas de depuración enterrados, conocidos como Tanques Sépticos o "Digestores".

Estos sistemas consisten de un tanque enterrado y un lecho filtrante, que sirve para limpiar las descargas domiciliarias. El tanque debe ser altamente hermético sin luz, ni aireación y colocado en un nivel inferior del piso, evitando de esta forma los cambios bruscos de temperatura y proporcionando condiciones anaerobias. El flujo de agua llega por gravedad de la casa al tanque donde permanece por un tiempo hasta ser desplazada por nuevas descargas, la salida se da por una tubería colocada en el lado opuesto, que conecta con el lecho filtrante el cual consiste en una cama de grava o roca porosa, que se cubre con una capa de tierra.

El proceso de degradación que se da en estos sistemas es por medio de microorganismos (bacterias, levaduras, hongos y actinomicetos) que digieren la materia orgánica y los restos se depositan en el fondo. No requieren de mantenimiento constante y el lecho de contacto puede durar de 15 a 20 años de servicio. Para su diseño se requiere considerar que el uso de agua por persona es de 50 a 150 l de agua/día, para beber, cocinar, lavar, sanitarios y otros usos domésticos. Como se muestra en la siguiente figura(fig. 1):



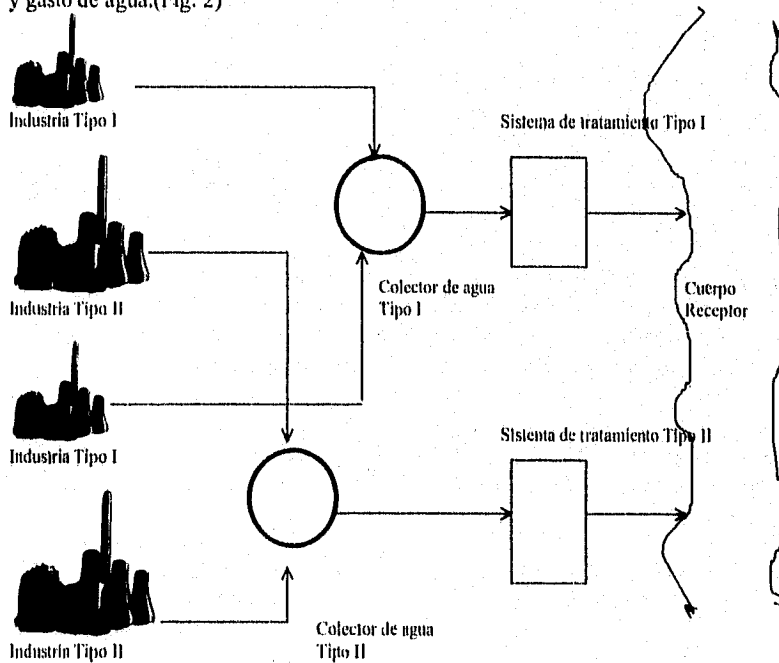
12.2.- PROPUESTAS DIRIGIDAS AL SECTOR INDUSTRIAL.

Las industrias arrojan grandes volúmenes de aguas residuales y de composición muy variada a cuerpos receptores sin tratamiento alguno. Las siguientes propuestas van orientadas a su tratamiento, sin tener que realizar grandes inversiones.

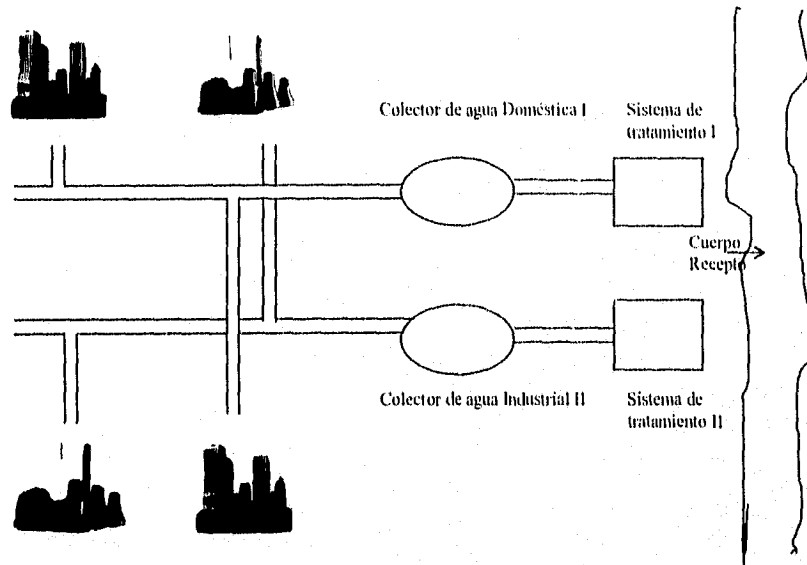
1.- Las industrias deben contar con un programa de control de tóxicos. Esto implica la implementación de una estrategia de minimización, reciclaje y tratamiento de los residuos desde la fuente generadora.^{11, 72}

2.- Separar los drenajes de aguas residuales de proceso, pluviales y de servicios de acuerdo al giro industrial antes de su descarga.⁷³

3.- Aquellas industrias que reúnan y dirijan las descargas de agua residual de composición semejante, a un sistema de tratamiento diseñado para ese caso en particular, pueden colocar medidor de flujo a la salida de cada industria y aplicar un costo por volumen de agua tratada. De esta forma el costo de diseño, instalación y mantenimiento de la planta de tratamiento se comparte en proporción al tratamiento y gasto de agua.(Fig. 2)



4.- Coordinar acciones con los municipios para que de ca la industria nueva que se establezca considere en su plano hidráulico la separación de las descargas líquidas, por medio de la construcción de drenajes paralelos que conduzcan a un sistema de tratamiento antes de ser vertidas al cuerpo receptor, obligando al industrial a dirigir su descarga al drenaje construido especialmente para aguas residuales de tipo industrial (Fig. 3).

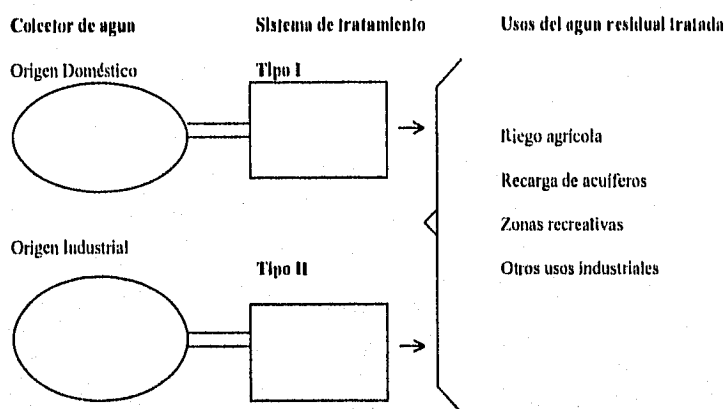


La existencia de drenajes separados, facilita la operación de los procesos de tratamiento, ya que las descargas domésticas implican bajos costos y en su composición no tienen sustancias tóxicas difíciles de eliminar, a diferencia del agua residual industrial, que requiere procesos de depuración más sofisticados.

5.- Proyectar por parte de los municipios, conjuntamente con las industrias, nuevos sistemas de tratamiento con una adecuada distribución de costos, orientadas a tratar el agua proveniente de los drenajes separados. Considerando los siguientes aspectos:

- 5.1.- Período de diseño (años de duración).
- 5.2.- Población a la que se va a proporcionar el servicio (número de habitantes).
- 5.3.- Flujo de diseño (relación de uso de agua y evacuación de aguas residuales).
- 5.4.- Áreas de diseño (área útil y márgenes de tolerancia).
- 5.5.- Hidrología del diseño (gastos de precipitación y escurrimiento pluvial).²²

6.- Extender el reuso en la medida de lo posible, hacia fines que sean compatibles con la calidad del agua que resulte del tratamiento (riego agrícola, de áreas verdes, limpieza, entre otros) (fig. 4).



Una opción benéfica para el tratamiento de aguas residuales domésticas desde el punto de vista técnico y económico, son las lagunas de estabilización, donde ya existen experiencias en América Latina apoyadas por el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS), en Lima, Perú, donde las ventajas del reuso de las aguas tratadas por este sistema son las siguientes:

- * Disminución de incidencia de enfermedades entéricas,
- * Ventajas económicas de aprovechar los nutrimentos de las aguas residuales en reemplazo de fertilizantes comerciales,
- * Mayor rendimiento de la producción agrícola,
- * Producción rentable de peces aptos para el consumo humano, y
- * Uso eficiente del agua.

Un proyecto de esta magnitud está en desarrollo en el Lago de Texcoco con aguas provenientes del río "Churubusco", y pudiera ser aplicable en el río "La Compañía", en especial en Tlalmanalco y Chalco donde se reciben aguas residuales de origen doméstico. En Netzahualcoyotl, existen áreas extensas que podrían aprovecharse para tal fin, siempre y cuando ocurra la separación de los drenajes y/o el tratamiento estricto y previo antes de la descarga a cuerpo receptor, a fin de eliminar las sustancias tóxicas.

12.3.- PROPUESTAS ORIENTADAS AL ESTABLECIMIENTO DE DISPOSICIONES LEGALES.

1.- El Gobierno Federal ha establecido disposiciones legales para aplicar medidas de control y preservar la calidad de los recursos hídricos, pero estas disposiciones no son instrumentadas por los municipios, por lo cual el trabajo de vigilancia y monitoreo se torna lento e ineficaz; es preponderante que dichas acciones se realicen a nivel municipal, para que los procedimientos de permisos de descarga se agilicen y de esta forma hacer cumplir a las personas físicas y morales con lo establecido en el reglamento de la Ley de Aguas Nacionales, en particular con los Artículos 134 al 137, que tratan sobre las condiciones, permisos de descarga, y el tratamiento de agua residual, antes de ser vertida a los cuerpos receptores¹⁶. Aplicando estas medidas, se podrá asegurar una reducción de los contaminantes en las descargas dirigidas al drenaje municipal y cuerpo receptor.

12.4.- PROPUESTAS DE MODIFICACION A LA NOM-033.

En la NOM-033 se encontraron algunas limitaciones que es necesario resaltar en los párrafos siguientes.

1.- Evitar el riego por aspersión cuando el número de Coliformes Fecales sea elevado, por que puede ocurrir la contaminación microbiológica de los productos al entrar en contacto con las partes aéreas de las plantas.

2.- La NOM-033 establece que cualquier tipo de agua I, II, III y IV, puede ser utilizada en el riego por aspersión, ya que sólo considera la presencia de bacterias coliformes y huevos de helminto, pero el hecho de que el río "La Compañía"; incorpora numerosas descargas de aguas residuales con altas concentraciones de sólidos disueltos, compuestos orgánicos e inorgánicos, detergentes, etc., impide que estas aguas no puedan ser utilizadas para riego por aspersión por la gran cantidad de sales disueltas, ya que obstruyen la tubería de los aspersores y afectarían las propiedades del suelo e indirectamente los cultivos. Por lo cual, se hace necesario para evaluar la calidad del agua, considerar los siguientes aspectos:

- * Conductividad Eléctrica.
- * Potencial de Hidrógeno.⁹
- * Sólidos disueltos.⁸
- * Relación de absorción de sodio (R.A.S.).⁸

El sodio es uno de los iones que más favorece la degradación del suelo ya que sustituye al Ca^{++} en los sitios de intercambio, provocando la dispersión de los

agregados y pérdida de la estructura, por lo que adquiere un aspecto pulverulento y amorfo, perdiendo rápidamente su permeabilidad.⁸

Considerando la salinidad como factor importante, también deben incluirse los cultivos que toleran diferentes grados de salinidad. De acuerdo al Regional Salinity Laboratory de E.U. (1985) se clasifican a las plantas en tres grupos de tolerancia, Buenas, Regulares y Malas, las cuales se enlistan en la tabla siguiente.⁶⁸

TOLERANCIA A LA SALINIDAD DE TRES TIPOS DE CULTIVOS.
Según determinaciones del United States Salinity Laboratory (1985).

Tipo de cultivo	Tolerancia de Salinidad			
	Buena (Grupo I)	Regular (Grupo II)	Mala (Grupo III)	
Frutales	Palmera datilera.	Granado. Higuera. Vid. Olivo.	Pomelo. Peraf. Almendro. Albaricoquero. Melocotonero. Ciruelo. Manzano. Limonero. Naranja.	
Herbáceas y Hortalizas	Remolacha forrajera. Remolacha azucarera. Milo. Nabo. Bretones. Algodón.	Melón. Lechuga. Girasol. Zanahoria. Espinaca. Calabaza. Cebolla. Pimiento. Trigo (grano).	Alfalfa. Lino. Tomate. Espárrago. Paniño. Sorgo (grano). Cebada (grano). Centeno (grano). Arroz.	Veza. Guisante. Ajo. Rapollo (col). Alcachofa. Berenjena. Boniato. Papa. Judía (frijol).
Forrajeras	<i>Sporobolus airoides</i> . <i>Distichlis spicata</i> . <i>Puccinella nutalliana</i> . <i>Cynodon dactylon</i> . <i>Chloris jayana</i> . <i>Bromus catarcticus</i> . <i>Elymus canadensis</i> . <i>Elymus triticoides</i> . <i>Agropyrum smithii</i> .	Melote blanco. Melote amarillo. Ray-grass inglés. Bromo. Cebada (forrajera). Avena elevada. Avena (heno). Trigo (heno). Centeno forrajero. Cañueta. Trébol de huban. Alfalfa (común de California).	<i>Lotus corniculatus</i> . <i>Lotus tenuis</i> . <i>Paspalum dilatatum</i> . <i>Trifolium fragiferum</i> . <i>Sorghum vulgare</i> . <i>Sorghum sudanensis</i> . <i>Dactylis glomerata</i> . <i>Boutelou gracilis</i> . <i>Festuca elatior</i> . <i>Phalaris arundinaceae</i> . <i>Lotus bicornutus</i> . <i>Bromus inermis</i> . <i>Melilotus indica</i> .	<i>Trifolium repens</i> . <i>Alopecurus pratensis</i> . <i>Trifolium hybridum</i> . <i>Trifolium pratensis</i> . <i>Trifolium repens latifolium</i> . <i>Sagittaria minor</i> .

Ortiz W., 1985.

3.- Incluir dentro de la NOM-033, estrategias para el manejo agrícola de los cursos de agua afectados por descargas de aguas residuales, donde se deben mencionar Las Prácticas de Manejo como un componente básico que deberá combinarse con los tipos de cultivo y métodos de riego considerados.

Métodos de Riego.

Riego por Inundación. Es considerado como el menos eficiente por la gran cantidad de agua que requiere, también puede contaminar los cultivos de tallo corto y tubérculos por entrar en contacto directo con el agua. Con este tipo de riego los agricultores se encuentran más expuestos a compuestos químicos y organismos patógenos, en comparación con otros sistemas.

Riego por Surco. Resulta ser el más recomendable para utilizar aguas residuales, ya que permite aplicar los nutrimentos y la materia orgánica al suelo en forma directa y no demanda volúmenes de agua tan grandes como el de inundación. Reduce la contaminación de los cultivos por que las plantas no mantienen un contacto directo con el agua. Lo que no se puede garantizar en este método es la protección a la salud, ya que los agricultores mantienen un contacto directo con el agua.¹²

Prácticas de Manejo del Campo.

- Cuando las concentraciones salinas de los efluentes tratados excedan los 2000 mg/l se deben efectuar prácticas de riego que eviten la acumulación de sales, aplicando volúmenes restringidos, que faciliten una buena percolación y drenaje del suelo.

- Aún cuando la concentración de sales no sea elevada, existe el riesgo de una acumulación progresiva si el suelo no tiene una buena capacidad de percolación y drenaje, además si se usan grandes volúmenes para riego (inundación), se prefiere un método alternativo con poca demanda de agua.

- En caso de observar un proceso de salinización se debe favorecer el lavado del suelo, aplicando mayor cantidad de agua en la época fría en lugar de la cálida, ya que las pérdidas por evapotranspiración son menores en esta época del año. También se recomienda esta práctica en el periodo entre cosecha y siembra, especialmente en suelos con poca percolación.²⁴

- Se debe modificar el rango aceptable del Grupo Coliformes para agua de riego (1000/100 ml) para el tipo I, debido a que es poco confiable como indicador, pues no todos son exclusivamente de origen fecal, además como se menciona la OMS y la CEE (1987)... "No es razonable ni lógico mantener las antiguas directrices sobre el

riego con aguas residuales, que son muy semejantes a las establecidas para el agua potable y aguas naturales de los ríos empleadas para riego (1000/100 ml)".

Esta opinión surge, por que al aplicar normas excesivamente estrictas para la calidad microbiológica de las aguas residuales empleadas para irrigación, lleva a situaciones anómalas por el incumplimiento de las mismas, lo que ha ocasionado graves problemas de salud pública por el riego totalmente carente de reglamentación, a menudo ilegal, con aguas residuales.¹⁰

12.5.- PROPUESTAS DE APLICACION DIRECTA.

Los ríos tienen capacidad de autopurificación que está determinada por fenómenos físicos (dilución, mezclado, sedimentación, precipitación), químicos (difusión, reacción química, floculación) y biológicos (degradación aerobia y anaerobia),⁸³ estos tres aspectos serán aprovechados para elaborar la siguiente propuesta, planteando la construcción de obras que logren acelerar en varios ordenes de magnitud, los procesos naturales que ocurren en el sistema.

Los parámetros de importancia son los siguientes:

- * Conductividad Eléctrica.
- * Alcalinidad.
- * Sólidos.
- * Coliformes fecales.
- * Grasas y aceites.

1.- Se considera necesario continuar el periodo de monitoreo de la calidad del agua del río "La Compañía", ya que no es posible determinar el comportamiento de los parámetros evaluados, debido a que las variaciones estacionales de los sistemas naturales exigen la realización de tomas a lo largo de meses y a veces años⁴, aunado a la carencia de estudios similares en esta zona.

2.- Es necesario realizar otra serie de estudios que faciliten la aplicación de procesos orientados a mejorar la calidad tanto de la cuenca como del agua y su uso. Los estudios pueden ser los siguientes:

Tasa de infiltración del agua (Conductividad Hidráulica). Para saber la pérdida de agua por infiltración, a lo largo del río.

Estabilidad del suelo y las condiciones del contorno que influyen en el sistema de infiltración.

Gasto hidráulico. Para saber la capacidad a pleno caudal si se necesita recubrimiento del cauce y saber el diseño del mismo.⁶⁸

3.- Se requiere realizar el revestimiento parcial del río, considerando como requisito primordial la firmeza del terreno; para un buen resultado y reducir la posibilidad de grietas y rupturas por el asentamiento del subsuelo, y además, se tiene que determinar la velocidad de la corriente para saber que tipo de recubrimiento es recomendable para minimizar los efectos erosivos. Se recomiendan canales revestidos de materiales de superficie dura al descubierto, como hormigón de cemento, asfalto, mampostería, ladrillo y otros tipos admisibles que soporten variaciones de corriente, siendo más resistentes que los recubrimientos de tierra. En el siguiente cuadro se especifican las máximas velocidades no erosivas para diferentes tipos de suelos.

Velocidades Máximas no Erosivas	
Arena fina en estado movedizo	0.20-0.30 m/s
Suelo arenoso	0.30-0.75 m/s
Suelo franco arenoso	0.75-0.90 m/s
Suelo franco a arcilloso	0.85-1.10 m/s
Arcilla consistente	1.10-1.50 m/s

Kraatz D.B., 1977.

Los datos en general varían entre 0.3-1.8 m/s, mientras que en el revestimiento de hormigón y ladrillos oscilan entre 1.5 y 2.5 m/s, la literatura indica una velocidad de 12 m/s, como admisible en los cauces de hormigón.

En el siguiente cuadro se especifican las cantidades relativas de agua que puede transportar un canal revestido de hormigón y uno del mismo tamaño sin revestir.

Anchura del fondo	Altura del agua	Capacidad m ³ /s	
		Con hormigón	Sin revestir
0.30	0.45	0.40	0.23
0.90	0.60	1.27	0.71
1.20	0.75	2.40	1.33
1.50	0.90	4.00	2.24

Kraatz D.B., 1977.

Si el diseño, construcción y mantenimiento se hacen debidamente, los recubrimientos de hormigón tienen una duración promedio superior a los 40 años.

Los estudios de carácter económico sobre el empleo de revestimientos de superficie dura, incluyen los beneficios que derivan de la reducción de los costos en la lucha contra las malezas, disminución de roedores por la falta de espacios para formar madrigueras, eliminación de menor cantidad de sedimentos, mayor estabilidad de las paredes, fondo del canal y protección contra la erosión.⁶⁸

En **Tlapacoya y Tlalpizahuac**, el canal puede ser recubierto de hormigón, ya que existe una zona donde las paredes están formadas por arcilla (Tepetate), que soporta velocidades de hasta 1.5 m/s en un canal recién excavado, con el transcurso del tiempo puede reducir la resistencia a la corriente por efecto de las alternancias de humedad-estiaje y otros cambios estructurales.

Se recomienda el revestimiento de hormigón armado, esta menos expuesto a daños por presiones hidrostáticas o de otro tipo que actúen por debajo de ellos. Si por debajo del revestimiento se presentan presiones hidrostáticas no previstas, el hormigón sin armar se rompe más fácilmente, por que alivia la presión y reduce la zona dañada. La principal función de la armadura es reducir la anchura de las grietas y evitar su separación y se recomienda en zonas propensas a sismos y terrenos que se hundan o se hinchan.⁶⁸

En **Cd. Netzahualcoyotl** el factor determinante para revestir el río, es prevenir la infiltración de los lixiviados provenientes de los sitios de disposición de residuos sólidos cercanos y en las márgenes del río.

En esta zona, la colocación de una membrana de polietileno debajo del recubrimiento de hormigón, ofrece ventajas, ya que desempeñaría una función protectora en caso de fracturas, de tal manera que el problema por infiltración quedaría resuelto por la membrana impermeable.

Para que la membrana tenga mayor estabilidad, estanqueidad y resistencia estructural, es necesario colocar una capa de arena debajo y otra arriba de ella.

La cuenca una vez revestida podría ser cubierta con una malla ciclónica en las márgenes del río, para evitar que reciba cantidades importantes de basura (fig. 5).

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

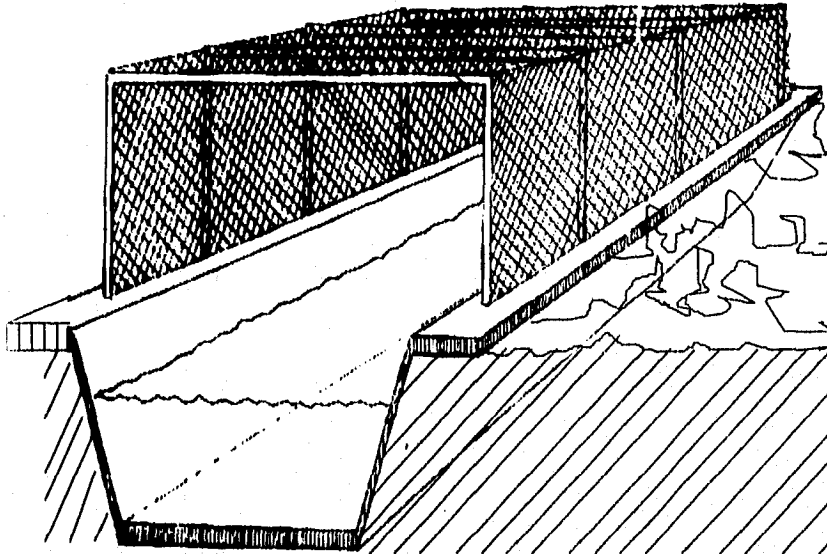


Figura 5. Revestimiento de hormigón con malla ciclónica.

4.- Considerando que la cuenca sea revestida, se deben llevar a cabo las siguientes propuestas:

4.1.- De acuerdo a los resultados obtenidos en la estación 1 (San Rafael), el agua es de buena calidad, gracias a que antes de ser entubada existen construcciones con desarenadores y sedimentadores que favorecen los procesos físicos de autodepuración y además cuentan con un buen mantenimiento. El problema de grasas y aceites se puede solucionar con un mantenimiento adecuado de las instalaciones de bombeo.

En la estación 1 existen otras corrientes a cielo abierto, que arrastran en su recorrido hojarasca y basura, siendo necesaria la instalación de rejillas con malla de 8 a 10 cm para retener sólidos de gran tamaño, con un distanciamiento de 500 m a lo largo del río, procurando un adecuado mantenimiento.

4.2.- La corriente del río al llegar al poblado de Miraflores (estación 2) recibe algunas descargas de aguas residuales, además de basura arrojadas por la población a la corriente del río.

En la salida de este poblado es importante realizar una obra de "División de caudal proporcional"⁶⁹ que corra paralelamente (fig. 6 y 7) para favorecer que la corriente se acelere al reducir el canal, originando turbulencias que incrementan la concentración de oxígeno disuelto y disminuyendo aquellas sustancias que producen sabores y olores, tales como el sulfuro de hidrógeno y algunos compuestos orgánicos volátiles, se acelera la degradación de la materia orgánica y la reducción de la alcalinidad, ya que se induce la precipitación de iones Ca^{++} y Mg^{++} .

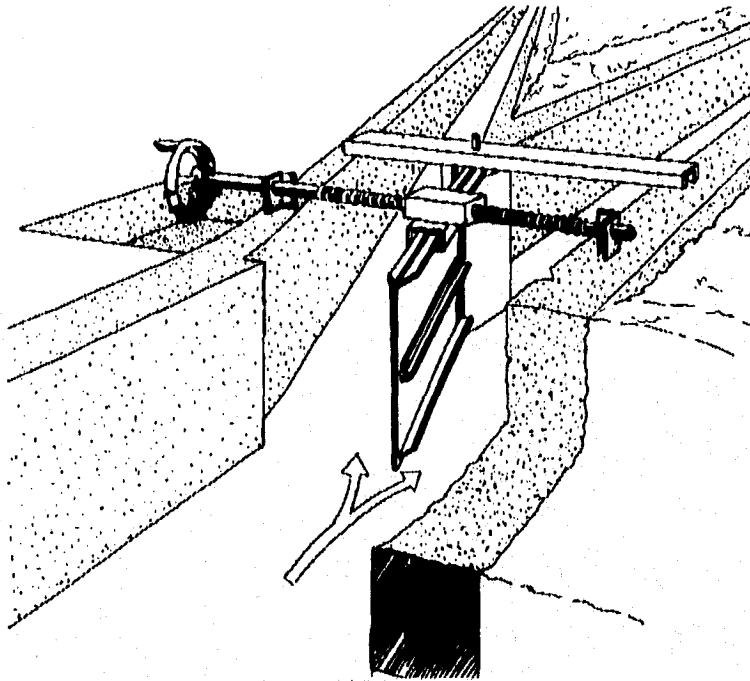


Figura 6. Divisor de caudal proporcional.

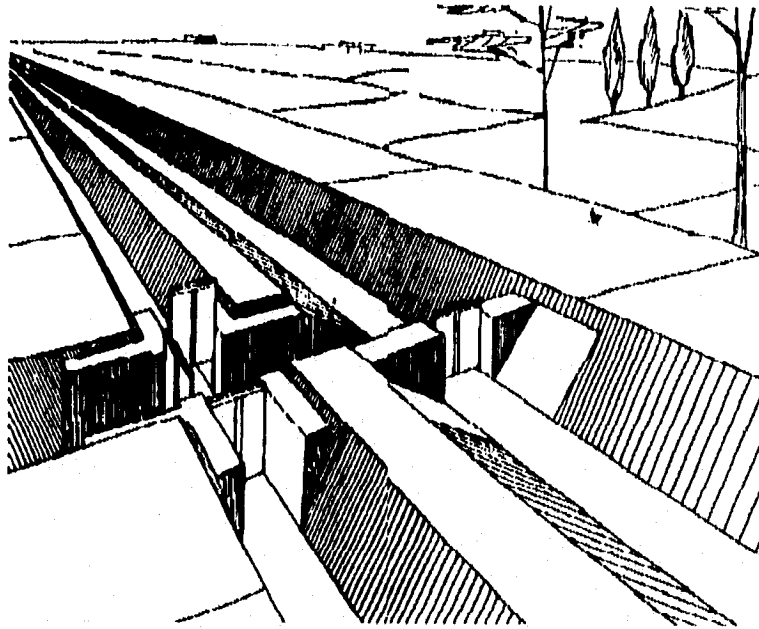


Figura 7

4.3.- Paralelamente al divisor de caudal se puede realizar una construcción de "Depósito lateral de retención" (fig. 8) con una profundidad que varía de 5 a 20 m, revestido para su impermeabilización, ya sea de arcilla, plástico o bien hormigón, según el caso, con esta obra que no es excesivamente cara, se logra retener agua, donde se van a efectuar fenómenos físicos como el mezclado, dilución, sedimentación y una reducción importante de bacterias fecales patógenas y no patógenas después de un periodo de retención de 7 a 10 días. Un depósito de este tipo presenta ventajas importantes para prevenir la contaminación accidental en la corriente del río ya que es un volumen de agua aislado, que permite un mayor control con periodos de captación más espaciado.³⁰

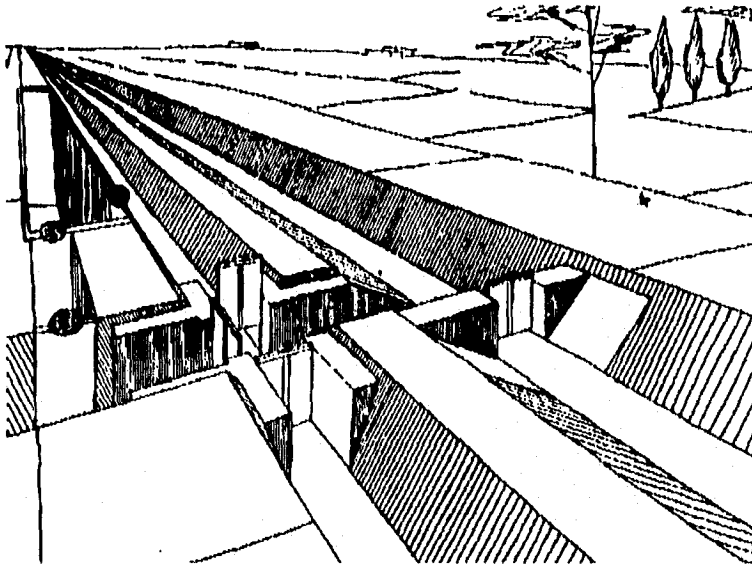
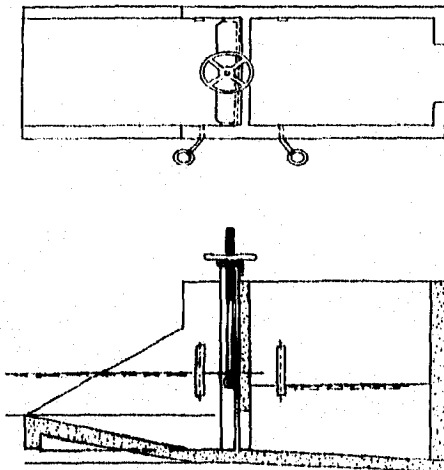


Figura 8. Canal dividido con depósito lateral de retención.



En el "Depósito lateral" se puede adaptar una compuerta que una la corriente del río con el depósito y otra que conduzca el agua hacia una "cámara de reparto" (fig. 8 y 9) la cual a su vez tiene una compuerta que la une directamente a la corriente del río y otra que la distribuye a los canales de riego; de esta manera el agua retenida en el depósito puede ser aplicada directamente o puede mezclarse con el agua del río para obtener una dilución.

Figura 9. Cámara de reparto.

4.4.- Antes de llegar a la estación 3 el caudal se puede unir nuevamente y más adelante dar lugar a una o dos construcciones llamadas "Azud Joble en cola de pato" (fig. 10) que al igual que la construcción anterior, facilitara la aireación al formar una caída en cascada.^{69 y 8}

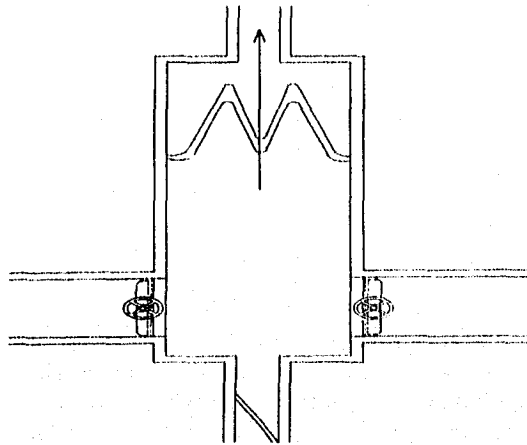


Figura 10. Azud doble en cola de pato con pantalla de sedimentos en la entrada.

Este tipo de construcción resulta muy económico y favorece las prácticas de irrigación al elevar el nivel de agua por encima de su caudal natural, durante los periodos de estiaje, lo suficiente para alimentar el caudal de toma.

4.5.- Antes que la corriente del río entre al "Azud" y al "Divisor de caudal", se recomienda construir una pantalla de sedimentos (fig. 10), la cual deberá contar con un adecuado mantenimiento para evitar la obstrucción en las compuertas y el posible arrastre de contaminantes inherentes a los sedimentos.⁶⁹

4.6.- Es recomendable que cada agricultor que se abastece de agua del río, instale una compuerta, la cual puede ser de cierre manual, por ser más económica. La compuerta debe tener una rejilla de 5 a 8 cm de claro, ya que pueden existir sólidos de gran tamaño, además debe contar con entrada a una "Cámara de reparto", con el fin de que la corriente pierda fuerza y no provoque turbulencias que arrastren el suelo de los cultivos.⁶⁹

4.7.- Como la corriente tiene problemas con sólidos, se recomienda construir en cada compuerta "Pantallas de king" (fig.11) separadoras de sedimentos.

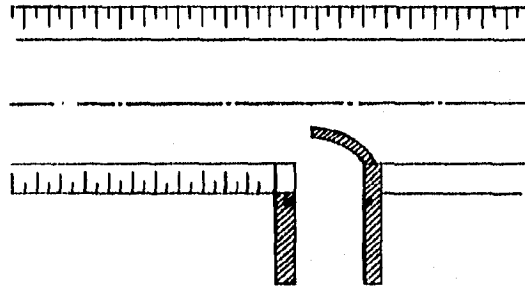


Figura 11. Pantallas de King.

4.8.- También se pueden construir pantallas separadoras de sedimentos (fig. 12). Son un dispositivo de materiales curvos en el lecho del canal, con las cuales se evitará una mayor cantidad de sedimentos. Este dispositivo funciona desviando y alejando los sedimentos sin producir perturbaciones, en un ángulo aproximado de 30° respecto a la dirección de la corriente. La altura de la pantalla es de un tercio a un cuarto de la profundidad del canal principal, pasando el agua libre de sedimentos por arriba de ellas. Debe desazolverse para evitar su mal funcionamiento.⁶⁹

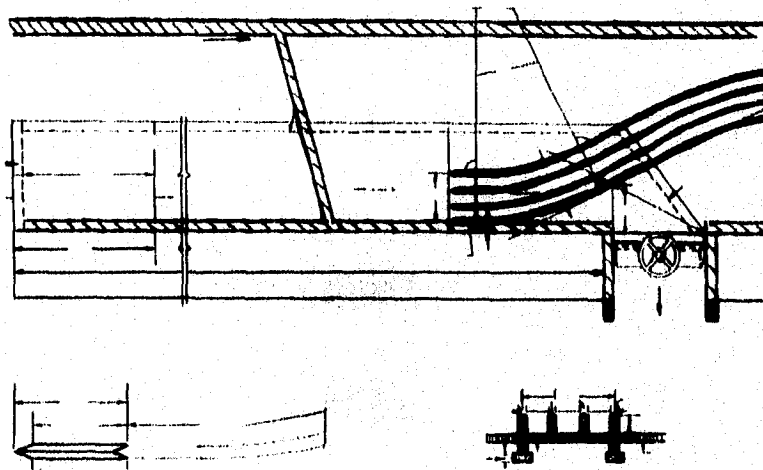


Figura 13. Pantallas separadoras de sedimentos.

4.8.- En las estaciones 4 y 5, además de las mallas para retención de sólidos, es difícil establecer un tipo de construcción (de no ser el recubrimiento de hormigón) para mejorar la calidad del agua, lo más conveniente es dejar el río tal y como esta, ya que la corriente se torna lenta y favorece la sedimentación de partículas.

4.9.- Existe en la entrada al municipio de Netzahualcoyotl un área extensa que se puede utilizar para ampliar el lecho del río, con una inclinación ligera en dirección de la corriente, para que funcione como sedimentador, ya que este sitio es uno de los más afectados por el problema de sólidos, entre otros; si el lecho del río es recubierto en esta zona, será más fácil la aplicación de estas propuestas.

13.- BIBLIOGRAFIA

- 1.- Alvarez G. A., Silva M. S., 1993, "Aguas Residuales". Boletín IIE , 2:17, pp.- 64-68.
- 2.- Alloway B.J., 1990, "Heavy metals in soils". Blackie. John Wiley & Sons, N.Y., E.U.A., pp.- 100-104, 125-127, 151-153, 177-178, 261-267.
- 3.- American Society for Testing and Materials. Philadelphia, Pennsylvania. 1991, "Manual de aguas". 3era. edición. Limusa. México, pp.- 24-29.
- 4.- APHA, AWWA, WPCF, 1992, "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater". (Métodos Normalizados para el Análisis del Agua y Aguas Residuales), 18^a Edición. E.U.A., pp.- 2.63-2.64, 2.78-2.79, 2.88, 2.33, 2.38, 3.1, 4.106, 4.168-4.170, 5.2-5.3, 5.12-5.13, 5.52-5.53, 5.69-5.70.
- 5.- AWWA. 1990, "Water quality and treatment. A handbook of community water supplies". 4^a edición. U.S.A., pp.- 6-9, 34-33, 55-59, 78-95, 160-175.
- 6.- Ayanequi J., 1988. "Uso o Abuso del Agua" Rev. Agua Potable. 48:4, 34-38.
- 7.- Boletín Técnico AQEIC, 1993, Editado por la asociación Química Española de la Industria del cuero, Barnagrafic, S.A. Barcelona, España, pp.- 130-150.
- 8.- Canovas C.J., 1990, "Calidad agronómica de las aguas de riego". 4ta. edición, Ediciones Mundi-Prensa, España, pp.- 7-37.
- 9.- Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS), División de Salud y Ambiente, Organización Panamericana de la Salud (OPS), Oficina Sanitaria Panamericana. Oficina Regional de la Organización Mundial de la salud. Moscoso J. 1995, "Tratamiento y uso de aguas residuales en las actividades agropecuarias. Aspectos técnicos de la agricultura con aguas residuales". Lima, Peru, pp.- 3-13.
- 10.- Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS), División de Salud y Ambiente, Organización Panamericana de la Salud (OPS), Oficina Sanitaria Panamericana. Oficina Regional de la Organización Mundial de la salud. Moscoso J. 1995, "Tratamiento y uso de aguas residuales en las actividades agropecuarias". Lima, Peru, pp.- 1-11.

11.- Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS). León S.G., 1995, "Procesos de tratamiento de aguas residuales, objetivos y selección de tecnología en función al tipo de reutilización". Lima, Peru, pp.- 1-25.

12.- Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS). León S.G. 1995, "Parámetros de calidad de importancia para el uso de aguas residuales. Guías de calidad de efluentes para la protección de la salud". Lima, Peru, pp.- 1-14.

13.- Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS). Moscoso J. Octubre de 1995, "Unidades Integradas de Tratamiento y uso de aguas residuales". Lima, Peru, pp.- 1-12.

14.- Chenevel J.P., 1993, "La Toxicidad de los Detergentes", Mundo Científico, 13 (133):216-223.

15.- Congreso de los Estados Unidos Mexicanos, 1995, "Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente". 11^a edición. Porrúa S.A., México, pp.- 56-64, 267-288.

16.- Congreso de los Estados Unidos Mexicanos, 1994, "Ley de Aguas Nacionales". 2^a edición. Porrúa, México, pp.- 63-71.

17.- De León D. y S. 1989, "Toxicología ambiental en México". Siglo XXI, México, pp.- 116-117, 126-129, 139-140.

18.- Departamento de sanidad. N.Y., 1990, "Manual de tratamiento de aguas negras". Linusa S.A. de C.V., México, pp.- 42.

19.- Duchaufor P., 1978, "Manual de edafología". Toray-Masson, S.A., Barcelona, España, pp.- 220.

20.- Environmental Protection Agency (EPA), 1981, " Process design handbook. Land treatment of municipal wastewater, E.U.A., pp.- 4-9, 9-5, 9-6.

21.- Ezcurra E., 1991, "De las Chinampas a la Megalopolis". El Ambiente en la Cuenca de México, 2da. edición. Fondo de Cultura Económica. México, pp.- 62, 70.

22.- Fair, Geyer y Okuti, 1990, "Abastecimiento de agua y remoción de aguas residuales". Ingeniería sanitaria y de aguas residuales". Linusa-Noriega, México, pp.- 137-139, 148-149.

- 23.- Fitz Patrick A.E., 1980, "Suelos. Su formación, clasificación y distribución". Continental S.A. de C.V., México, pp.- 233-236, 239, 242, 262-264, 267, 289, 296-297, 319, 323, 333.
- 24.- , Food and Agriculture Organization of the United Nations. Doorewbos J.K., 1979, "Yield response to water", Irrigation and Drainage. Roma. pp.- 1-12.
- 25.- Foth H.D., Turk L.M., 1972, "Fundamentos de la ciencia del suelo". 4ta. edición. Continental S.A., México, pp.- 62, 129.
- 26.- Geln W.H., Bregman I.J., 1976, "Handbook of water resources and pollution control". Van Nostrand Reinhold Company, U.S.A., pp.- 135-142, 600-601, 608-610.
- 27.- Gobierno del Estado de México, 1993, "Panorama Socioeconómico del Estado de México", México.
- 28.- Goldwater J.L., 1971, " El mercurio en el medio ambiente ". Rev. Química y Ecosfera. Selecciones de Scientific American. Hermann Blume. Madrid, 1976., pp.- 383-390.
- 29.- Guagnelli L.M., 1988, "Opciones para el reuso del agua en México". Ciencia y Desarrollo, Año XIV, N° 79, pp-41-50.
- 30.- Hernández M.A., 1993. "Abastecimiento y distribución de agua". 3ª Edición, Colección SEINOR, No. 6, España, pp.- 83-89, 236.
- 31.- Hernández M.A., 1992, "Saneamiento y alcantarillado". 3ª Edición, Colección SEINOR, No. 7, España, pp.- 55-60.
- 32.- Hernández M.A., 1994, "Depuración de Aguas Residuales". 2ª Edición, Colección SEINOR, No. 9, España, pp.- 97-101.
- 33.- Herrera R.I., Cortés, S.A., Mayo-Agosto 1989, "El sistema acuífero de la cuenca de México". Ingeniería hidráulica en México, pp.- 60-66.
- 34.- Instituto de Ingeniería UNAM, Programa de Ingeniería Química Ambiental y Química Ambiental (PIQAYQA), 1995, "Segunda Minisimposio internacional sobre remoción de contaminantes de aguas y suelos", Cd. Universitaria, UNAM, México.
- 35.- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) , 1986, "Carta topográfica de la Cd. de México". Escala 1:50 000, E14A39. pp.- 8-11.

- 36.- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) , 1986, "Carta Edafológica de Amecameca". Escala 1:50 000, E14B41.
- 37.- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) , 1986, "Carta Edafológica de Chalco". Escala 1:50 000, E14B31.
- 38.- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), 1994, "Estadísticas del Medio Ambiente. México , 1994". pp.- 92-96, 102-103.
- 39.- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) , 1981, "Carta topográfica de la Cd. de México". Escala 1:250 000, E14-2.
- 40.- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) , 1987, "Síntesis Geográfica, Nomenclator y Anexo Cartográfico del estado de México, pp.- 9-12, 21-23, 51-53.
- 41.- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 1989. "XII Censo Industrial. Resultados Definitivos". Censos económicos 1989. Catalogo N° 171827., pp.- 167-169, 172-174, 180-182, 199-201, 209-212, 236-237.
- 42.- Jiménez, J.R. 1989, "Agua de mayor calidad", Rev. Agua Potable 51:4, 34-41.
- 43.- Kramer J.P., 1974, "Relaciones hídricas de suelos y plantas". EDUTEX S.A., México.
- 44.- Manahan, E.S. 1993, "Fundamentals of Environmental Chemistry", Editorial Lewis Publishers. E.U.A., pp.- 378-380.
- 45.- Mason, C.F. 1984, " Biología de la contaminación del agua dulce ". 1era. edición. Alhambra. España.
- 46.- Metcalf & Eddy, 1977, "Tratamiento y depuración de las aguas residuales". Labor, España, pp.- 243-279.
- 47.- Metcalf & Eddy, Inc., 1991, "Wastewater Engineering. Treatment, disposal and reuse". McGraw-Hill. Inc. Singapore, pp.- 47-99.
- 48.- Mortvedt J.J., Giordano P.M., Lindsay W.L., 1983, "Micronutrientes en agricultura"., AGT. Editor S.A., México, pp.- 60, 192-193.

- 49.- Norma Oficial Mexicana en materia de protección ambiental, 2 de Junio de 1993. NOM-PA-CCA-031/93, NOM-PA-CCA-032/93, NOM-PA-CCA-033/93. Diario Oficial de la Federación. pp.- 116-128.
- 50.- Norma Oficial Mexicana NOM-AA-3-1980. Aguas Residuales Muestreo; Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial, Dirección General de Normas.
- 51.- Norma Oficial Mexicana NOM-AA-14-1980. Cuerpos Receptores Muestreo; Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial, Dirección General de Normas.
- 52.- Norma Oficial Mexicana NOM-AA-8-1980. Determinación de pH; Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial, Dirección General de Normas.
- 53.- Norma Oficial Mexicana NOM-AA-34-1980. Determinación de Sólidos; Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial, Dirección General de Normas.
- 54.- Norma Oficial Mexicana NOM-AA-5-1980. Determinación de Grasas y Aceites; Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial, Dirección General de Normas.
- 55.- Norma Oficial Mexicana NOM-AA-7-1980. Determinación de Temperatura; Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial, Dirección General de Normas.
- 56.- Norma Oficial Mexicana NOM-AA-30-1980. Determinación de la Demanda Química de Oxígeno; Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial, Dirección General de Normas.
- 57.- Norma Oficial Mexicana NOM-AA-28-1980. Determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno; Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial, Dirección General de Normas.
- 58.- Norma Oficial Mexicana NOM-AA-36-1980. Determinación de la Alcalinidad y Acidez; Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial, Dirección General de Normas.
- 59.- Norma Oficial Mexicana NOM-AA-51-1990. Determinación de Metales Pesados; Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial, Dirección General de Normas.
- 60.- Norma Oficial Mexicana NOM-AA-39-1980. Determinación de Sustancias Activas al Azul de Metileno (Detergentes); Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial, Dirección General de Normas.

- 61.- Norma Oficial Mexicana NOM-AA-53-1980. Determinación de la Materia Extractable con Cloroformo; Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial, Dirección General de Normas.
- 62.- Norma Oficial Mexicana NOM-AA-12-1980. Determinación de Oxígeno Disuelto; Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial, Dirección General de Normas.
- 63.- Norma Oficial Mexicana NOM-AA-93-1984. Determinación de la Conductividad Eléctrica; Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial, Dirección General de Normas.
- 64.- Norma Oficial Mexicana NOM-AA-42-1980. Determinación del Número Más probable de Coliformes Fecales (NMP); Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial, Dirección General de Normas.
- 65.- NOM-CCA-031ECOL/93. Aguas Residuales provenientes de la industria de la actividad agroindustrial, de servicios y el tratamiento de aguas residuales a los sistemas de drenaje y alcantarillado, urbano y municipal.
- 66.- NOM-CCA-032ECOL/93. Aguas Residuales de origen urbano o municipal para su disposición mediante riego agrícola.
- 67.- NOM-CCA-033ECOL/93. Aguas Residuales de origen urbano o municipal o de la mezcla de estas con la de los cuerpos de agua, en el riego de hortalizas y productos hortofrutícolas.
- 68.- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la alimentación Kraatz D.B., 1977, "Revestimiento de canales de riego". Colección FAO. Roma, pp.- 11-18, 71, 168.
- 69.- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación Kraatz D.B., Mahajan I.K., 1976, "Pequeñas Obras Hidráulicas". Estudios FAO. Riego y Drenaje 26/1 y 26/2., Roma, pp.- 6-8, 71, 152-153, 155, 157, 163, 187, 202.
- 70.- Orson W, Israelsen, Vaughn E., 1985, "Principios y prácticas del riego". 2da.edición. Reverté S.A. España, pp.- 30-32, 213-221.
- 71.- Quadri G., 1989, "Aguas residuales de la zona metropolitana de la ciudad de México. Impactos y perspectivas". Departamento del Distrito Federal, México, pp.- 1-2, 8-9, 15-28.

- 72.- Quintero R., 1995, "La biotecnología ambiental en México". Memorias del segundo minisimposio internacional sobre remoción de contaminantes de aguas y suelos. Instituto de Ingeniería, U.N.A.M., México, D.F., pp.- 10-11.
- 73.- Ramalho, R.S., 1991, " Tratamiento de aguas residuales ". 2da. edición. Reverté S.A. España, pp.- 1-2, 8-9, 15-28.
- 74.- Rodier J., 1990, "Análisis de las aguas". Omega S.A. España, pp.- 357-358.
- 75.- Rodríguez, E.P. Noland, E.C. 1989, "Algunos Aspectos Económicos sobre el Tratamiento de las Águas Residuales". Rev. Agua Potable, 62:5, 15-21.
- 76.- Russell J.E., Russell W.E., 1968, "Las condiciones del suelo y el crecimiento de las plantas". 9na. edición. Aguilar, España, pp.- 476.
- 77.- Sahab, H.E. 1989, "El Recurso Agua y su Aprovechamiento", Rev. Agua Potable, 51:4, 6-11.
- 78.- Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, Enero 1990, "Gaceta Ecológica. Criterios ecológicos de calidad del agua. CE-CCA-001/89". 6:2, 26-36.
- 79.- Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, Septiembre, 1991, "Gaceta Ecológica. NTE-CCA-031/91, NTE-CCA-032/91", pp.- 20-25.
- 80.- Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, Enero, 1992, "Gaceta Ecológica. NTE-CCA-033/91", pp.- 18-20.
- 81.- Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, Julio, 1990, "Gaceta Ecológica. Programa Nacional de la Protección del Medio Ambiente 1990-1994", pp.- 3-30.
- 82.- Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, Subsecretaría de Ecología, Dirección General de Normatividad y Regulación Ecológica, 1989. "Normas Técnicas Ecológicas que establecen los Límites Máximos Permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales de origen industrial en cuerpos de agua". Centro de investigación y de estudios avanzados del Instituto Politécnico Nacional. Tomo I, México, pp.- 188-189, 198.
- 83.- Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, Subsecretaría de Ecología, Dirección General de Normatividad y Regulación Ecológica, 1989, "Normas Técnicas Ecológicas que establecen los Límites Máximos Permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales de origen industrial en cuerpos

de agua". Centro de investigación y de estudios avanzados del Instituto Politécnico Nacional. Tomo II, México, pp.- 128-135.

84.- Secretaría de Gobernación, 1987, "Los Municipios del Estado de México". México.

85.- Stoker S.H., Spencer L.S., 1981, "Química ambiental. Contaminación del aire y del agua" BLUME, España, pp.- 162-187, 195-211, 258-265.

86.- Tebbutt T.H.Y., 1990, " Fundamentos de control de la calidad del agua ", Limusa. México, pp.-19-27, 36, 63-73, 76, 84.

87.- United States Environmental Protection Agency (USEPA), Mayo 1986, "Quality criteria for water 1986. EPA/440/5-86/001". Office of Water. Regulations and Standards Washington DC. 20460.

88.- Westman E.W., 1984, "Ecology impact assessment, and environmental planning". John-Wiley & Sons. E.U.A., pp.- 301.

89.- Wetzel G. R., 1981, "Limnología", Editorial Omega S.A. España, pp.- 10-12.

90.- Winkler A.M., 1986, " Tratamiento biológico de aguas de desecho ". Limusa. México, pp.- 24-30, 33-36, 38-40, 41-43.

14.- ANEXO

Tabla 1.- Compuestos comunes producidos por descargas industriales y actividades agrícolas que han sido clasificados como contaminantes prioritarios.

COMPUESTO	EFFECTOS A LA SALUD
NO METALES	
Arsenico (As)	Cancerígeno y mutagénico
Selenio (Se)	Manchas rojas en los dedos, dientes y pelo, depresión, irritación de nariz y boca
METALES	
Bario (Ba)	Flamable a temperatura ambiente, incrementa la presión de la sangre y existe bloqueo nervioso.
Cadmio (Cd)	Flamable, tóxico por inhalación de polvo o humo, carcinógeno. Los compuestos solubles de Cadmio son altamente tóxicos.
Cromo (Cr)	Los compuestos de Cromo hexavalente son carcinógenos y corroen los tejidos.
Plomo (Pb)	Tóxico por ingestión o inhalación de polvo o humo, daña el cerebro y los riñones. Puede provocar defectos de nacimiento.
Mercurio (Hg)	Altamente tóxico por absorción en la piel e inhalación de polvo o vapor, tóxico para el sistema nervioso central, puede provocar defectos de nacimiento.
Plata (Ag)	Es un metal tóxico, produce una decoloración gris permanente en la piel, ojos y membrana mucosa.
COMPUESTOS ORGANICOS	
Benceno (C ₆ H ₆)	Carcinógeno, altamente tóxico, flamable, riesgo peligroso de fuego.
Etil Benceno (C ₆ H ₅ C ₂ H ₅)	Tóxico por ingestión, inhalación y absorción por la piel, irritante para piel y ojos, flamable, riesgo peligroso de fuego.
Tolueno (C ₆ H ₅ CH ₃)	Flamable, riesgo peligroso de fuego, tóxico por ingestión, inhalación y absorción por la piel.
COMPUESTOS HALOGENADOS	
Clorobenceno (C ₆ H ₅ Cl)	Moderado riesgo de fuego, evitar inhalar y el contacto con la piel.
Cloroetano (CH ₂ CHCl)	Tóxico peligroso y material peligroso por exposición, carcinógeno.
Diclorometano (CH ₂ Cl ₂)	Tóxico, carcinógeno y narcótico.
Tetracloroetano (CCl ₂ CCl ₂)	Irritante para los ojos y piel.
PLAGUICIDAS, HERBICIDAS, INSECTICIDAS.	
Endrín (C ₁₂ H ₈ OCl ₆)	Tóxico por inhalación y absorción por piel, carcinógeno.
Lindano (C ₆ H ₆ Cl ₆)	Tóxico por inhalación, ingestión y absorción por la piel.
Metoxicloro (Cl ₃ CCH(C ₆ H ₄ OCH ₃) ₂)	Material tóxico.
Toxafeno (C ₁₀ H ₁₀ Cl ₄)	Tóxico por ingestión, inhalación y absorción por piel.
Silvex (Cl ₃ C ₆ H ₂ OCH(CH ₃)COOH)	Material tóxico; uso restringido.

Metcalf & Eddy, 1991.

Tabla 2. Características Físicas, Químicas y Biológicas de las aguas residuales y sus orígenes.

CARACTERÍSTICAS	ORIGEN
PROPIEDADES FISICAS	
Color	Desechos domésticos e industriales, desestabilización normal de compuestos orgánicos.
Olor	Descomposición del agua residual, desechos industriales y domésticos.
Sólidos	Suministro de aguas domésticas, desechos industriales y domésticos.
Temperatura	Desechos industriales y domésticos.
CONSTITUYENTES QUIMICOS	
ORGANICOS	
Carbohidratos	Desechos comerciales, domésticos e industriales.
Grasas y aceites	Desechos comerciales, domésticos e industriales.
Plaguicidas	Desechos agrícolas.
Fenoles	Desechos industriales.
Proteínas	Desechos comerciales, domésticos e industriales.
Surfactantes	Desechos comerciales, domésticos e industriales.
Contaminantes de alto riesgo	Desechos comerciales, domésticos e industriales.
Compuestos orgánicos volátiles	Desechos comerciales, domésticos e industriales.
INORGANICOS	
Alcalinidad	Desechos domésticos, suministros domésticos.
Cloruros	Desechos domésticos, suministros domésticos.
Metales pesados	Desechos industriales.
Nitrógeno	Desechos industriales y agrícolas.
pH	Desechos comerciales, domésticos e industriales.
Contaminantes de alto riesgo	Desechos comerciales, domésticos e industriales.
Fósforo	Desechos comerciales, domésticos e industriales.
Azufre	Desechos comerciales, domésticos e industriales.
GASES	
Acido Sulfúrico	Descomposición de desechos domésticos.
Metano	Descomposición de desechos domésticos.
Oxígeno	Suministro de agua doméstica.
CONSTITUYENTES BIOLÓGICOS	
Animales	Canales abiertos de agua y plantas de tratamiento.
Plantas	Canales abiertos de agua y plantas de tratamiento.
Bacterias	Desechos domésticos y plantas de tratamiento.

Alvárez, 1993.

Tabla 3.- Composición típica de descargas de agua doméstica sin tratamiento.

CONTAMINANTES	UNIDADES	CONCENTRACION		
		DEBIL	MEDIA	FUERTE
Sólidos Totales (ST)	mg/l	350	720	1200
Sólidos Totales Disueltos (STD)	mg/l	250	500	850
Sólidos Totales Fijos (STF)	mg/l	145	300	525
Sólidos Totales Volátiles (STV)	mg/l	105	200	325
Sólidos Totales Suspendidos (STS)	mg/l	100	220	350
Sólidos Suspendidos Fijos (SSF)	mg/l	20	55	75
Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV)	mg/l	80	165	275
Sólidos sedimentables	ml/l	5	10	20
Demanda Bioquímica de Oxígeno 5-días, 20 °C (DBO ₅ , 20 °C)	mg/l	110	220	400
Carbono Orgánico Total (COT)	mg/l	80	160	290
Demanda Química de Oxígeno (DQO).	mg/l	250	500	1000
Nitrógeno Total (como N)	mg/l	20	40	85
Orgánico	mg/l	8	15	35
Amonio libre	mg/l	12	25	50
Nitritos	mg/l	0	0	0
Nitratos	mg/l	0	0	0
Fósforo Total (como P)	mg/l	4	8	15
Orgánico	mg/l	1	3	5
Inorgánico	mg/l	3	5	10
Cloruros	mg/l	30	50	100
Sulfatos	mg/l	20	30	50
Alcalinidad (como CaCO ₃)	mg/l	50	100	200
Grasas	mg/l	50	100	150
Coliformes Totales	Nº/100 ml	10 ⁶ -10 ⁷	10 ⁷ -10 ⁸	10 ⁷ -10 ⁹
Compuestos Orgánicos Volátiles (VOCs)	µg/l	< 100	100-400	> 400

Metcalf & Eddy, 1991.

Tabla 5.-NOM-PA-CCA-031/93. Norma Oficial Mexicana que establece los Límites Máximos Permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales provenientes de la industria, actividades agroindustriales, de servicios y el tratamiento de aguas residuales a los sistemas de drenaje y alcantarillado urbano o municipal.

LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES.		
PARAMETROS	PROMEDIO DIARIO	INSTANTANEO
Temperatura (°C)		40
pH (Unidades de pH)	6 a 9	6 a 9
Sólidos Sedimentables (ml/l)	5	10
Grasas y Aceites (mg/l)	70	140
Conductividad Eléctrica (micromhos/cm)	10,000	15,000
Aluminio (mg/l)	10	20
Arsénico (mg/l)	2.0	4
Cadmio (mg/l)	0.5	1.0
Cianuros (mg/l)	1.0	2.0
Cobre (mg/l)	5.0	10
Cromo Hexavalente (mg/l)	0.5	1.0
Cromo total (mg/l)	2.5	5.0
Flúor (mg/l)	30	60
Mercurio (mg/l)	0.01	0.02
Níquel (mg/l)	4	8
Plata (mg/l)	1.0	2.0
Plomo (mg/l)	1.0	2.0
Zinc (mg/l)	6.0	12
Fenoles (mg/l)	5.0	10
Sustancias Activas al Azul de Metileno SAAM (mg/l)	30	60

Diario Oficial de la Federación, 1993.

Tabla 6.-NOM-PA-CCA-032/93. Norma Oficial Mexicana que establece los Límites Máximos Permisibles de contaminantes en las aguas residuales de origen urbano o municipal para su disposición mediante riego agrícola.

PARAMETROS	LIMITE MAXIMO PERMISIBLE
pH (Unidades de pH)	6.5 a 8.5
Conductividad Eléctrica (micromhos/cm)	2,000
Aluminio (mg/l)	0.20
Antimonio (mg/l)	0.10
Arsénico (mg/l)	0.10
Boro (mg/l)	0.75
Cadmio (mg/l)	0.01
Cianuros (mg/l)	0.02
Cobre (mg/l)	0.20
Cromo (mg/l)	0.01
Fierro (mg/l)	5.0
Fluoruros (como Flúor) (mg/l)	1.0
Manganeso (mg/l)	0.02
Níquel (mg/l)	0.05
Plomo (mg/l)	0.50
Selenio (como selenato) (mg/l)	0.02
Zinc (mg/l)	2.0

Diario Oficial de la Federación, 1993.

Tabla 7.-NOM-PA-CCA-033/93. Norma Oficial Mexicana que establece las condiciones para el uso de aguas residuales de origen urbano o municipal o de la mezcla de éstas con la de los cuerpos de agua en el riego agrícola.⁵⁰

Las restricciones de las aguas residuales de origen urbano o municipal o de la mezcla de estas con la de los cuerpos de agua, que se dispongan a través de su uso en el riego de hortalizas de consumo crudo, en lo relativo a parámetros bacteriológicos se clasifican en los siguientes tipos para efectos de determinar las clases de cultivos no permitidos:

- I** Tipo 1. La que contenga menos de 1,000 coliformes totales por cada 100 ml, y ningún huevo de helminto viable por litro de agua.
- II** Tipo 2. La que contiene de 1 a 1,000 coliformes fecales por cada 100 ml, y cuando más un huevo viable de helminto por litro de agua.
- III** Tipo 3. La que contiene de 1,001 a 100,000 coliformes fecales por cada 100 ml
- IV** Tipo 4. La que contiene más de 100,000 coliformes fecales por cada 100 ml.

TABLA 7

TIPO DE RIEGO	TIPO DE AGUA	INTERVALO DE TIEMPO MINIMO (DIAS) ENTRE EL ULTIMO RIEGO Y LA COSECHA	CULTIVOS NO PERMITIDOS
I N U N D A C I O N	I	20	<i>Hortalizas.</i> Acelga, ajo, apio, berro, betabél, brócoli, cebolla, cilantro, col, coliflor, epazote, espinaca, hongo, lechuga, pápalo, perejil, quelite, quintonil, rábano, hierbabuena, zanahoria, pepino, calabacita, jitomate, tomatillo y tomate verde o de cáscara, con excepción de las cinco últimas cuando se siembre con espaldera. Se equiparan a las hortalizas los siguientes frutos: fresa, jicama, melón, sandía y zarzamora. <i>Excepto.</i> ajo, pepino, jicama, melón y sandía.
	II	20	<i>Hortalizas.</i> Acelga, ajo, apio, berro, betahél, brócoli, cebolla, cilantro, col, coliflor, epazote, espinaca, hongo, lechuga, pápalo, perejil, quelite, quintonil, rábano, hierbabuena, zanahoria, pepino, calabacita, jitomate, tomatillo y tomate verde o de cáscara, con excepción de las cinco últimas cuando se siembre con espaldera. Se equiparan a las hortalizas los siguientes frutos: fresa, jicama, melón, sandía y zarzamora. <i>Excepto.</i> melón y sandía.
	III	20	<i>Hortalizas.</i> Acelga, ajo, apio, berro, betabél, brócoli, cebolla, cilantro, col, coliflor, epazote, espinaca, hongo, lechuga, pápalo, perejil, quelite, quintonil, rábano, hierbabuena, zanahoria, pepino, calabacita, jitomate, tomatillo y tomate verde o de cáscara, con excepción de las cinco últimas cuando se siembre con espaldera. Se equiparan a las hortalizas los siguientes frutos: fresa, jicama, melón, sandía y zarzamora.
	IV	20	<i>Hortofrutícolas.</i> Acelga, ajo, apio, berro, betabél, brócoli, cebolla, cilantro, col, coliflor, epazote, espinaca, hongo, lechuga, pápalo, perejil, quelite, quintonil, rábano, hierbabuena, zanahoria, pepino, calabacita, jitomate, tomatillo y tomate verde o de cáscara, con excepción de las cinco últimas cuando se siembre con espaldera. Se equiparan a las hortalizas los siguientes frutos: fresa, jicama, melón, sandía y zarzamora, y todas las demás hortalizas y frutos en general.

TABLA 7.- (CONTINUACION)

S U R C O	I	15	<p>Hortalizas. Acelga, ajo, apio, berro, betabél, brócoli, cebolla, cilantro, col, coliflor, epazote, espinaca, hongo, lechuga, pápalo, perejil, quelite, quintonil, rábano, hierbabuena, zanahoria, pepino, calabacita, jitomate, tomatillo y tomate verde o de cáscara, con excepción de las cinco últimas cuando se siembre con espaldera. Se equiparan a las hortalizas los siguientes frutos: fresa, jícama, melón, sandía y zarzamora.</p> <p>Excepto: ajo, pepino, jícama, melón y sandía, así como el tomate verde o de cáscara.</p>
		20	Libre Cultivo.
	II	20	<p>Hortalizas. Acelga, ajo, apio, berro, betabél, brócoli, cebolla, cilantro, col, coliflor, epazote, espinaca, hongo, lechuga, pápalo, perejil, quelite, quintonil, rábano, hierbabuena, zanahoria, pepino, calabacita, jitomate, tomatillo y tomate verde o de cáscara, con excepción de las cinco últimas cuando se siembre con espaldera. Se equiparan a las hortalizas los siguientes frutos: fresa, jícama, melón, sandía y zarzamora.</p> <p>Excepto: ajo, pepino, jícama, melón y sandía, así como el tomate verde o de cáscara.</p>
	III	20	<p>Hortalizas. Acelga, ajo, apio, berro, betabél, brócoli, cebolla, cilantro, col, coliflor, epazote, espinaca, hongo, lechuga, pápalo, perejil, quelite, quintonil, rábano, hierbabuena, zanahoria, pepino, calabacita, jitomate, tomatillo y tomate verde o de cáscara, con excepción de las cinco últimas cuando se siembre con espaldera. Se equiparan a las hortalizas los siguientes frutos: fresa, jícama, melón, sandía y zarzamora.</p> <p>Excepto: melón y sandía.</p>
IV	20	<p>Hortofrutícolas. Acelga, ajo, apio, berro, betabél, brócoli, cebolla, cilantro, col, coliflor, epazote, espinaca, hongo, lechuga, pápalo, perejil, quelite, quintonil, rábano, hierbabuena, zanahoria, pepino, calabacita, jitomate, tomatillo y tomate verde o de cáscara, con excepción de las cinco últimas cuando se siembre con espaldera. Se equiparan a las hortalizas los siguientes frutos: fresa, jícama, melón, sandía y zarzamora, y todas las demás hortalizas y frutos en general.</p> <p>Excepto: ajo, pepino, jícama, melón y sandía.</p>	

TABLA 7.- (CONTINUACION)

A S P E R S I O N	I	20	<p><i>Hortalizas.</i> Acelga, ajo, apio, berro, betabel, brócoli, cebolla, cilantro, col, coiflor, epazote, espinaca, hongo, lechuga, pápalo, perejil, quelite, quintonil, rábano, hierbabuena, zanahoria, pepino, calabacita, jitomate, tomatillo y tomate verde o de cáscara, con excepción de las cinco últimas cuando se siembre con espaldera. Se equiparan a las hortalizas los siguientes frutos: fresa, jícama, melón, sandía y zarzamora.</p> <p><i>Excepto:</i> melón y sandía.</p>
	II, III, IV.	20	<p><i>Hortofrutícolas.</i> Acelga, ajo, apio, berro, betabel, brócoli, cebolla, cilantro, col, coliflor, epazote, espinaca, hongo, lechuga, pápalo, perejil, quelite, quintonil, rábano, hierbabuena, zanahoria, pepino, calabacita, jitomate, tomatillo y tomate verde o de cáscara, con excepción de las cinco últimas cuando se siembre con espaldera. Se equiparan a las hortalizas los siguientes frutos: fresa, jícama, melón, sandía y zarzamora, y todas las demás hortalizas y frutos en general.</p>

Diario Oficial de la Federación, 1993.

Tabla 8.-Criterios Ecológicos de Calidad del Agua.

SUSTANCIA O PARAMETRO.	FUENTE DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE.	RIEGO AGRICOLA
Alcalinidad (como CaCO ₃) (mg/CaCO ₃)	400.0	N.C.
Extractable en Cloroformo (mg/l)	3.0	N.C.
Coliformes Fecales (NMP/100)	1000.00	1000.00
Conductividad Eléctrica (microhoms/cm) (IV)	N.C.	1000.00
Grasas y Aceites (mg/l)	Ausente	N.C.
Oxígeno Disuelto (O.D.) (mgO ₂ /l) (II)	4.0	N.C.
Potencial de Hidrógeno (pH) (Unidades de pH) (III)	5-9	4.5-9.0
Sólidos Totales (mg/l)	1000.00	N.C.
Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM) (mg/l)	0.5	N.C.
Temperatura (°C)	Condiciones naturales + 2.5	N.C.
Cadmio (mg/l) (I)	0.01	0.01
Cobre (mg/l)	1.0	0.20
Fierro (mg/l)	0.3	5.0
Plomo (mg/l)	0.05	5.0
Zinc (mg/l)	5.0	2.0

Gaceta Ecológica, 1990.

I. -La sustancia es persistente, bioacumulación o riesgo de cáncer, por lo que debe reducirse a un mínimo la exposición humana.

II. - Para O.D. los niveles establecidos deben considerarse como mínimos.

III. - Para pH, los niveles establecidos deben considerarse como mínimos y máximos.

IV. - Este nivel considera el uso del agua bajo condiciones medias de textura del suelo, velocidad de infiltración, drenaje, lámina de riego empleada, clima y tolerancia de los cultivos a las sales. Desviaciones considerables del valor medio de estas variables pueden hacer inseguro el uso de esta agua.

N.C. - No Considerado.

**Tabla 9.- Establecimientos Manufactureros más importantes
(INEGI, Censos Económicos, 1989)**

TLALMANALCO	
RAMA DE ACTIVIDAD	NUMERO DE ESTABLECIMIENTOS
Productos alimenticios, bebidas y tabaco	24
Molienda de Nixtamal y Fabricación de tortillas.	16
Papel y productos del mismo, Imprentas y editoriales.	8
Productos metálicos, maquinaria y equipo (Incluye instrumentos quirúrgicos y de precisión).	5
Fabricación de estructuras metálicas, tanques y calderas industriales (incluye trabajos de herrería).	5

XII Censo Industrial (INEGI, 1989).

**Tabla 10.- Establecimientos Manufactureros más importantes
(INEGI, Censos Económicos, 1989)**

TLALMANALCO	
RAMA DE ACTIVIDAD	NUMERO DE ESTABLECIMIENTOS
Productos alimenticios, bebidas y tabaco	154
Molienda de Nixtamal y Fabricación de tortillas.	88
Productos metálicos, maquinaria y equipo (Incluye instrumentos quirúrgicos y de precisión).	80
Fabricación de estructuras metálicas, tanques y calderas industriales (incluye trabajos de herrería).	47
Elaboración de productos lácteos	28
Textiles, prendas de vestir e industria del cuero.	18
Fabricación de otros productos metálicos. Excluye maquinaria.	15
Productos minerales no metálicos. Excluye los derivados del petróleo y del carbón.	10
Confección de prendas de vestir.	10
Papel y productos del mismo, Imprentas y editoriales.	5

XII Censo Industrial (INEGI, 1989).

Tabla 11.- Establecimientos Manufactureros más importantes
(INEGI, Censos Económicos, 1989)

I XTAPALUCA	
RAMA DE ACTIVIDAD	NUMERO DE ESTABLECIMIENTOS
Productos minerales no metálicos (excluye los derivados del petróleo y del carbón).	129
Fabricación de materiales de arcilla para la construcción.	119
Productos alimenticios, bebidas y tabaco.	90
Molienda de nixtamal y fabricación de tortillas.	54
Productos metálicos, maquinaria y equipo (incluye instrumentos quirúrgicos y de precisión).	31
Textiles, prendas de vestir e industria del cuero.	22
Fabricación de estructuras metálicas, tanques y calderas industriales (incluye trabajos de herrería).	17
Elaboración de productos de panadería.	14
Papel y productos del mismo, imprentas y editoriales.	13
Hilado, tejido y acabado de fibras blandas.	12
Elaboración de productos lácteos.	10
Manufactura de celulosa, papel y sus productos.	10
Fabricación de cemento, cal, yeso y otros productos a base de minerales no metálicos.	10
Industria de la madera y productos de madera (incluye muebles).	6
Elaboración de otros productos alimenticios para el consumo humano.	5
Fabricación de tejidos de punto.	5
Imprentas, editoriales e industrias.	3

XII Censo Industrial (INEGI, 1989).

Tabla 12.- Establecimientos Manufactureros más importantes
(INEGI, Censos Económicos, 1989)

LOS REYES LA PAZ	
RAMA DE ACTIVIDAD MAS IMPORTANTE	NUMERO DE ESTABLECIMIENTOS
Productos alimenticios, bebidas y tabaco.	103
Molenda de nixtamal y fabricación de tortillas.	57
Productos metálicos, maquinaria y equipo (incluye instrumentos quirúrgicos y de precisión).	57
Fabricación de estructuras metálicas, tanques y calderas industriales (incluye trabajos de herrería).	27
Sustancias químicas, productos derivados del petróleo, del carbón, de hule y de plástico.	24
Textiles, prendas de vestir e industria del cuero.	21
Papel y productos del mismo, imprentas y editoriales.	20
Productos minerales no metálicos (excluye los derivados del petróleo y del carbón).	19
Elaboración de productos lácteos.	16
Elaboración de productos de panadería.	14
Manufactura de celulosa, papel y sus productos.	12
Fabricación de otros productos metálicos (excluye maquinaria y equipo).	11
Confección de prendas de vestir.	11
Industrias de la madera y productos de madera, incluye muebles.	10

XII Censo Industrial (INEGI, 1989).

Tabla 13.- Establecimientos Manufactureros más importantes
(INEGI, Censos Económicos, 1989)

CD. NETZAHUALCOYOTL	
RAMA DE ACTIVIDAD MAS IMPORTANTE	NUMERO DE ESTABLECIMIENTOS
Productos alimenticios, bebidas y tabaco.	1086
Molienda de nixtamal y fabricación de tortillas.	615
Productos metálicos, maquinaria y equipo (incluye instrumentos quirúrgicos y de precisión).	378
Fabricación de estructuras metálicas, tanques y calderas industriales (incluye trabajos de herrería).	256
Elaboración de productos de panadería.	202
Industrias de la madera y productos de madera (incluye muebles).	172
Elaboración de productos lácteos.	150
Textiles, prendas de vestir e industria del cuero.	138
Fabricación y reparación de muebles principalmente de madera (incluye colchones).	122
Confección de prendas de vestir.	100
Elaboración de otros productos alimenticios para el consumo humano.	65
Papel y productos de papel, imprentas y editoriales.	61
Imprentas, editoriales e industrias conexas.	57
Productos minerales no metálicos (excluye los derivados del petróleo y del carbón).	55
Sustancias químicas, productos derivados del petróleo y del carbón, de hule y de plástico.	45
Fabricación de otros productos metálicos (excluye maquinaria y equipo).	43

XII Censo Industrial (INEGI, 1989).