



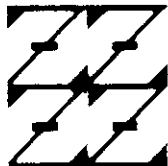
**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO**

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA.

CARACTERIZACION DE LAS AGUAS RESIDUALES  
UTILIZADAS PARA RIEGO AGRICOLA EN EL DISTRITO DE  
DESARROLLO RURAL 063 DEL VALLE DEL MEZQUITAL  
(IXMIQUILPAN) HIDALGO.

**T E S I S**  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
**QUIMICO FARMACEUTICO BIOLOGO**  
P R E S E N T A :  
**MANUEL HERNANDEZ MARTINEZ**

U N A M  
F E S  
Z A R A G O Z A



LO HIRIENDO EJE  
DE NUESTRA REFLEXION

DIRECTOR DE TESIS: BIOL. MARICELA ARTEAGA MEJIA

MEXICO, D. F.

OCTUBRE DEL 2001



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.

## UN SUEÑO

Sobre la arena de la playa  
caminaba con el Señor.

En el firmamento se dibujaban  
escenas de mi vida y en la arena  
dos juegos de pisadas, uno era mío,  
el otro del Señor.

Cuando miré hacia atrás para ver  
las huellas, noté que varias veces  
a lo largo del camino de mi vida,  
había sólo un par de pisadas, y esto  
había sucedido en los tiempos  
más dolorosos y tristes de mi vida.

Pregunte al Señor:

Señor, me dijiste que cuando decidiera  
seguirte, caminarías siempre a mi lado,  
pero he notado que en los momentos  
más difíciles hay solamente un par  
de pisadas.

¿Porqué cuando más te necesitaba  
me abandonaste ?

El Señor me contestó.

Hijo:

Te quiero y nunca te abandonaré,  
cuando veas solamente un par de pisadas  
es que te llevaba en mis brazos.

ANÓNIMO

## AGRADECIMIENTOS

**A mis padres:** Ernestina Martínez Vda. de Hernández  
Porfirio Hernández Ocádiz \*

Con todo el cariño y agradecimiento por su apoyo incondicional, les dedico los logros de mi vida.

**A mis hermanos:** Guillermo, Eugenia, Ernestina, Porfirio \*  
Felipe, Ricardo, Laura y Dolores

Por su apoyo y comprensión.

**A Mi Novia:** Marisela González Barranco

Un reconocimiento muy especial por su valioso y desinteresado apoyo, por su cariño, confianza, paciencia y comprensión que siempre me ha brindado y por compartir momentos agradables y difíciles de la vida.

**A todos mis familiares y amigos:**

Que me han apoyado siempre.

**A la Bióloga Maricela Arteaga Mejía**

**A la Maestra en Ciencias Lourdes Castillo Granada:**

Agradezco infinitamente por la asesoría y acertadas sugerencias para la realización de este tema de tesis.

**A la Química Guadalupe Miranda Jimeno**  
**A la Bióloga Aída Zapata Cruz**  
**A el Químico Carlos Salvador Valadez Sánchez:**

Por sus comentarios, sugerencias y por la  
revisión de este trabajo, además de  
participar como miembros del jurado.

**A el Biólogo Ramiro Ríos Gómez:**

Agradezco ampliamente por la asesoría en la  
toma de muestras, así como por sus valiosos  
puntos de vista para la realización de este  
trabajo de tesis.

**A todas aquellas personas que de alguna manera participaron para la realización  
de este trabajo.**

## ÍNDICE

	PÁGINA
1. RESUMEN	1
2. INTRODUCCIÓN	3
3. MARCO TEÓRICO	5
3.1 Antecedentes Históricos y Socioeconómicos de los Distritos de Desarrollo Rural 063 y 100 del Valle del Mexquital, en el Estado de Hidalgo	6
3.1.1. Antecedentes Históricos	6
3.1.2. Antecedentes Socioeconómicos	6
3.1.3. Generalidades	7
3.1.4. Evaluación de las características Físicas	9
3.1.4.1. Sólidos	9
3.1.4.2. Temperatura	10
3.1.4.3. Conductividad Eléctrica	10
3.1.4.4. pH	10
3.1.5. Evaluación de las Características Químicas	11
3.1.5.1. Sustancias Activas al Azul del Metileno (SAAM)	11
3.1.5.2. Grasas y Aceites	12
3.1.5.3. Demanda Química de Oxígeno (DQO)	12
3.1.5.4. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	13
3.1.5.5. Oxígeno Disuelto	14
3.1.5.6. Metales Pesados	15
3.1.5.7. Metales Ligeros	21
3.1.6. Evaluación de las Características Biológicas	23
3.2. Tratamiento de Aguas Residuales	25
3.3. Aspectos Legales Para la prevención y Control de la Contaminación del Agua	26
4. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	28
5. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	31
6. OBJETIVOS	33
7. HIPÓTESIS	35
8. MATERIAL Y EQUIPO	37
9. METODOLOGÍA	40
10. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	43

## ÍNDICE

	PÁGINA
11. CONCLUSIONES	70
12. PROPUESTAS	75
13. BIBLIOGRAFÍA	77
14. ANEXO	84

# RESUMEN



## 1. RESUMEN

Las aguas residuales de la ciudad de México y área Conurbada se destinan al riego agrícola en el Distrito de Desarrollo Rural 063 del Valle del Mezquital Ixmiquilpan Hidalgo desde principios de siglo. Sin embargo, las aguas que originalmente llevaban desechos orgánicos se volvieron más complejas debido a la explosión demográfica e industrial que ocurrió a partir de la década de los sesenta; de tal forma que estas aguas contienen una cantidad considerable de contaminantes como metales pesados, sales, aceites y grasas, coliformes totales y fecales, etc. los cuales se depositan en los suelos agrícolas, hecho que constituye un peligro potencial de contaminación que afecta la cadena natural agua-suelo-planta.

Considerando lo anterior, es importante evaluar las características Físicas, Químicas y Biológicas de las aguas residuales del Distrito mencionado, donde además se utilizan aguas blancas y aguas mezcladas para el riego agrícola. La evaluación de la calidad del agua se realizó de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996. También se consideran los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua, la NOM-127-SSA-1994, los límites recomendados por la OMS de algunos parámetros.

De los 9 sitios de muestreo 4 son de aguas de primer uso y 5 de aguas residuales.

De acuerdo a los resultados obtenidos para las aguas de primer uso, los coliformes totales y fecales, Cd, Pb y Cr no cumplen con la NOM-127-SSA-1994 (agua para uso y consumo humano) ni con los límites de grasas y aceites, sólidos totales, Pb, Cr, Cd y coliformes fecales que se indican en los criterios de calidad para fuente de abastecimiento de agua potable. En Taxadho no se detectaron Cd, Cr, Pb ni coliformes totales y fecales.

Las aguas de primer uso no cumplen con la concentración de grasas y aceites y coliformes fecales que indica la NOM-001-ECOL-1996, ni con los límites de Cd y conductividad eléctrica que indican los criterios de calidad de agua para riego.

En relación a los resultados de las aguas residuales, ningún sitio cumple con los niveles de aceptación de grasas y aceites y coliformes fecales que se indican en la NOM-001-ECOL-1996, ni con los límites de Cd, conductividad eléctrica y coliformes fecales que se estipulan en los criterios de calidad de agua para riego agrícola.

Tomando en cuenta las características microbiológicas las aguas residuales se clasifican como tipo 3 excepto las del Río Tula la cual se clasifica como tipo 4.

En relación a las aguas de primer uso; Maguey Blanco y Taxadho se clasifican como tipo 1; el Manantial Tephe como tipo 3 y el Pozo Noria como tipo 4.

# INTRODUCCIÓN

## 2. INTRODUCCIÓN

La contaminación ambiental es un problema que se ha acentuado, entre otras causas, como resultado del crecimiento de la población (Flores, 1991). En el caso del Valle de México, la población creció en seis décadas, de menos de uno a 20 millones de habitantes (Quadri, 1989), lo que tuvo como consecuencia una mayor demanda de servicios públicos, particularmente de agua potable. El volumen que se requiere para abastecer esta metrópoli, la más grande del mundo, es de  $58 \text{ m}^3/\text{s}$  del cual el 72% ( $42 \text{ m}^3/\text{s}$ ) proviene del subsuelo, y para satisfacer el déficit se ha tenido que recurrir a la transferencia de agua de los sistemas Lerma-Santiago, Balsas, Cutzamala y Chiconautla (Maples, 1990; SEDUE, 1990).

En la Ciudad de México se generan  $46 \text{ m}^3/\text{s}$  de aguas residuales, en Monterrey  $8.5$  y en Guadalajara  $8.2 \text{ m}^3/\text{s}$ , que equivalen al 34% del total nacional, estimado en  $184 \text{ m}^3/\text{s}$ ; de éstos,  $105 \text{ m}^3/\text{s}$  corresponden a descargas municipales y  $79 \text{ m}^3/\text{s}$  a descargas industriales.

El sector industrial, de acuerdo con los índices de extracción, consumo y contaminación de agua, se ha configurado en 39 grupos, de los cuales 9 son los que producen la mayor cantidad de aguas residuales: azúcar, química, papel y celulosa, petróleo, bebidas, textiles, siderurgia, electricidad y alimentos, que en conjunto arrojan el 82% del total de aguas residuales de origen industrial. Destacan la industria azucarera y química, con el 59.8% del total (Merck-México, 1991; SEDUE, 1990).

Las aguas residuales industriales varían en su composición de acuerdo con los procesos de la industria. Algunas son aguas de lavado relativamente limpias; otras se encuentran fuertemente cargadas de materia orgánica, mineral, o con sustancias corrosivas, venenosas, inflamables o explosivas (Fair, 1996).

El Distrito de Desarrollo Rural 063 es el destino final de la mayor parte de las aguas residuales de la ZMCM. Donde el mayor volumen se utiliza para riego agrícola sin tratamiento alguno desde 1912 (Quadri, 1989; Siebe, 1994). Esta tendencia puede ser muy peligrosa, lo que provoca la dispersión de contaminantes tóxicos que causan la degradación de los suelos, plantas, contaminación de mantos freáticos y considerando la cadena alimenticia, riesgos a la salud humana (Collí, 1990). Aparte de estas aguas, los Distritos de Riego 063 y 100, también reciben un volumen importante de aguas subterráneas y aguas mezcladas (Quadri, 1989).

# MARCO TEÓRICO

### 3. MARCO TEÓRICO

#### 3.1. Antecedentes Históricos y Socioeconómicos de los Distritos de Desarrollo Rural 063 y 100 del Valle del Mezquital, en el Estado de Hidalgo.

##### 3.1.1. Antecedentes Históricos.

La evidencia arqueológica en el Valle del Mezquital, indica que existió la agricultura antes de la época colonial, usándose técnicas de chinampa. En el Valle del Mezquital hubo pocas obras hidráulicas importantes, anteriores al siglo XIX, con la excepción del Tajo de Nochistongo, que respondía a la necesidad de prevenir las inundaciones que se originaban en la ciudad de México, como consecuencia de su situación geográfica en el centro de una cuenca endorréica lacustre rodeada de montañas. El Tajo de Nochistongo sirvió para desviar las aguas del río Cuautitlán hacia el río el Salto, que resulta un afluente del Río Tula. Con lo cual la laguna de Zumpango que originalmente recibía al río Cuautitlán, quedaba con mayor espacio para recibir los excedentes de agua del Lago de Texcoco (Maples, 1990).

Las inundaciones en la Ciudad de México disminuyeron pero el problema no quedó resuelto y hasta 1886 se inició la excavación de un túnel de 10 Km de largo a la altura de Tequisquiác, obra terminada en 1900, año a partir del cual se inicia el riego sistemático con aguas negras en el Valle del Mezquital. Las aguas negras eran conducidas por el Gran Canal del Desagüe y desemboca en el río el Salado. Las inundaciones persistían y finalmente desaparecieron en 1967, año en que se inicia la construcción del Emisor Central, terminado en 1975. Este ducto de 68 Km de longitud y con una capacidad de conducción de 220 m<sup>3</sup>/s colecta las aguas excedentes de distintas partes de la ZMCM y las conduce hacia la presa Requena (Maples, 1990).

##### 3.1.2. Antecedentes Socioeconómicos.

Los pobladores del Valle del Mezquital se han habituado a la presencia de las aguas residuales en virtud de que su paso por su territorio y su uso para fines agrícolas se inicia desde el siglo pasado. Sus actividades hasta antes de los años setentas eran muy limitadas como el tallado de la lechuguilla, la venta de artesanías, pulque, la transformación del shante (Otomí, "Ixtle") en algún producto comercial, así como a una pobre agricultura (Maples, 1990).

Actualmente la actividad agrícola es muy importante ya que es la fuente de ingresos de la mayor parte de la población. Los principales cultivos son: trigo, maíz, cebada, alfalfa, sorgo, chile, jitomate, calabaza, cebolla, ajo, haba, avena, entre otros.

Cabe mencionar que aunque por razones sanitarias y para minimizar los riesgos potenciales a la salud, está prohibido cultivar aquellas hortalizas que tienen un contacto

directo con el suelo, las que, sin embargo, se cultivan en la región. Los frutales existentes más importantes son nopal, tuna, aguacate e higo (Quadri, 1989).

En el municipio de Tula se encuentra la industria petroquímica, que sobrepasa el valor de la producción agrícola, Industrial (hilados y textiles, yeso, cal, cemento, principalmente) y de servicios del Valle del Mezquital (Quadri, 1989; Maples, 1990).

### **3.1.3. Generalidades.**

La Norma Oficial Mexicana NOM-127 SSA1-1994, Salud ambiental, agua para uso y consumo humano, considera agua para uso y consumo humano a aquella que no contiene contaminantes objetables, ya sean químicos o agentes infecciosos y que no causan efectos nocivos al ser humano.

El agua que se envía a la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM) debe conducirse por 127 km de tuberías y deben vencer un desnivel de aproximadamente 2240 m, donde la energía necesaria para mover tales volúmenes es del orden de 150 MW (millones de watts) proporcionados en forma constante durante todo el año (Ezcurra, 1991).

En México, al igual que en otros países del mundo se utilizan las aguas residuales para riego agrícola provenientes de las zonas urbanas (Mejía, 1990).

El agua residual es el líquido de composición variada proveniente de varios usos como el municipal, industrial, comercial, agrícola, pecuario o de cualquier otra índole, ya sea pública o privada, y que por tal motivo haya sufrido degradación o alteración en su calidad original (Diario Oficial, 1980).

El agua residual doméstica procedente de cocinas, sanitarios y lavanderías a la cual se agregan materiales minerales, orgánicos, materia fecal, papel, detergentes, grasas, restos de alimentos y otros componentes. Ciertos residuos permanecen en suspensión, algunos en solución y otros llegan a estar tan finamente divididos de tal manera que adquieren las propiedades de las partículas coloidales (dispersas). Gran parte de la materia residual es orgánica y útil para los microorganismos saprófitos, los que se encargan de la descomposición de la materia orgánica. Se infiere que el drenaje doméstico es inestable, biológicamente degradable y capaz de originar olores desagradables (Fair, 1999).

El sistema de drenaje colecta las aguas residuales (municipales, domésticas, comerciales y pecuarias) que se generan en la ZMCM, así como las pluviales y las desaloja por el sistema general de desagüe. Esto significa que la muestra resultante es compleja y variable en sus propiedades físicas, químicas y biológicas (Quadri, 1989).

Entre los principales contaminantes que alteran estas propiedades se tienen fenoles, metales pesados, plaguicidas y pesticidas agrícolas, detergentes, aceites y grasas, materia

orgánica compleja de las deyecciones humanas y animales, organismos patógenos como virus, bacterias entre las que resaltan las del tipo coliformes, algas, levaduras, etc. (Bébin, 1988).

Actualmente existen tres salidas para las aguas residuales del Valle de México; estas son: *El Emisor del Poniente*, *el Gran Canal de Desagüe* y *el Emisor Central* (Quadri, 1989).

*El Emisor del Poniente*: es la salida más antigua, se construyó originalmente para desalojar las aguas del río Cuautitlán que producía inundaciones. Tiene una longitud de 47.8 Km. y conduce hasta 80 m<sup>3</sup>/s, descarga al río el Salto afluente del Tula.

*El Gran Canal de Desagüe*: tiene una longitud de 47.4 Km, se construyó durante la época del Porfiriato y tiene capacidad para conducir más de 115 m<sup>3</sup>/s, descarga a través de dos túneles al río Salado, también afluente del río Tula. Se inicia en la zona urbana y a todo lo largo de su recorrido en el Distrito Federal y parte del Estado de México, atraviesa numerosas colonias.

*El Emisor Central*: es la estructura más reciente, forma parte del sistema de drenaje profundo con una longitud de 49.7 Km. Tiene una capacidad para conducir hasta 220 m<sup>3</sup>/s; descarga al río el Salto y a través del Canal Salto Tlamaco concluido en 1988.

Estas tres salidas conducen las aguas residuales de la ZMCM destinadas para riego agrícola a los Distritos de Desarrollo Rural 063 y 100 del Valle del Mezquital Hidalgo (Alvarez, 1993; Bébin, 1988; Quadri, 1989).

*Muestreo*: El muestreo de un agua residual es necesario para obtener datos de sus características físicas, químicas y biológicas. Los sitios de monitoreo se fijan mediante un programa adecuado, que considere las fuentes de contaminación, caudal y velocidad de corriente, dilución por corrientes ramificadas, cambios en la topografía, declive, entre otros aspectos (AWWA, 1990; López, 1980).

Para este fin, las muestras deberán representar verdaderamente la masa de agua residual total así como las condiciones que existen en el punto y hora de muestreo, además de tener el volumen suficiente para efectuar en ellas las determinaciones correspondientes (López, 1980).

Para asegurar la validez de los resultados analíticos, no debe haber cambios significativos en las muestras tomadas, por esta razón, es esencial asegurar la integridad de la muestra, desde el momento en que fue tomada hasta el instante de su análisis (APHA, 1992; López, 1980).

### 3.1.4. Evaluación de las Características Físicas.

#### 3.1.4.1. Sólidos.

La característica física más importante del agua residual es su contenido total de sólidos y representan la totalidad del material flotante, materia en suspensión, en dispersión, coloidal y en disolución que contiene.

El contenido total de sólidos de un agua residual se define como toda la materia que permanece como residuo después de evaporar y secar la muestra a 103-105 °C. Los sólidos totales, o residuo de evaporación pueden clasificarse como sólidos suspendidos o sólidos filtrables, después de hacer pasar un volumen conocido de líquido por un filtro. El filtro se elige de modo que el diámetro mínimo de los sólidos suspendidos sea aproximadamente una micra ( $\mu\text{m}$ ); la fracción de sólidos suspendidos incluye los sólidos sedimentables que se depositarán en el fondo del cono Imhoff durante un periodo de 60 minutos. Los sólidos sedimentables son una medida aproximada de la cantidad de lodos residuales que se eliminará mediante sedimentación (Metcalf, 1991). La determinación de sólidos sedimentables es útil para realizar el diseño de los tanques de sedimentación y para conocer la eficiencia de las unidades de sedimentación (Hardenbergh, 1987).

La fracción de sólidos filtrables se compone de sólidos coloidales y disueltos. La fracción coloidal consiste en partículas con un diámetro aproximado que oscila entre  $10^{-3}$  y  $1\mu\text{m}$ . Los sólidos disueltos se componen de iones, moléculas orgánicas e inorgánicas que se encuentran presentes en disolución verdadera en el agua. La fracción coloidal, por lo general requiere una coagulación u oxidación biológica seguida de sedimentación para su eliminación. Cada una de estas clases de sólidos pueden clasificarse con base en su volatilidad a 600 °C. La fracción orgánica se oxidará en  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$  permanciendo la fracción inorgánica como ceniza. Por tanto, los términos “sólidos suspendidos volátiles y sólidos suspendidos fijos” se refieren, respectivamente, al contenido orgánico e inorgánico de los sólidos suspendidos.

La determinación de los sólidos suspendidos es uno de los mejores parámetros usados para valorar la concentración de las aguas residuales domésticas y para determinar la eficiencia de las unidades de tratamiento.

A 600 °C, la descomposición de las sales inorgánicas se limita al carbonato de magnesio, que se descompone en óxido de magnesio y dióxido de carbono a 350 °C. El carbonato de calcio, principal componente de las sales inorgánicas, es estable hasta una temperatura de 825 °C. El análisis de los sólidos volátiles frecuentemente se aplica a los lodos residuales para medir su estabilidad biológica (Metcalf, 1991).

Las determinaciones de sólidos son importantes debido a que indican la intensidad y fuerza de las aguas, también ofrecen una estimación de la reducción de componentes sólidos que se pueden llevar a cabo mediante los diferentes pasos del proceso de



tratamiento. De igual manera, ofrecen una idea del volumen de materiales que se pueden esperar después de cada parte del tratamiento (Hardenbergh, 1987).

#### *3.1.4.2. Temperatura.*

El concepto de temperatura se refiere a la propiedad termodinámica que determina si existe o no el equilibrio entre dos o más sistemas (Castellan 1983). La temperatura del agua residual generalmente es más alta que la de suministro, debido a la adición del agua caliente procedente de las actividades domésticas e industriales.

Dependiendo de su localización geográfica, la temperatura media anual del agua residual varía de 10 a 21 °C siendo 15 °C un valor representativo (Metcalf, 1991). Temperaturas más altas aumentan la velocidad de las reacciones químicas y el metabolismo de los organismos acuáticos, creando una mayor demanda de oxígeno (Masterton, 1989). Por otra parte, se dispone de menos oxígeno ya que su concentración y solubilidad disminuyen al aumentar la temperatura del agua, además temperaturas elevadas pueden dar lugar a un crecimiento de plantas acuáticas y hongos (Metcalf, 1991).

#### *3.1.4.3. Conductividad Eléctrica.*

La conductividad eléctrica es una expresión numérica de la propiedad que adquiere el agua de conducir la corriente eléctrica (Diario Oficial, 1984). Esta propiedad depende de la presencia de iones, de su concentración total, valencia y concentraciones relativas, así como de la temperatura de medición, siendo la de referencia a 25 °C (APHA, 1992).

La conductividad eléctrica es útil para realizar una estimación de la concentración aproximada de los sólidos totales disueltos en el agua, los cuales están relacionados con la ósmosis, que desempeña funciones vitales en muchos procesos biológicos que se realizan a través de las paredes celulares de los tejidos vegetales y animales (Castellan, 1983). Un desequilibrio osmótico puede provocar graves consecuencias como la plasmólisis y deshidratación celular (Masterton, 1989).

#### *3.1.4.4. pH.*

El potencial de hidrógeno pH se define como el logaritmo negativo de la concentración del ion hidrógeno. Las variaciones de pH rápidas son causadas por las descargas de aguas residuales industriales sin control y por los derrames accidentales de grandes volúmenes de sustancias químicas que alteran las condiciones naturales de las aguas (Nalco, 1990; EPA, 1986).

La medida del pH es un parámetro importante de calidad y es utilizado para evitar alteraciones en el tratamiento de aguas residuales, en el que se emplean procesos biológicos y debe ser controlado dentro de un rango óptimo en el cual la actividad de los microorganismos es máxima. Un pH por arriba o debajo del óptimo pueden ser

perjudicial, ocasionando la inactividad de los microorganismos. Además el intervalo de concentración idóneo para la mayoría de la vida biológica es muy estrecho y crítico (Metcalf, 1991; Ramalho, 1996).

### **3.1.5 Evaluación de las Características Químicas.**

#### *3.1.5.1. SAAM (Sustancias Activas al Azul de Metileno).*

Desde 1945 una gran variedad de detergentes sintéticos fueron aceptados como sustitutos del jabón y en la actualidad son los productos limpiadores más populares. Los componentes básicos de los detergentes son compuestos orgánicos conocidos como tensoactivos o surfactantes (López, 1980), los que por definición, actúan disminuyendo la tensión superficial del agua (Cheneval, 1993).

En general, la molécula del surfactante esta constituida por una cadena polar alifática que es hidrófila (soluble en agua) y una aromática no polar que es hidrófoba (soluble en grasas); a esta dualidad en la naturaleza de la molécula se deben las propiedades humectantes, dispersantes y emulsificantes de los detergentes. Los tensoactivos, en función de su ionización en agua se clasifican en aniónicos, catiónicos y no iónicos (APHA, 1992; López, 1980).

El grado de descomposición de los detergentes se relaciona con la estructura química. Así, las ramificaciones en el grupo alquil del tipo ABS, causan un retardo en su degradación, esta resistencia persiste aún después de un tratamiento biológico (López, 1980).

Tras la entrada en vigor de la legislación de 1965, el sulfonato de alquil benceno (ABS) fue sustituido en los detergentes por sulfonatos de alquil lineales (LAS) que son biodegradables (Metcalf, 1991).

Como un efecto secundario, la presencia de espuma resulta antiestética y dificulta la transferencia de oxígeno atmosférico en el agua, hecho que también ocurre en las unidades de aireación de las plantas de tratamiento.

Los detergentes tienen un alto contenido de fosfatos, que junto con otros nutrientes, favorecen de manera importante a una sobrepoblación de la flora acuática, especialmente algas, que al morir por acción degradativa de los microorganismos, ocasionan una mayor demanda de oxígeno, perjudicial para la vida acuática y el cuerpo de agua (Cheneval, 1993; López, 1980; Metcalf, 1991).

### 3.1.5.2. Grasas y Aceites.

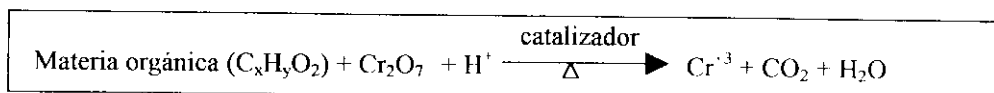
El término grasa, normalmente utilizado, incluye las grasas animales, aceites, ceras y otros constituyentes presentes en el agua residual. Otro grupo son los aceites minerales, tales como queroseno, aceites lubricantes y aceites procedentes de materiales bituminosos usados en la construcción de carreteras (Metcalf, 1991).

Las grasas son uno de los compuestos orgánicos más estables y no se descomponen fácilmente por las bacterias. Las grasas animales y aceites son compuestos (ésteres) de alcohol o glicerol (glicerina) y ácidos grasos, sin embargo, los ácidos minerales las atacan formando glicerina y ácido graso. En presencia de álcalis, tales como el hidróxido de sodio, la glicerina se libera y se forman sales alcalinas de los ácidos grasos, generalmente conocidos como jabones. Estos son solubles en agua, pero en presencia de los constituyentes de la dureza (calcio y magnesio), las sales sódicas se transforman en sales de calcio y magnesio de los ácidos grasos (jabones minerales), que son insolubles y precipitan. El queroseno y los aceites lubricantes se derivan del petróleo. Estos llegan a veces a las alcantarillas procedentes de tiendas, talleres automotrices y gasolineras (Metcalf, 1991).

Las grasas y aceites interfieren en la vida acuática y crean películas superficiales imperceptibles, además reducen la eficiencia del tratamiento de las aguas residuales, ya que su acumulación en los digestores, tapan los poros de los filtros e imparten olor y sabor desagradable al agua (APHA, 1992; López, 1980).

### 3.1.5.3. DQO (Demanda Química de Oxígeno).

El ensayo de la DQO se emplea para medir el contenido de materia orgánica oxidable tanto de las aguas naturales como de las residuales. El equivalente de oxígeno de la materia orgánica que puede oxidarse se mide utilizando un agente químico con fuerte poder oxidante en medio ácido, que sustituye a las bacterias oxidantes de la DBO<sub>5</sub> (Metcalf, 1991; Stephen, 1981). El dicromato de potasio resulta excelente para tal fin. El ensayo debe realizarse a temperatura elevada, para facilitar la oxidación de ciertas sustancias, como los compuestos alifáticos de cadena lineal, se necesita un catalizador (sulfato de plata). La reacción principal utilizando dicromato como agente oxidante puede representarse por la siguiente ecuación.



La DQO también se utiliza para medir la materia orgánica en aguas residuales industriales y municipales que contengan compuestos tóxicos para la vida biológica (Metcalf, 1991).

Las condiciones oxidantes más severas de la DQO, hacen que siempre se obtengan resultados superiores a los de las pruebas de la DBO<sub>5</sub> efectuadas en las mismas muestras de aguas residuales porque es mayor el número de compuestos que pueden oxidarse por la vía química que biológicamente (Metcalf, 1991; Stephen, 1981). El resultado de la DQO puede tomarse como guía para determinar las diluciones en la prueba de la DBO<sub>5</sub> (APHA, 1992).

Entre las ventajas de la DQO se tienen que es más sencilla, más rápida y más fácil de automatizar que la DBO<sub>5</sub> (Bébin, 1988), además de que la oxidación de la mayoría de los compuestos orgánicos es del 95 a 100% del valor teórico (APHA, 1992).

Dentro de las limitaciones, es importante señalar que la piridina y compuestos relacionados con ella resisten la oxidación, así como los compuestos orgánicos volátiles que sólo son oxidados en la medida en que permanecen en contacto con el oxidante a la temperatura del sistema (APHA, 1992; Bébin, 1988; Metcalf, 1991; Ramalho, 1996).

Las sustancias inorgánicas como los iones ferroso ( $\text{Fe}^{++}$ ), sulfuros ( $\text{S}^{-2}$ ), sulfitos ( $\text{SO}_3^{-}$ ), nitritos ( $\text{NO}_2^{-}$ ) y tiosulfatos ( $\text{S}_2\text{O}_3^{-}$ ) se oxidan bajo ciertas condiciones de la prueba y crean una DQO inorgánica, la cual interfiere cuando se estima el contenido orgánico del agua residual.

La principal interferencia se debe a los cloruros debido a su concentración relativamente grande pero el problema se corrige adicionando sulfato de mercurio ( $\text{Hg}_2\text{SO}_4$ ) (Diario Oficial, 1981).

#### 3.1.5.4. DBO<sub>5</sub> (Demanda Bioquímica de Oxígeno).

Teniendo en cuenta la complejidad de la materia orgánica biodegradable, se realiza la prueba de la DBO<sub>5</sub> que intenta reconstruir el fenómeno de la autodepuración y es la mejor estimación de la cantidad de materia orgánica globalmente biodegradable (Bébin, 1988).

Cabe mencionar que la DBO<sub>5</sub> es un procedimiento de bioensayos que permite realizar una estimación de la cantidad de oxígeno disuelto en mg/L que se debe proporcionar a una población microbiana heterogénea para que oxide (consuma) la materia orgánica biodegradable presente en una muestra de agua, razón por la cual se clasifica dentro de las características químicas, a pesar de utilizar microorganismos, ya que la determinación del oxígeno requerido es completamente química (APHA, 1992; Bébin, 1988; López, 1980; Metcalf, 1991).

La DBO<sub>5</sub> de las aguas residuales y de los efluentes de plantas de tratamiento se debe a tres clases diferentes de materiales.

- a) Material orgánico carbonoso, utilizable como fuente de alimento para los organismos aeróbicos.
- b) Nitrógeno oxidable, derivado de nitritos, amoníaco y compuestos de nitrógeno orgánico que sirven como alimento a bacterias específicas (*Nitrosomas* y *Nitrobacter*).
- c) Ciertos compuestos químicos reductores (hierro ferroso, sulfitos, sulfuros y aldehídos) que reaccionan con el oxígeno disuelto molecular.

En aguas residuales domésticas, gran parte de la DBO<sub>5</sub> se debe a la primer clase de materiales y se determina por la prueba de la Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días. En efluentes tratados biológicamente, una proporción considerable de la DBO<sub>5</sub> puede deberse a la oxidación de la segunda clase y también se determina por la misma prueba. Los materiales existentes en la clase c, no pueden ser incluidos en la prueba de la DBO<sub>5</sub> pero deben tomarse en cuenta (APHA, 1992; López, 1980; Ramalho, 1996).

Las reacciones involucradas en la prueba de la DBO<sub>5</sub> son el resultado de la actividad biológica y la velocidad a la que se llevan a cabo están basadas en su concentración y temperatura. Los efectos de temperatura se controlan realizando la prueba a 20 °C. Así mismo, se ha establecido que la cinética de reacción es de primer orden (López, 1980; Metcalf, 1991; Ramalho, 1996).

Teóricamente se requiere un tiempo infinito para la oxidación biológica completa, pero para fines prácticos, la reacción se puede considerar completa a los 20 días. Sin embargo, un periodo de 20 días es grande para esperar resultados. Se ha encontrado por experiencia, que un porcentaje razonablemente alto de la DBO total se logra en 5 días, aproximadamente el 70-80% en aguas residuales domésticas e industriales, por consiguiente, el periodo de 5 días de incubación se ha aceptado como estándar (López, 1980; Ramalho, 1996).

La medida de la DBO<sub>5</sub> es importante en el tratamiento de aguas residuales y para la gestión técnica de la calidad del agua porque se utiliza para determinar la cantidad aproximada de oxígeno que se requerirá para estabilizar biológicamente la materia orgánica presente. Los datos de la DBO<sub>5</sub> se utilizan para dimensionar las instalaciones de tratamiento y medir el rendimiento de algunos procesos, también se puede calcular la velocidad a la que se requerirá el oxígeno (Metcalf, 1991).

#### 3.1.5.5. Oxígeno Disuelto.

El oxígeno disuelto es necesario para la respiración de los microorganismos aerobios, así como para otras formas de vida. El oxígeno es ligeramente soluble en agua y su concentración real está regida por la solubilidad del gas, la presión parcial en la atmósfera, temperatura, salinidad y actividad biológica (López, 1980; Metcalf, 1991).

Puesto que la velocidad de las reacciones bioquímicas que utilizan oxígeno, se incrementan al aumentar la temperatura, la demanda de oxígeno también se eleva. Una de

las situaciones más críticas por la deficiencia de oxígeno ocurre durante los meses de verano, cuando la temperatura es alta y la solubilidad del oxígeno mínima. La presencia de oxígeno disuelto en el agua residual es deseable porque evita la formación de olores desagradables (Hardenbergh, 1987; López, 1980; Metcalf, 1991).

### 3.1.5.6. Metales Pesados.

Los metales pesados, un conjunto muy destacado entre los elementos, están en la base de muchos materiales, procesos industriales y técnicos: metalurgia del hierro y del acero, cables de cobre, aleaciones, biocidas, plásticos, cementos, etc. Los metales pesados son aquellos elementos cuyo peso específico es igual o mayor a los cinco gramos por centímetro cúbico (Barceló, 1989).

Bajas concentraciones de diferentes metales como el níquel (Ni), manganeso (Mn), plomo (Pb), cromo (Cr), cadmio (Cd), zinc (Zn), cobre (Cu), hierro (Fe) y mercurio (Hg), son constituyentes en muchas aguas (Metcalf, 1991). Algunos de estos metales son importantes e incluso esenciales para el desarrollo de la vida (Metcalf, 1991).

En el metabolismo de los vegetales se admiten tres tipos diferentes de nutrimentos: esenciales, benéficos y tóxicos. Un elemento se considera esencial cuando las plantas lo requieren para sus procesos metabólicos o de regulación, sin que pueda otro elemento sustituirlo en sus funciones. Hasta el momento, sólo se ha podido demostrar el carácter esencial de 16 elementos: C, H, O, N, S, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn, Mo, B y Cl.

Los elementos benéficos estimulan el crecimiento y desarrollo de las plantas. Este es el caso, en determinadas circunstancias y para ciertas especies vegetales del Ni, Na, Cr, Si, V, Co y otros.

Los elementos tóxicos están conformados por los metales pesados tales como el Cd, Pb, Hg, entre otros que, desde un punto de vista biológico están recibiendo gran atención debido a su potencial toxicidad (Barceló, 1989). Por esta razón, es importante medir y controlar su concentración.

La cantidad de estos elementos puede determinarse a concentraciones muy bajas por métodos instrumentales como la Espectrofotometría de Absorción Atómica (Metcalf, 1991) que se basa en la medida de la radiación electromagnética absorbida por átomos del elemento a cuantificar. En el análisis de Absorción Atómica el elemento a cuantificar debe ser introducido a la celda de la muestra como átomos libres y neutros, a través de la celda pasa el haz de luz de radiación que va a absorber la muestra (Castillo, Arteaga y Castillo; 1993).

*Cadmio.* El cadmio se encuentra en los minerales del zinc, plomo y cobre. Se usa para reducir la fricción, como antioxidante, en la producción de plásticos, en aleaciones, como

colorante en esmaltes y pinturas, semiconductores, en las varillas de control para reactores nucleares, baterías, etc. (Duffus, 1983; Rangel, 1987).

La mayor parte del cadmio que se emite a la atmósfera se deposita en la tierra y en las aguas de desecho o lodos que contienen efluentes de galvanoplastia (Albert, 1995; Gamrasni, 1985). La solubilidad de las sales de cadmio en el agua es muy variable, ya que los halogenuros, sulfatos y nitratos son relativamente solubles, mientras que el óxido, hidróxido y carbonato son prácticamente insolubles en agua.

La contaminación del agua potable puede ocurrir como resultado de la presencia de impurezas de este elemento en las tuberías galvanizadas de zinc o en la soldadura, en calentadores de agua, grifos, etc. (Albert, 1995). Este elemento no tiene una función biológica esencial y es altamente tóxico para las plantas y animales (Alloway, 1990).

En los suelos ácidos, el cadmio se intercambia fácilmente, lo que lo hace disponible para las plantas, que lo pueden absorber y retener en sus tejidos debido a que no tienen mecanismos para excretarlo, la acumulación generalmente es mayor en las raíces que en la parte aérea de la planta (Albert, 1995), la toxicidad del cadmio se manifiesta por la clorosis (Alloway, 1990).

Los principales rasgos clínicos de toxicidad crónica en el hombre son los daños hepáticos y la disfunción renal, debido a que afecta las funciones de reabsorción de los túbulos proximales. Generalmente el primer signo es un aumento en la excreción de proteínas de bajo peso molecular que se conoce como proteinuria tubular. Tal disfunción también puede ocasionar glucosuria, aminociduria, fosfaturia, etc. Son factores predisponentes la baja ingesta de calcio y vitamina D, además de muchos embarazos, que causan depleción de calcio.

El cadmio acelera el proceso de osteoporosis, ocasiona anemia cuando la médula ósea es lesionada. Los humos y polvos del metal provocan enfisema pulmonar, también se asocia a la metalotioneína que es una proteína de bajo peso molecular. La exposición continua al cadmio causa hipertensión y muerte prematura (Albert, 1995; Duffus, 1983; Gamrasni, 1985; Rangel, 1987).

*Cobre.* El cobre puede encontrarse en aguas naturales o residuales en forma de precipitados o como sales solubles (López, 1980). Es uno de los metales traza más abundante, importante y esencial para plantas y animales. Es ampliamente usado en su estado metálico, ya sea en forma pura o en aleaciones (Alloway, 1990; Duffus, 1983). Su principal uso es la producción de conductores de la electricidad, algunos compuestos de cobre son usados en fungicidas e insecticidas; como pigmentos en pinturas y cerámica (Alloway, 1990).

Se requieren trazas de este elemento para un metabolismo normal del cuerpo (Duffus, 1983). El cobre en el organismo humano es activamente absorbido en el estómago y en el

duodeno. Típicamente cerca de la mitad de una dosis puede ser absorbida, pero esto puede ser disminuido por competición con zinc. Una sobredosis aguda causa sabor metálico inmediato, inflamación epigástrica, náusea, vómito, diarrea, y casos fatales incluyen efectos secundarios como hipertensión, shock y coma (Carson, et al 1986).

El cobre es absorbido por las raíces de las plantas en forma de  $\text{Cu}^{+2}$  y translocado a la parte aérea. Es un constituyente esencial de las enzimas: citocromo-oxidasa, fenol-oxidasa, y amino-oxidasa. También juega un papel importante en la fotosíntesis debido a que es un constituyente esencial de la plastocianina (Wild, 1992).

*Cromo.* La forma hexavalente del cromo tiene un interés primordial en los análisis de agua, porque se le utiliza como inhibidor de la corrosión. También es común encontrarlo en desechos industriales, en donde puede estar en forma trivalente, hexavalente o en ambas (ASTM, 1994).

El cromo esta presente en la cromita y en otros minerales de la corteza terrestre, por esta razón siempre se encuentra en el suelo y aire. Entre sus principales usos se tienen: la fabricación de pigmentos, colorantes, plaguicidas, preservadores para madera, reactivos químicos, explosivos, cerillos, cromado electrolítico o galvanoplastia, así como curtido de pieles y cueros (Albert, 1995; Rangel, 1987).

Para la mayoría de los microorganismos es esencial como micronutriente en cantidades traza para el metabolismo de las grasas y carbohidratos. En el hombre desempeña una función importante en el factor de tolerancia a la glucosa (GTF) complejo orgánico de bajo peso molecular que contiene  $\text{Cr}^{3+}$  (Albert, 1995).

La exposición prolongada del hombre a compuestos de cromo provocan lesiones de piel como úlceras, dermatitis por contacto, en el aparato respiratorio produce desde la ulceración y perforación del tabique nasal hasta cáncer de pulmón (Rangel, 1987; Meyers, 1981).

Cabe mencionar que en 1978 fue cerrada una planta productora de cromatos, ubicada en las inmediaciones de la Ciudad de México, por provocar importantes daños a la salud en los habitantes de la zona (Neri, et al. 1980). Actualmente se hayan depositadas 75,000 toneladas de materiales de desechos mezclados con tepetate y suelos de la región en un confinamiento que no se construyó adecuadamente, por lo que el cromo se está lixiviando y contaminando el subsuelo y los acuíferos de la zona (Gutiérrez, et al. 1990).

Aunque el elemento químico que es esencial o tóxico para la planta, suele serlo también para animales y hombre, se dan algunas desviaciones, este es el caso del cromo, esencial para animales y hombre y no considerado como tal, al menos no demostrado hasta el momento, para las plantas (Barceló, 1989).



*Hierro.* La presencia del hierro en el agua es objetable debido a que contribuye a crear problemas de sabor, coloración y turbidez, cuando este elemento, se encuentra presente, (sin formar complejos) en aguas naturales, normalmente existe en forma de sales ferrosas; sin embargo, cuando éstas entran en contacto con el aire se oxidan con facilidad formando sales férricas que se precipitan produciendo depósitos con un color de herrumbre característico (ASTM, 1994).

Su principal uso consiste en el hierro estructural y acero, también se usa para fabricar tintes, abrasivos, etc. Es un micronutriente esencial para la mayoría de los organismos. La cantidad de este elemento consumida a través de los alimentos debe ser grande, debido a que sólo una pequeña porción del hierro ingerido es absorbido en forma ferrosa ( $\text{Fe}^{+2}$ ) (Duffus, 1983).

El hierro es necesario para la síntesis de las proteínas hemoglobina y mioglobina, que son transportadoras de oxígeno, también es un componente esencial de las enzimas citocromo, citocromo-oxidasa, etc. El hierro no se excreta en la orina, pero se pierde del cuerpo por medio de la bilis, heces y en la sangre menstrual (Lehninger, 1996).

La deficiencia de hierro es la causa más común de anemia nutricional en el hombre, que se caracteriza por una disminución en la síntesis de hemoglobina (Goodman y Gilman, 1990).

La importancia del Fe en las plantas consiste en que desempeña un papel importante en los sistemas enzimáticos, además de que es necesario para la síntesis de la clorofila. Las plantas deficientes en hierro tienen hojas de color amarillo claro, a esta condición se le ha dado el nombre de clorosis del hierro (Foth, 1980); ésta clorosis también puede ser inducida por deficiencia de potasio o por excesivo abonado con fosfatos en suelos neutros o calizos; también se presenta sobre suelos ricos en zinc, cobre y manganeso (Russell, 1968).

Tanto los procesos ácido-base como redox influyen sobre los niveles de solubilidad en el suelo del hierro, siendo más disponible el  $\text{Fe}^{+2}$  que el  $\text{Fe}^{+3}$  para las plantas, tal disponibilidad también es favorecida por la reducción del pH (Fassbender, 1987).

*Níquel.* El níquel es un metal que se usa en la industria electrónica, en la producción de monedas, baterías, acero inoxidable, aleaciones, etc. (Rangel, 1987) y se presenta frecuentemente en las aguas de desecho de la galvanoplastia y de los baños de níquelado (López, 1980; Gamrasni, 1985).

Es un micronutriente para la mayoría de los microorganismos, pero cantidades excesivas ejercen efectos tóxicos. En los animales, estos abarcan dermatitis y desordenes respiratorios, incluido cáncer de pulmón después de la inhalación. Entre las enzimas que inhúbe se encuentra la citocromo-oxidasa, la isocitrato deshidrogenasa y la maleico

deshidrogenasa. Un derivado particularmente venenoso de éste elemento es el níquel tetracarbonilo (Duffus, 1983).

No se ha aceptado aún, que sea un elemento esencial para los vegetales. Sin embargo, la mayor preocupación sobre éste elemento corresponde a los informes sobre su toxicidad para algunas plantas en suelos derivados de rocas ultrabásicas (Wild, 1992).

*Plomo.* El plomo es útil en la fabricación de tuberías, cubiertas de cables, pigmentos, insecticidas, explosivos, soldaduras, cubiertas para proteger los rayos X, baterías (Albert, 1995; Duffus, 1983; Rangel, 1987).

Su uso en las gasolinas ha disminuido considerablemente por ser un contaminante potencial del ambiente (Carson, et al, 1986).

El plomo que se encuentra en las aguas puede ser de origen industrial, minero, de descargas de hornos de fundición, emisiones de los vehículos automotores, de cañerías viejas de plomo, etc (APHA, 1992; Albert, 1995).

El plomo no desempeña ninguna función metabólica en el organismo (Rangel, 1987). Por el contrario, es un metal altamente tóxico que se absorbe a través de las vías digestivas y respiratorias principalmente; en menor medida por la piel; el metal se deposita en los huesos, médula ósea, cerebro y nervios periféricos (Albert, 1995).

Este metal produce alteraciones muy graves como la anemia, provocada por la inhibición del grupo hemo de la hemoglobina, dolor abdominal intenso, encefalopatía (daño al sistema nervioso central). También causa aberraciones cromosómicas y una morfología anormal en el espermatozoide, además atraviesa la membrana placentaria, lo que representa un riesgo potencial para el feto. La exposición continua y prolongada produce insuficiencia renal (Albert, 1995; Katzung, 1986; Rangel, 1987).

La intoxicación es en general crónica, ya que las manifestaciones clínicas del envenenamiento se presentan después de semanas o meses de exposición, sin embargo, en ocasiones pueden transcurrir periodos de años para que las alteraciones sean evidentes (Albert, 1995).

El plomo es retenido en el suelo por los hidróxidos, especialmente por el  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  y la adsorción aumenta en forma muy rápida a medida que sube el pH. En suelos calizos, el Pb puede precipitar en forma de carbonato. La retención en el suelo puede deberse también, en parte, a la materia orgánica (Wild, 1992), pero afortunadamente su solubilidad, movilidad y biodisponibilidad son bajas (Alloway, 1990). Las plantas que crecen en los suelos contaminados por este elemento tienden a concentrarlo, sobre todo en su sistema radicular (Albert, 1995).

*Zinc.* El zinc puede estar presente en las aguas residuales como resultado de los vertidos de residuos industriales (APHA, 1992), su uso más importante consiste en recubrir otros metales, particularmente el hierro y aceros galvanizados. Es un micronutriente esencial y por lo general se considera como uno de los menos peligrosos, aunque su toxicidad puede aumentar debido a la presencia de arsénico, plomo, cadmio y antimonio como impurezas (Duffus, 1983). Se ha demostrado que el zinc es indispensable para el crecimiento, desarrollo y funcionamiento normal del organismo, puesto que es un componente esencial de diversas enzimas hepáticas y pancreáticas.

La ingestión excesiva de zinc en los alimentos o bebidas es tóxica, sin embargo el margen de seguridad es grande, cuando hay intoxicación, las manifestaciones principales son náusea, vómito, cólicos y diarrea (Harryson, 1986).

Los rasgos clínicos de una deficiencia de zinc incluyen retardo del crecimiento, hipogonadismo masculino en la pubertad, piel áspera y seca, poco apetito y letargo mental (Gradwohl, 1986).

Las plantas absorben por las raíces al ion  $Zn^{+2}$  y lo translocan a los brotes como ion libre principalmente. Su concentración en la materia seca es, al menos tres o cuatro veces mayor que la del cobre (Wild, 1992).

El Zn en las plantas actúa de dos maneras: como componente de enzimas o como factor en la regulación de un buen número de éstas. Existen cuatro enzimas vegetales que tienen enlazado al zinc; las cuales son las siguientes: anhidrasa carbónica, alcohol deshidrogenasa, Cu-Zn-superóxido dismutasa y la RNA polimerasa. Como el Zn también se involucra en el metabolismo de carbohidratos y proteínas, se requiere para la síntesis de triptófano (Alloway, 1990).

Alta concentración de Zn se manifiesta en la planta por aparición de manchas, clorosis y necrosis, con cambios que afectan el metabolismo fotosintético inhibiendo la biosíntesis de pigmentos, disminuyen los niveles de algunos iones esenciales e incrementan la producción de fenoles y ligninas (Barceló, 1989).

El síntoma característico de la carencia de Zn consiste en el deficiente desarrollo de las hojas y elongación de los tallos que origina un porte en roseta (Wild, 1992).

Diversos factores afectan la disponibilidad del Zn en el suelo, como son el pH, contenido total de materia orgánica, sitios de adsorción, actividad microbiana, humedad, condiciones climáticas e interferencias entre el Zn y otros macro y micronutrientes. En suelos ácidos muy lixiviados los niveles de Zn total pueden ser muy bajos, resultando baja su disponibilidad; al elevar el pH del suelo, la disponibilidad del Zn disminuye.

En suelos con bajo contenido de materia orgánica, afecta la disponibilidad del Zn por el contenido de complejos orgánicos. El alto nivel de P (fósforo) disminuye la

disponibilidad del Zn. La interferencia con otros micronutrientes como Fe, Cu, N y Ca también disminuyen la disponibilidad del Zn (Alloway, 1990).

### 3.1.5.7. Metales ligeros.

*Calcio.* La presencia del calcio (el quinto entre los elementos en orden de abundancia) en los suministros de agua proviene de su contacto con depósitos de caliza, dolomita, yeso y pizarras yesíferas. El contenido de calcio puede variar entre cero y varios centenares de mg/L, dependiendo del origen y tratamiento del agua.

La baja concentración de carbonato de calcio evita la corrosión de las tuberías metálicas por depositar una capa protectora. Por otro lado, cantidades apreciables de sales de calcio precipitan al calentar formando incrustaciones perjudiciales en calderas, tuberías y utensilios de cocina. También contribuye a la dureza total del agua (APHA, 1992).

El calcio es usado en metalurgia como un desoxidante para Cu, Be y acero (con silicio), numerosos compuestos tienen usos terapéuticos (antiespasmódicos, diuréticos, preparaciones antiácidas y para acciones en el sistema circulatorio) (Carson, et al 1986).

El calcio es un componente estructural de los huesos y proporciona al esqueleto rigidez y dureza. El cuerpo humano adulto contiene más de 1 kg de calcio, casi todo se halla en los huesos y dientes (Pérez, 1975).

El calcio en el tracto gastrointestinal no se absorbe completamente, normalmente del 70 al 80% de lo que se ingiere es excretado en las heces. Los síntomas por intoxicación de calcio incluyen anorexia, náusea, vómito, deshidratación, letargia, coma y muerte súbita cuando los niveles de calcio permanecen por arriba de 160 mg/L (Carson, et al 1986).

El calcio forma parte de las membranas de las paredes celulares que dan a los tejidos de la planta su forma y resistencia, además es esencial para el crecimiento de los meristemas (Foth, 1980; Russell, 1968; Worthen, 1980).

La deficiencia de calcio se presenta en forma típica en suelos muy ácidos, aunque los efectos perjudiciales de estos suelos son frecuentemente debidos a otras causas que a la deficiencia de tal elemento (Russell, 1968). El contenido de  $\text{Ca}^{+2}$  es deseable porque refleja concentraciones bajas de otros cationes intercambiables que podrían ocasionar problemas, principalmente  $\text{Al}^{+3}$  en suelos ácidos y  $\text{Na}^{+1}$  en suelos sódicos (Bohn, 1993).

*Magnesio.* El magnesio es un componente de la corteza terrestre ampliamente distribuido. Las mayores fuentes comerciales son: la magnesita ( $\text{MgCO}_3$ ), brucita ( $\text{MgO}\cdot\text{H}_2\text{O}$ ), dolomita ( $\text{MgCO}_3\cdot\text{CaCO}_3$ ) y agua de mar (0.13% de Mg) (Carson, et al. 1986).

Este elemento, al igual que el calcio, son los principales contaminantes que forman incrustaciones en la mayoría de los abastecimientos de agua cruda, razón por la cual hay que evitar o reducir la formación de los depósitos de estos elementos (ASTM, 1994). El metal es usado como protector catódico de hierro y acero. Los compuestos son usados como refractarios en cemento, como aislador en procesos químicos. Es un metal ligero, su uso es limitado por su costo y flamabilidad. Sus compuestos divalentes son típicos de los metales alcalinotérreos.

El hombre absorbe aproximadamente el 30% de lo que ingiere en la dieta. Es un mineral esencial, la dosis diaria recomendada es de 350 mg para hombres y 300 mg para mujeres. Niveles muy altos en la dieta (1.5 a 2.5%) puede causar envenenamiento fatal. Los niveles altos de magnesio se presentan cuando hay un aumento en la absorción o una marcada reducción en la excreción urinaria. Es muy difícil que se produzca toxicidad, ya que el riñón elimina los excesos con facilidad. Los síntomas del exceso incluyen: mareos, parálisis muscular respiratoria y cardiovascular (Carson, et al. 1986).

El magnesio es uno de los integrantes básicos de la clorofila, que da a las plantas verdes la capacidad de utilizar la energía del sol para formar proteínas, carbohidratos y grasas de estructura compleja a partir de elementos químicos simples (Worthen, 1980), también desempeña un papel importante en la translocación o transporte del fósforo (Foth, 1980).

La cantidad de magnesio existente originalmente en los suelos está, en general, íntimamente relacionada con la presencia de calcio, pues ambos elementos suelen encontrarse en la caliza de las rocas a partir de las cuales se forma el suelo. La mayoría de cultivos presenta deficiencia de magnesio, principalmente en suelos muy ácidos.

El síntoma típico de la deficiencia de magnesio en muchas plantas es la presencia de color verde pálido a blanco entre las nervaduras de las hojas, especialmente en las hojas verdes viejas. Las nervaduras permanecen verdes (Worthen, 1980).

*Potasio.* El potasio se usa en síntesis orgánica y varios compuestos tienen usos medicinales. El KCl y K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> son las sales más producidas, el primero es usado en fertilizantes (como nutrimento para las plantas), fotografía, espectroscopía (infrarrojos), como sustituto de sales, reactivo de laboratorio y aditivo de alimentos (Carson, et al, 1986). En el hombre, desempeña un papel importante en la regulación de una variedad de funciones celulares entre las que se incluyen la síntesis de proteínas y de glucógeno, también es un determinante fundamental de la excitabilidad cardíaca y neuromuscular (Kokko, 1988).

El potasio de la solución del suelo es transportado por las células corticales de la raíz a su interior (Rodríguez, 1981).

Este elemento interviene en diferentes procesos bioquímicos y fisiológicos de los que, quizás, el más importante sea la síntesis de proteínas. Los aportes de potasio son

importantes para las plantas, ya que con él, se neutralizan otros aniones y grupos ácidos de macromoléculas orgánicas, se activan muchas enzimas y se mantiene la presión osmótica de los jugos celulares (Wild, 1992).

La carencia de potasio afecta el crecimiento y alargamiento de los entrenudos de muchas especies; también disminuye el potencial osmótico de la célula, no obstante, la planta moviliza azúcares para compensar este defecto (Rodríguez, 1981).

Sin embargo, el signo más característico de esta deficiencia es la muerte prematura de las hojas más viejas, ya que el potasio es muy móvil en la planta y se desplaza con mucha facilidad a las hojas más jóvenes (Wild, 1992).

*Sodio.* Este elemento se usa en la manufactura de cristales, detergentes, papel y textiles, así como en el tratamiento de agua. El sodio metálico se utiliza en síntesis orgánica, en la producción de sus compuestos, lámparas de sodio y celdas fotoeléctricas. Dicho metal es almacenado en líquidos libres de oxígeno como el queroseno y prácticamente todos sus compuestos son solubles en agua (Carson, et al, 1986).

El Na<sup>+</sup> que es el principal catión extracelular, es importante en la regulación del equilibrio del agua, electrolitos y del balance ácido en el organismo (Lehninger, 1996).

Los adultos necesitan pequeñas cantidades pero pueden consumir 2,300 a 6,900 mg/día siempre y cuando tengan libre acceso a la sal. Su absorción gastrointestinal es del 100%. Los síntomas de envenenamiento son náusea, vómito y repulsión a los alimentos (Carson, et al, 1986).

Aunque se sabe que el sodio no es esencial para las plantas, puede reemplazar parcialmente al potasio en algunas funciones fisiológicas, especialmente en la regulación de la presión osmótica y turgencia de las células; este efecto es máximo cuando el suministro de potasio es deficiente (Wild, 1992).

### **3.1.6. Evaluación de las Características Biológicas.**

*Coliformes.* Los organismos coliformes son bacterias en forma de bastoncillo que se encuentran en el tracto gastrointestinal del hombre. Cada persona evacua de 100,000 a 40,000 millones de organismos por día. Los coliformes no son en si mismos perjudiciales al hombre y, de hecho son útiles para la degradación de la materia orgánica en los procesos biológicos de tratamiento de las aguas residuales. Sin embargo, junto con los organismos coliformes, las personas que se vean afectadas por alguna enfermedad, evacuan microorganismos patógenos, como los responsables de la fiebre tifoidea, disentería, diarrea, cólera, etc. (Metcalf, 1991).

Teniendo en cuenta que la población de estos microorganismos patógenos en las aguas residuales es pequeña y además difíciles de aislar, se utiliza la presencia de los organismos coliformes que son numerosos y de determinación más sencilla como indicador potencial de organismos patógenos, y su ausencia indica que el agua se halla exenta de organismos productores de enfermedades (Metcalf 1991; Ramalho 1996).

Las bacterias coliformes incluyen los géneros *Escherichia* y *Aerobacter*. El uso de los coliformes como organismos indicadores es problemática debido a que *Aerobacter* y ciertas especies de *Escherichia* pueden crecer en el suelo, por tanto, su presencia no siempre significa contaminación con residuos humanos. Parece ser que la *Escherichia coli* es totalmente de origen fecal, por lo que resulta difícil determinarlas sin incluir los coliformes del suelo; como resultado de ello, todo el grupo coliforme se utiliza como indicador de la contaminación fecal.

En los últimos años se han desarrollado una serie de ensayos que permiten distinguir los coliformes totales y fecales, así como los estreptococos fecales.

El procedimiento normal para determinar la presencia de coliformes consiste en la realización de ensayos presuntivos y confirmativos; el ensayo presuntivo se basa en la capacidad del grupo coliforme para fermentar el caldo de lactosa con desprendimiento de gas. El ensayo confirmativo consiste en el desarrollo de cultivos de bacterias coliformes sobre medios que eliminan el crecimiento de otros organismos.

Existen dos métodos aceptados para obtener el número de organismos coliformes presentes en un volumen de agua dado. La técnica del número más probable (NMP) que se basa en un análisis estadístico del número de resultados positivos y negativos obtenidos al hacer ensayos múltiples sobre fracciones de igual volumen. Es importante mencionar que el NMP no es la concentración absoluta de organismos que están presentes, debido a que es una estimación estadística de dicha concentración.

La técnica del filtro de membrana puede utilizarse igualmente para determinar el número de organismos coliformes presentes en el agua. La determinación se realiza haciendo pasar un volumen conocido de la muestra de agua a través de un filtro de membrana que tenga unos poros de tamaño muy pequeño. Las bacterias son retenidas en el filtro porque son mayores que los poros y se ponen en contacto con agar que contiene los elementos nutritivos necesarios para el crecimiento de las mismas. Después de su incubación, las colonias coliformes pueden ser contadas y determinarse la concentración en la muestra de agua (Metcalf, 1991).

### 3.2 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Existen diversos procesos y operaciones unitarias 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.** Uso de mallas: se emplean para retener materiales de diferentes tamaños (sólidos mayores o flotantes, sólidos inorgánicos pesados y cantidades excesivas de aceites o grasas) sus aberturas pueden ser circulares, cuadradas o rectangulares. Las mallas gruesas tienen aberturas de  $\frac{1}{4}$  de pulgada o más y las finas tienen aberturas menores. Tienen una efectividad de remoción del 5 al 15% de toda la materia suspendida en el agua residual.

**Tratamiento Primario.** Este se emplea para la eliminación de los sólidos en suspensión en aproximadamente 40-60%, además de los sólidos flotantes (Manual de tratamiento de aguas negras 1990) y disminuir la DBO en 25-40% (Hernández, 1994).

**Tratamiento Secundario.** Este proceso comprende tratamientos biológicos, tanto aerobios como anaerobios en los que se utiliza una masa de microorganismos capaces de degradar los desechos, a través de este tratamiento se eliminan sólidos en suspensión en un 75-85% y disminuir la DBO en un 50-75% (Hernández, 1994).

**Tratamiento Terciario.** Este tratamiento se desarrolla cuando se requiere una mayor calidad de agua, su objetivo principal es la reducción de contaminantes que no se eliminan con los tratamientos anteriores, estos pueden ser sólidos suspendidos y disueltos que se pueden separar por los procesos comunes del tratamiento terciario como son: 1) adsorción con carbón activado; 2) intercambio iónico; 3) ósmosis inversa; 4) electrodiálisis; 5) coagulación; 6) ozonización; 7) oxidación química (Ramalho, 1996).

Por último suele darse una cloración, con la que se logra la desinfección del efluente tratado que reduce a las bacterias coliformes en 98-99% (Hernández, 1994).

En un sistema de tratamiento es frecuente encontrar la combinación de uno o más de los tratamientos señalados, dependiendo de las características físicas, químicas y biológicas de las aguas a tratar, por lo que es importante mencionar que dependiendo del uso o reuso de las aguas tratadas será el tratamiento a emplear y que el aumento de la calidad del agua incrementa las operaciones y costo de tratamiento.



### 3.3 ASPECTOS LEGALES PARA LA PREVENCIÓN Y CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA

La Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos otorga al Estado la tutela sobre los recursos naturales, y con base en el artículo 27 Constitucional, se promulgaron primeramente en 1988 la “Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente” (LGEEPA) y posteriormente en el año de 1992 la “Ley de Aguas Nacionales” en la que se menciona a la Comisión Nacional del Agua (CNA) como la única autoridad federal para la administración del recurso agua y en el Título VII, capítulo único trata la Prevención y Control de la Contaminación del Agua; asimismo, en el artículo 89 se especifica que la CNA para otorgar permisos para el vertimiento de las descargas de aguas residuales deberá tomar en cuenta la clasificación de los cuerpos de aguas nacionales, las NOM’s correspondientes y las condiciones particulares que requieran las descargas.

En la LGEEPA se establecen las bases jurídicas de la Legislación Ambiental y en su título IV, capítulo II hace referencia a la prevención y control de la contaminación del agua y de los ecosistemas acuáticos, así como a la formulación de las Normas Oficiales Mexicanas.

Con la expedición de la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, la cual establece los límites máximos de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales, se abrogan las 43 normas oficiales mexicanas de las cuales 41 se referían a giros industriales (DOF, 1997).

Resulta importante mencionar que la publicación de la NOM-001-ECOL-1996 se debe principalmente a que la mayoría de las Empresas en México no cuentan con los recursos financieros ni con la infraestructura adecuada para cumplir con las normas derogadas; por estas razones, en la norma actual se amplían algunos de los límites (pH, DBO<sub>5</sub>, Huevos de Helminto, Sólidos Suspendidos Totales), disminuye el número de parámetros (Conductividad Eléctrica, Coliformes Totales, Demanda Química de Oxígeno, Sólidos Totales) y en la clasificación del agua para uso en riego agrícola esta es de uso restringido y no restringido, en la cual sólo se toma en cuenta a los huevos de helmintos. Esta situación no ocurre con la carga microbiana de Coliformes Totales y Fecales, los que únicamente toman en cuenta a estos últimos como indicadores de contaminación en comparación con las NOM-ECOL-032-1993 y NOM-ECOL-033-1993, con lo cual se corre el riesgo de que se incrementen los niveles de contaminación microbiana, lo que representa un peligro para la salud pública.

En este sentido, dicha disposición resulta completamente contradictoria al Programa de Medio Ambiente 1995-2000, que tiene entre sus objetivos frenar la tendencia del deterioro del Ambiente y alcanzar un desarrollo sustentado, donde incluso se piensa invertir 2,700 millones de dólares (MDD) para el tratamiento de aguas residuales (DOF, 1996).

Por otra parte, con la publicación de la NOM-001- ECOL-1996 y de la Ley Federal de Derechos en materia de agua es importante mencionar las siguientes ventajas.

Se otorgan incentivos económicos a través de la Ley Federal de Derechos a aquellos usuarios cuyas descargas de aguas residuales contengan contaminantes que rebasen los límites máximos permisibles establecidos en esta Ley, siempre y cuando presenten ante la CNA un Programa de Acciones y cumplan con el mismo, para mejorar la calidad de sus aguas residuales, ya sea mediante cambios en sus procesos productivos o para el control o tratamiento de sus descargas, así mismo , se establece la opción de que los contribuyentes instalen sus propios sistemas de tratamiento exentándoles del pago del derecho durante un plazo máximo de 24 meses, si demuestran a satisfacción de la CNA, que tienen en proceso la realización del proyecto constructivo o la ejecución de las obras para controlar la calidad de sus descargas. Dicho plazo podrá ampliarse hasta por un periodo de seis meses a las personas que hayan cumplido totalmente con el avance del programa constructivo de las obras de tratamiento de sus descargas (DOF, 1996).

Si el contribuyente no cumple con los avances programados para la realización de las obras de control de calidad de las descargas, deberá efectuar a partir de ese momento el pago del derecho respectivo; pero si el contribuyente decide reiniciar la construcción de la obra de tratamiento podrá solicitar a la CNA, un nuevo periodo para gozar de la exención del pago del derecho. Sin embargo, este periodo no podrá exceder del término de dos años incluyendo el primer periodo de exención otorgado.

En todo caso, se pretende que la recaudación que se obtenga por la aplicación del derecho de descarga, se destine al financiamiento de los programas que la CNA instrumenta para la prevención y control de la contaminación del recurso.

Por lo tanto, conviene reiterar que el propósito de este instrumento fiscal, no es recaudar, sino inducir a los emisores de las descargas contaminantes a que realicen las inversiones necesarias para crear la infraestructura de tratamiento adecuada, que les permita devolver a los cauces, agua con la calidad que establece la normatividad ecológica vigente.(DOF, 1996).

# UBICACIÓN DEL ÁREA ESTUDIO

#### 4. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El Distrito de Desarrollo Rural 063 se encuentra a 109 Km al norte de la Ciudad de México en el Valle del Mezquital entre las latitudes Norte 20°31'30" y 19°54'14" y las longitudes Oeste de 99°13'06" y 99°20'29".

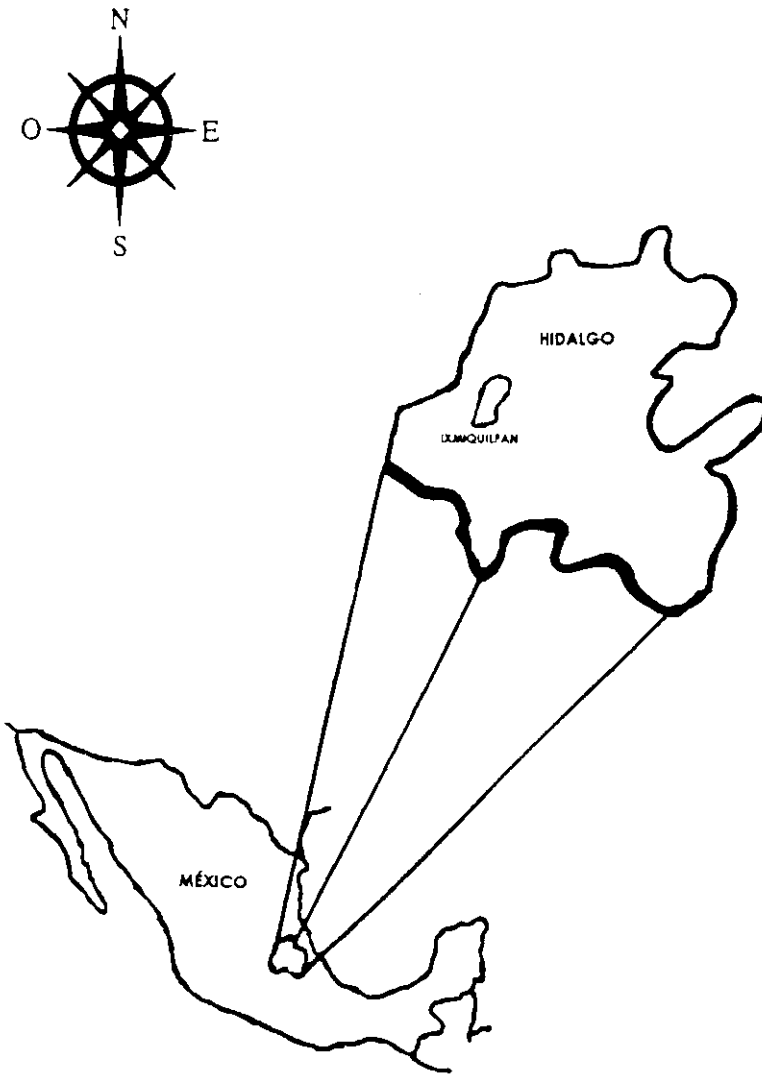
El Valle del Mezquital está formado por una serie de valles interconectados, cuyos ríos son afluentes del río Tula dentro del sistema hidrológico del río Pánuco.

Los Distritos de Desarrollo Rural 063 y 100 poseen 85,000 y 37,000 ha de riego, respectivamente. Las presas de la zona en estudio datan de distintas épocas. La Taxhimay inaugurada en 1912, Requena en 1919 y la Endhó en 1947, cada una con una capacidad de almacenamiento de 52, 42 y 182 millones de m<sup>3</sup>, respectivamente. Más recientemente se han construido las presas Vicente Guerrero y Rojo Gómez, esta última tiene una capacidad de almacenamiento de 50 millones de m<sup>3</sup>. Las presas Vicente Guerrero, Rojo Gómez y Endhó almacenan aguas negras, en tanto que la Taxhimay y Requena almacenan aguas blancas con índices pequeños de contaminantes por las descargas municipales de los poblados aledaños.

Toda la zona esta constituida geológicamente por formaciones del Terciario Superior y Cuaternario con intrusiones de calizas del Cretácico, propiciando metamorfismo de contacto y mineralización.

Los suelos reflejan la variabilidad geológica existente y se derivan tanto de material volcánico como sedimentario. El clima de Mixquihuala es representativo del área. La temperatura media anual es de 17.4 °C y la precipitación es en verano y principios de otoño con medias anuales de 502 mm. La aridez climática ha favorecido la presencia de una vegetación natural de matorral xerófilo de distintos tipos, incluyendo mezquites los cuales dan origen al nombre de este Valle. Actualmente gran parte de esta vegetación ha desaparecido en las partes bajas debido a la introducción del riego.

# ESTADO DE HIDALGO



# PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

## 5. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la ciudad de México y en las áreas conurbadas se desarrollan una serie de actividades industriales, domésticas, comerciales y de servicios, que generan grandes volúmenes de aguas residuales, las cuales contienen una cantidad considerable de contaminantes como metales pesados, materia orgánica compleja, inorgánica, organismos patógenos, entre otros; cabe mencionar que tales volúmenes de agua son colectadas por el sistema de alcantarillado y drenaje.

Actualmente existen tres salidas para las aguas residuales del Valle de México; estas son:

- Emisor del Poniente.
- Gran Canal de Desagüe.
- Emisor Central.

Estas tres salidas conducen las aguas residuales del Valle de México hasta el río Tula, de tal manera que la mezcla resultante de las aguas residuales son utilizadas para el riego agrícola en el Distrito de Desarrollo Rural 063 del Valle del Mezquital (Ixmiquilpan) Hidalgo, donde se riegan 85,000 ha, aproximadamente.

Por lo anterior, se plantea la necesidad de evaluar las características físicas, químicas y biológicas de las aguas residuales utilizadas para riego agrícola en nueve sitios de muestreo de Ixmiquilpan, Hidalgo. Así mismo, determinar el posible uso de las aguas residuales de acuerdo a la caracterización que se obtenga.

# OBJETIVOS



## **6. OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Caracterizar y establecer el uso de las aguas residuales utilizadas para riego agrícola en el Distrito de Desarrollo Rural 063 en el Municipio de Ixmiquilpan Hidalgo de acuerdo a la Norma Oficial NOM-001-ECOL-1996 y a los Criterios de Calidad del Agua.

### **OBJETIVOS PARTICULARES**

- 1) Determinar las características Físicas (Temperatura, pH, Conductividad Eléctrica, Sólidos Sedimentables, Sólidos Totales) Químicas (Oxígeno Disuelto, Aceites y Grasas, Sustancias Activas al Azul de Metileno, Demanda Química de Oxígeno, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Metales Pesados) y Biológicas (Coliformes Totales y Fecales) de las aguas residuales utilizadas para riego agrícola en nueve sitios del Municipio de Ixmiquilpan Hidalgo, de acuerdo a las Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996 y a los Criterios de Calidad del Agua.
- 2) Establecer el uso de las aguas residuales, aplicando la NOM-001-ECOL-1996.

# HIPÓTESIS

## 7. HIPÓTESIS

En la Ciudad de México y en las zonas conurbadas se desarrollan una serie de actividades industriales, domésticas, comerciales, etc., de tal manera que los contaminantes originados se vierten en grandes colectores y son arrastrados en las aguas que llegan al río Tula, las que son usadas posteriormente para el riego agrícola en el Distrito de Desarrollo Rural 063.

Por lo tanto, al realizar los análisis Físicos, Químicos y Biológicos a las aguas residuales de acuerdo a la NOM-001-ECOL-1996 y parámetros complementarios, se espera encontrar un alto contenido de contaminantes y de acuerdo con los valores obtenidos se podrá determinar el uso de las aguas residuales.

# MATERIAL Y EQUIPO

## 8. MATERIAL Y EQUIPO

### *Material:*

Anillos metálicos.  
Asa bacteriológica.  
Bureta graduada de 25 mL Pyrex.  
Cápsulas de porcelana.  
Conos Imhoff.  
Embudos de tallo largo.  
Embudos de separación de 250 mL Pyrex.  
Equipo Soxhlet.  
Mangueras.  
Matraces aforados de 50 mL Pyrex.  
Matraces aforados de 100 mL Pyrex.  
Matraz aforado de 500 mL Pyrex.  
Matraz aforado de 1000 mL Pyrex.  
Matraces Erlenmeyer de 250 mL Pyrex.  
Matraces Erlenmeyer de 500 mL Pyrex.  
Matraz Kitazato de 1000 mL Pyrex.  
Mechero Fisher.  
Papel filtro poro mediano.  
Perilla.  
Pinzas de tres dedos.  
Pinzas para bureta.  
Pipetas graduadas (varias capacidades).  
Pipetas volumétricas (varias capacidades).  
Refrigerantes entrada 24/40 Pyrex.  
Soportes universales.  
Tubos de ensayo.  
Tubos Durham.  
Vasos de precipitado de 50 mL Pyrex.  
Vasos de precipitado de 100 mL Pyrex.  
Vasos de precipitado de 500 mL Pyrex.  
Vidrios de reloj.

### *Equipo e instrumentos:*

Autoclave IMMSA AV. 3860.  
Balanza Analítica Bosch 2000 de 0.0001 g de sensibilidad.  
Conductímetro YSI 35.  
Colorímetro Bausch & Lomb 20.  
Espectrofotómetro de Absorción Atómica PYE UNICAM SP 192.  
Estufa Analítica Riossa HS.

Incubadora Felisa 131.  
Lámpara de cátodo hueco para cada elemento: cadmio, calcio, cobre, cromo, fierro, magnesio, níquel, plomo, potasio, sodio y zinc.  
Parrilla de agitación y calentamiento Thermolyne SIBRON HP-A1915B.  
Potenciómetro Corning 7.  
Refrigerador Mabe 1019 CK.  
Termómetro con bulbo de hidrógeno con graduación de -20 a 200°C.

*Reactivos:*

Acetona J T Baker.  
Ácido clorhídrico J T Baker.  
Ácido nítrico J T Baker.  
Ácido sulfúrico J T Baker.  
Alcohol etílico J T Baker.  
Almidón J T Baker.  
Caldo lactosado Bioxon.  
Cloroformo J T Baker.  
Cloruro de amonio J T Baker.  
Cloruro de calcio anhidro J T Baker.  
Cloruro férrico hexahidratado J T Baker.  
Cristal de yodo J T Baker.  
Cristal violeta J T Baker.  
Dicromato de potasio J T Baker.  
Fenolftaleína J T Baker.  
Fosfato dibásico de potasio J T Baker.  
Fosfato dibásico de sodio heptahidratado.  
Fosfato monobásico de potasio J T Baker.  
Hexano J T Baker.  
Hidróxido de sodio J T Baker.  
Medio E C Bioxon.  
Nitruro de sodio J T Baker.  
Oxalato de amonio J T Baker.  
Safranina J T Baker.  
Sulfato ferroso amónico hexahidratado J T Baker.  
Sulfato de magnesio heptahidratado.  
Sulfato manganoso tetrahidratado J T Baker.  
Sulfato de plata J T Baker.  
Sulfonato de alquil benceno J T Baker.  
Tierra de diatomáceas-sílice J T Baker.  
Tiosulfato de sodio J T Baker.  
1,10 Fenantrolina J T Baker.  
Yoduro de potasio J T Baker.  
Yoduro de sodio J T Baker.

# METODOLOGÍA

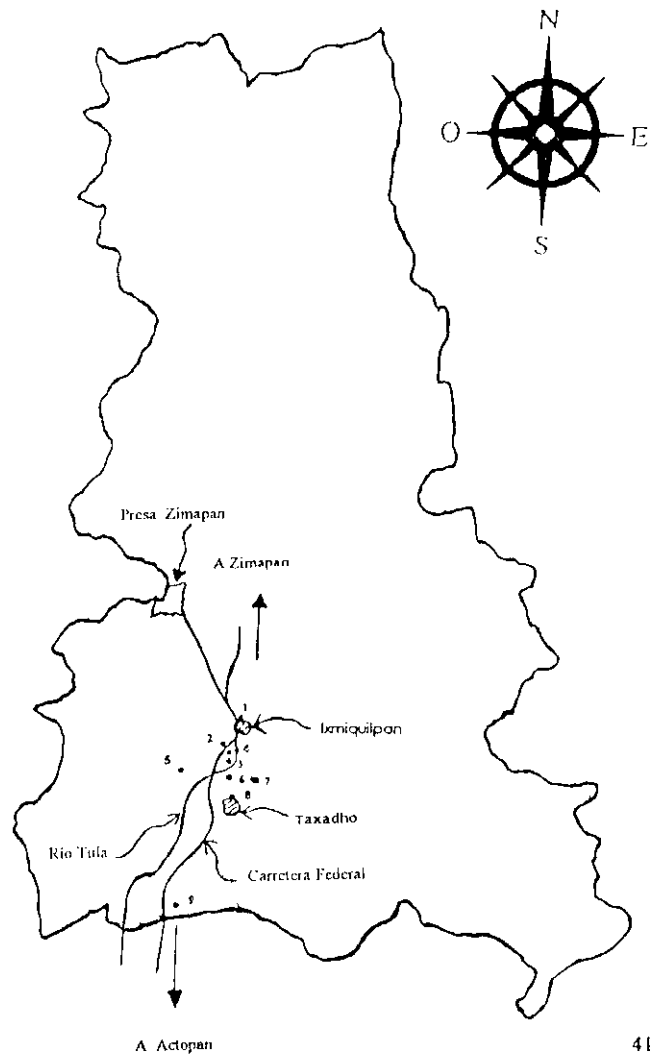
## 9. METODOLOGÍA

Los muestreos se realizaron durante la primavera de 1994; en las siguientes fechas:

24 de Abril, 13 de Mayo, 20 de Junio y 25 de Septiembre de 1994.

A continuación se mencionan los sitios de muestreo y su localización.

1. RÍO TULA
2. CANAL TECOLOTE
3. MANANTIAL TEPHE
4. RÍO MANANTIAL TEPHE
5. MAGUEY BLANCO
6. COMPUERTA CANAL 1
7. POZO NORIA
8. TAXADHO
9. CANAL VILLAGRÁN





CUADRO I. PROCEDIMIENTOS OFICIALES UTILIZADOS EN ANÁLISIS DE AGUAS EMPLEADAS PARA RIEGO AGRÍCOLA.

TOMA DE MUESTRA		NORMA
Cuerpos Receptores - Muestreo		NOM-AA-14-1980
Aguas Residuales - Muestreo		NOM-AA-03-1980
PARÁMETRO	NORMA	MÉTODO / TÉCNICA
Temperatura	NOM-AA-07-1980	Visual / Termómetro
pH	NOM-AA-08-1980	Potenciométrico
Conductividad Eléctrica	NOM-AA-93-1984	Conductivimétrico
Sólidos Sedimentables	NOM-AA-04-1980	Visual / Cono Imhoff
Sólidos Totales	NOM-AA-34-1981	Gravimétrico
Oxígeno Disuelto	NOM-AA-12-1980	Winkler-Azida / Titulométrico
Demanda Química de Oxígeno	NOM-AA-30-1981	Reflujo del Dicromato / Vía húmeda
Demanda Bioquímica de Oxígeno	NOM-AA-28-1981	Incubación por diluciones / Titulométrico
Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM)	NOM-AA-39-1980	Colorimétrico / UV - Visible
Grasas y Aceites	NOM-AA-05-1980	Extracción con Equipo Soxhlet / Gravimétrico
Coliformes Totales y Fecales	NOM-AA-42-1981	Tubos Múltiples de Fermentación / NMP
Metales	NOM-AA-51-1981	Digestión húmeda / E A A

RESULTADOS  
Y  
DISCUSIÓN  
DE  
RESULTADOS

## 10. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

CUADRO 2. VALORES PROMEDIO DE LOS PARÁMETROS OBTENIDOS EN LOS SITIOS DE MUESTREO.

PARÁMETRO	SITIO DE MUESTREO									VALOR DE REFERENCIA	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	NOM 001	CCA
TEMPERATURA °C	21	22	31	25.3	30	22.3	21.3	25	22	NC	NC
pH	8.1	8.0	8.6	8.4	7.2	8.3	7.9	7.5	8.1	5.0-10.0	4.5-9.0
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (µs/cm)	1727**	1745**	1759**	2300**	1898**	1779**	3356**	1807**	4415**	NC	1000.0
SÓLIDOS SEDIMENTABLES (mL/L)	0.40	0.50	0.20	0.40	<0.10	0.30	<0.10	<0.10	0.60	1.0	NC
SÓLIDOS TOTALES (mg/L)	1051.0	817.0	881.0	1255.0	1127.0	761.0	1362.0	785.0	2404.0	NC	NC
OXÍGENO DISUELTO (mg/L)	5.6	5.2	5.2	5.6	4.0	5.6	6.4	6.4	4.4	NC	NC
DQO (mg/L)	464.0	224.0	168.0	197.3	188.0	712.0	181.6	181.6	256.0	NC	NC
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	32.49	20.60	40.60	98.1	29.40	12.20	110.60	90.60	9.12	150.0	NC
ACEITES Y GRASAS (mg/L)	70.6*	155.36*	136.8*	92.6*	55.6*	71.4*	60.8*	18.2*	79.6*	15.0	NC
DETERGENTES (SAAM) (mg/L)	1.93	1.73	0.22	1.0	0.43	2.13	0.22	0.43	1.73	NC	NC
COLIFORMES TOTALES (NMP/100mL)	240,000	24,000	46,000	24,000	ND	110,000	240,000	ND	12,000	NC	NC
COLIFORMES FECALES (NMP/100mL)	110,000*	9,300*	24,000*	15,000*	ND	46,000*	110,000*	ND	7,500*	1000.0	1000.0

### SITIOS DE MUESTREO

- |                        |                      |
|------------------------|----------------------|
| 1: RÍO TULA            | 6: COMPUERTA CANAL-1 |
| 2: CANAL TECOLOTE      | 7: POZO NORIA        |
| 3: MANANTIAL TEPHE     | 8: TAXADHO           |
| 4: RÍO MANANTIAL TEPHE | 9: CANAL VILLAGRÁN   |
| 5: MAGUEY BLANCO       |                      |

- NOM 001 = NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-001-ECOL-1996  
 CCA = CRITERIOS DE CALIDAD DEL AGUA PARA RIEGO AGRÍCOLA  
 NC = NO CONSIDERADO  
 ND = NO DETECTABLE  
 \* = FUERA DE NOM-001-ECOL-1996  
 \*\* = FUERA DE CCA  
 \* = FUERA DE NOM-001-ECOL-1996 Y DE CCA

NOTA: POR ORDEN DE MUESTREO, SE INTERCALAN LAS AGUAS DE PRIMER USO CON LAS AGUAS RESIDUALES.

CUADRO 3. ANÁLISIS MULTIELEMENTAL EN LOS SITIOS DE MUESTREO.

ELEMENTO (mg/L)	SITIO DE MUESTREO									VALOR DE REFERENCIA	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	NOM 001	CCA
COBRE	0.01	0.01	0.005	0.025	0.025	0.295**	0.1225	0.0275	0.0075	4.0	0.20
ZINC	0.0437	0.0312	0.0562	0.0625	0.075	0.0875	0.0625	0.0287	0.0937	10.0	2.0
FIERRO	1.175	2.975	0.55	3.95	0.20	2.3	0.15	ND	3.5125	NC	5.0
POTASIO	67.5	71.25	64.75	92.75	71.5	81.75	100.25	69.0	71.25	NC	NC
SODIO	132.34	133.48	118.497	167.38	123.532	121.35	260.80	133.572	185.54	NC	NC
CALCIO	47.5	34.0	34.0	33.25	43.25	39.5	102.50	44.75	52.0	NC	NC
MAGNESIO	166.112	161.12	151.637	136.5	152.24	168.47	28.50	153.832	132.25	NC	NC
NIQUEL	0.007	0.040	0.0035	0.0452	ND	0.0035	0.0035	ND	0.007	2.0	0.20
CROMO	0.1625	0.0937	0.0625	0.1625	0.1	0.0312	0.0937	ND	0.1312	1.0	1.0
PLOMO	0.325	0.325	0.175	0.425	0.175	0.225	0.25	ND	0.475	0.50	5.0
CADMIO	0.055**	0.0275**	0.0125**	0.015**	0.075**	0.015**	0.02**	ND	0.02**	0.20	0.01

SITIOS DE MUESTREO

- 1: RÍO TULA
- 2: CANAL TECOLOTE
- 3: MANANTIAL TEPHE
- 4: RÍO MANANTIAL TEPHE
- 5: MAGUEY BLANCO

- 6: COMPUERTA CANAL-1
- 7: POZO NORIA
- 8: TAXADHO
- 9: CANAL VILLAGRAN

NOM 001 – NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-001-ECOL-1996  
 CCA – CRITERIOS DE CALIDAD DEL AGUA PARA RIEGO AGRÍCOLA  
 NC = NO CONSIDERADO  
 ND = NO DETECTABLE  
 \* = FUERA DE NOM-001-ECOL-1996  
 \*\* = FUERA DE CCA

NOTA: POR ORDEN DE MUESTREO, SE INTERCALAN LAS AGUAS DE PRIMER USO CON LAS AGUAS RESIDUALES.

La NOM-001-ECOL-1996 no considera los Límites Máximos Permisibles (LMP) de los siguientes parámetros realizados: Temperatura, Conductividad Eléctrica, Sólidos Totales, Oxígeno Disuelto, Demanda Química de Oxígeno, Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM), Coliformes Totales, Sodio, Potasio, Calcio, Magnesio y Hierro, debido a que son condiciones particulares de descarga, y tienen sus propias características que no siguen un patrón definido y varían según el tipo de industria que las genera; sin embargo, dada su importancia dentro del Ecosistema los parámetros mencionados se comparan con los resultados que reportan otros autores.

En los Cuadros 2 y 3 se presentan los resultados de los análisis Físicos, Químicos y Biológicos de los 9 sitios de muestreo, de los cuales el Río Tula (1), el Canal Tecolote (2), el Río Manantial-Tephe (4), la Compuerta Canal -1 (6) y el Canal Villagrán (9) son de aguas residuales; en tanto que el Manantial Tephe (3), Maguey Blanco (5), Pozo Noria (7) y Taxadho (8) corresponden a aguas de primer uso. En esta zona, la presa Endhó es la columna vertebral del sistema de riego, la cual almacena aguas negras (Quadri, 1989; Maples, 1990). Resulta importante mencionar, que por la cercanía entre los sistemas hidráulicos de aguas de primer uso y aguas residuales favorecen la percolación entre ellas. Considerando lo anterior, se presenta la siguiente discusión de resultados.

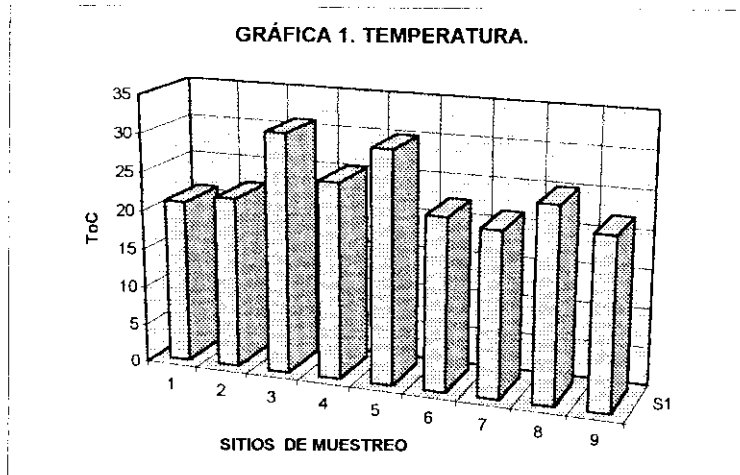
**TEMPERATURA.** La determinación de este parámetro es importante, debido a que a altas temperaturas aumentan el metabolismo y la demanda de oxígeno de los organismos acuáticos, además de que la solubilidad de los gases disminuye.

La NOM-001-ECOL-1996 no menciona el LMP de temperatura, debido a que es una condición particular de descarga.

La temperatura es un parámetro de campo, que se debe determinar de inmediato en el sitio de muestreo debido a las variaciones durante su transporte. Con base en los resultados obtenidos (gráfica 1) se tiene que en el sitio Taxadho (8) se presenta una temperatura de 25°C, en el Manantial Tephe (3) y en Maguey Blanco (5) se presentan las temperaturas de 31 y 30°C, respectivamente; en tanto que en el Pozo Noria se registra un valor de 21.3°C. La variación de temperatura se debe a que son aguas de primer uso, de Manantial y de Pozo.

En lo que respecta a los resultados de las aguas residuales (gráfica 1), se observa que el Río Manantial Tephe presenta la temperatura más alta con 25.3°C, debido a la presencia de una ramificación en la cual se mezclan aguas residuales con la del Manantial.

En el Río Tula (1), Canal Tecolote (2), Compuerta Canal 1 (6) y Canal Villagrán (9) se registraron los respectivos valores de temperatura (21, 22, 22.3, y 22°C), los cuales no varían mucho entre sí.



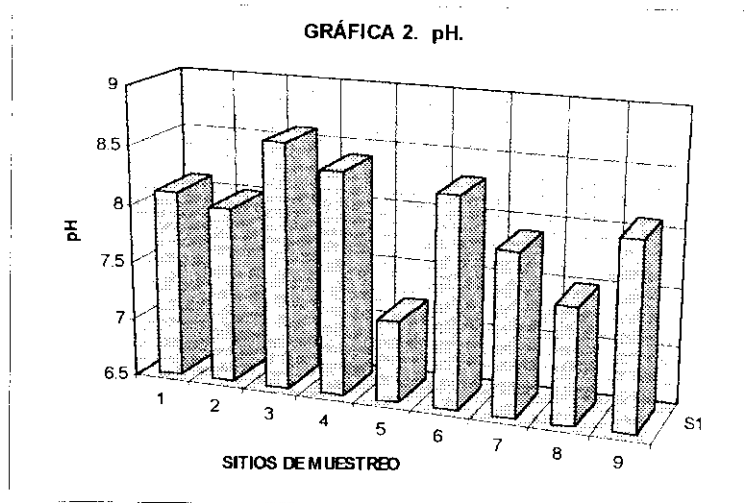
**pH.** El pH es otro parámetro que debe registrarse en campo, debido a que la actividad microbiológica puede alterar su valor. Para este parámetro, la NOM-127-SSA1-1994 “Agua para uso y consumo humano”, así como la NOM-001-ECOL-1996 indican un rango de pH de 6.5 a 8.5 y de 5.0 a 10.0, respectivamente.

De acuerdo a los resultados obtenidos de las aguas de primer uso (gráfica 2) se observa que en Taxadho (8) y en Maguey Blanco (5) se encontraron los valores de pH más próximos a la neutralidad (7.5 y 7.2), respectivamente.

En el Pozo Noria (7) se registró un pH de 7.9, en tanto que en el Manantial Tephe (3) se estimó un valor de 8.62, el cual es ligeramente superior en 0.12 unidades al que marca la norma, como consecuencia a que este sitio presenta una de las temperaturas más altas (30 °C) la cual provoca mayor disolución de sales, que como se aprecia le confieren un carácter alcalino al agua, como son los carbonatos y bicarbonatos.

En lo referente a los resultados de las aguas residuales (gráfica 2) se observa que todos los valores de los sitios bajo estudio cumplen con la NOM-001-ECOL-1996: Río Tula (1), Canal Tecolote (2), Río Manantial Tephe (4), Compuerta Canal 1 (6) y Canal Villagrán (9) con un pH correspondiente de (8.1, 8.0, 8.4, 8.3, y 8.1) en las cuales se manifiesta un carácter alcalino de las aguas. Estos resultados se deben a las descargas de aguas residuales domésticas e industriales.

La evaluación del pH es de gran importancia porque con base en este, se refleja la acidez y alcalinidad de un cuerpo de agua ya que el intervalo de concentración idóneo para la mayoría de la vida biológica es muy estrecho y crítico.

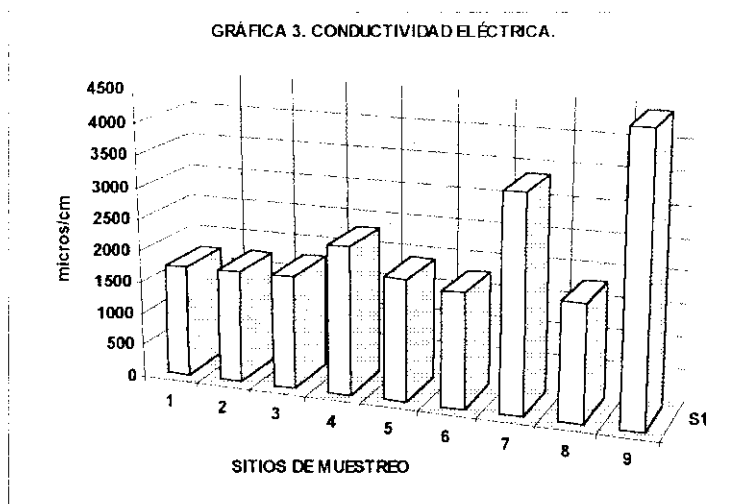


**CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA.** La Conductividad Eléctrica, también se recomienda se realice en campo, debido a que la acción microbiana puede alterar ligeramente su valor. En la gráfica 3 se presentan los resultados obtenidos para las aguas de primer uso, entre los que resalta el alto valor del Pozo Noria (3356  $\mu\text{s}/\text{cm}$ ), debido a la infiltración continua, motivo por el cual se concentran las sales.

Por otra parte, haciendo referencia a los resultados estimados de las aguas residuales (gráfica 3), se observa que todos los sitios: Río Tula (1), Canal Tecolote (2), Río Manantial Tephe (4), Compuerta Canal-1 (6), Canal Villagrán (9), superan el LMP de 1,000  $\mu\text{s}/\text{cm}$  señalado en los criterios de calidad de agua para riego, al presentar 1727, 1745, 2300, 1779 y 4415  $\mu\text{s}/\text{cm}$ , respectivamente.

Estos resultados son altos porque las aguas residuales de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México que se destinan para riego agrícola en el DDR 063, de acuerdo a su Conductividad Eléctrica se clasifican como salinas (Flores, 1991).

De acuerdo a los criterios de calidad, las aguas residuales de los sitios mencionados no se deben utilizar para riego agrícola, debido a que el exceso de sales resulta un riesgo de salinización de los suelos e impide el desarrollo de los cultivos.



**SÓLIDOS TOTALES Y SEDIMENTABLES.** Para sólidos totales, los criterios de calidad para fuente de abastecimiento de agua potable indican como LMP 1000 mg/L. En cuanto a los resultados obtenidos de las aguas de primer uso (gráfica 5) se observa que el sitio Taxadho (8), cuya agua es corriente, cumple con este requisito que marcan los criterios de calidad.

Por otra parte, en Maguey Blanco (5) y Manantial Tephe (3) se presentan concentraciones correspondientes de 881.0 y 1127 mg/L. El resultado más alto de sólidos totales (1362 mg/L) se detectó en el Pozo Noria (7), el cual contrasta con el correspondiente de Conductividad Eléctrica; además en este sitio, al igual que en los mencionados se presenta una concentración muy baja de sólidos sedimentables (gráfica 4), los cuales varían desde <0.10 a 0.20 ml/L.

Por otra parte, los sólidos totales no son considerados en la NOM-001-ECOL-1996, pero según (Metcalf and Eddy, 1991), las características de un agua residual doméstica débil presentan como LMP un valor de 350, la media de 720 y la fuerte de 1200 mg/L. En este sentido, en cuanto a los resultados obtenidos de las aguas residuales, se puede apreciar que las concentraciones de los sólidos totales (gráfica 5) se clasifican como aguas residuales domésticas con una intensidad de media a fuerte.

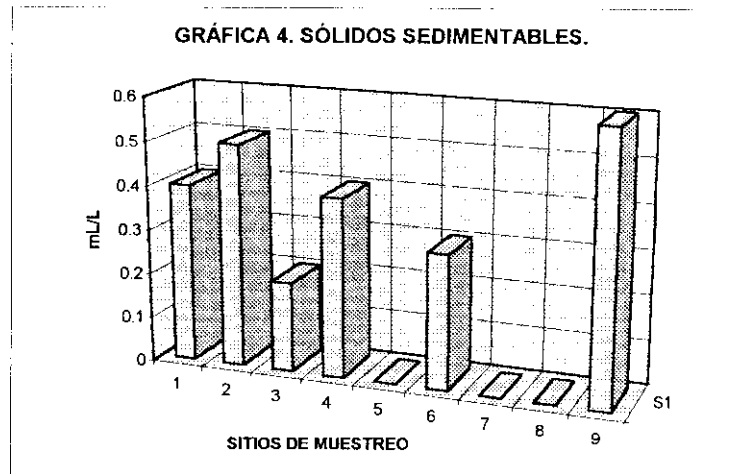
Los resultados que varían de 761 hasta 2404 mg/L y que corresponden a la Compuerta Canal 1 (6) y al Canal Villagrán (9), respectivamente; resalta mencionar que el sitio que presenta el máximo valor rebasa el doble de una concentración fuerte y que también registró el valor más alto de Conductividad Eléctrica, lo cual indica su gran contenido de sólidos disueltos y la baja concentración de sólidos sedimentables, los cuales se presentan



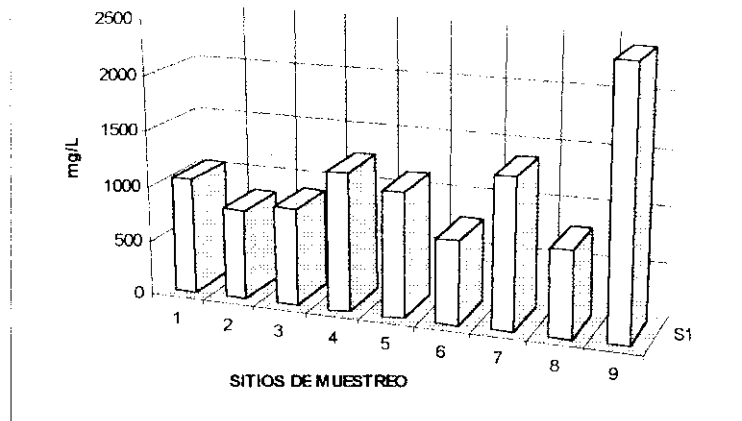
los sitios de las aguas residuales cumplen con la NOM-001-ECOL-1996 que indica un LMP de 1.0 mL/L para sólidos sedimentables.

Estos resultados se deben a la salinidad que presentan las aguas residuales de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (Flores; et al, 1991), además de la tierra y materia orgánica que resulta del lavado de los suelos que llegan a los ríos y canales (Bébin, 1988).

Las determinaciones son importantes, debido a que indican la intensidad y fuerza de las aguas, también ofrecen estimaciones de la cantidad de sólidos que se pueden eliminar (Hardenbergh, 1987).



GRÁFICA 5. SÓLIDOS TOTALES.



**OXÍGENO DISUELTO (OD).** En cuanto a oxígeno disuelto, es muy importante fijar su contenido en la muestra mediante la adición de sulfato manganoso y alcali-yoduro para su posterior determinación. En aguas no contaminadas, la concentración de oxígeno disuelto depende de la temperatura; varía desde 7.6 ppm a 30 °C hasta 14.6 ppm a 0 °C a una atmósfera de presión (Hardenbergh, 1987).

Para dicho parámetro, los criterios de calidad para fuente de abastecimiento de agua potable indica un valor de 4 ppm.

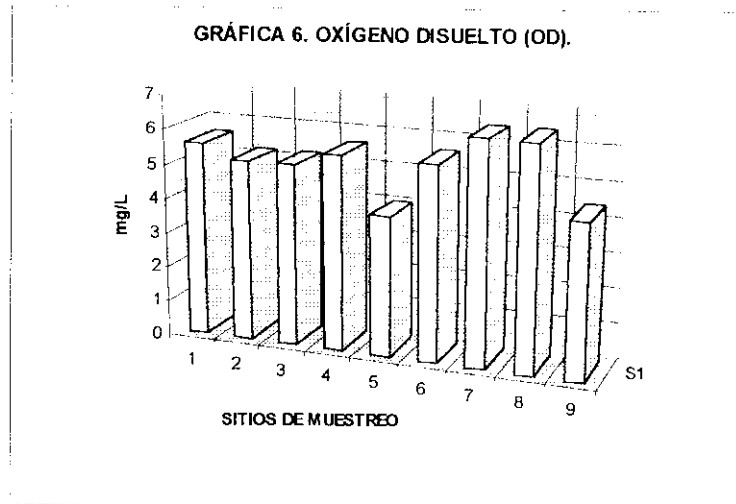
Con respecto a los resultados obtenidos (gráfica 6), de las aguas de primer uso, se observa que en Taxadho (8) se registra una de las concentraciones máximas de oxígeno disuelto con 6.4 ppm debido a que es agua corriente, la cual se somete a aireación.

En el Pozo Noria (7) también se detecta una concentración elevada de 6.4 ppm de oxígeno disuelto, debido a que se solubiliza constantemente el del ambiente. En contraste, en Maguey Blanco (5) se presenta la concentración más baja de 4 ppm esto se debe, posiblemente, a que las aguas de este sitio presentan sustancias reductoras, es decir que consumen oxígeno, y que fluyen a través de un tubo y la exposición al oxígeno del medio es mínima, además de que presenta una de las temperaturas más altas (30 °C) y como se sabe, la solubilidad del oxígeno disminuye al aumentar la temperatura. En el Manantial Tephe (3) se registra una concentración de 5.2 ppm.

En relación a los resultados de las aguas residuales (gráfica 6): Río Tula (1), Canal Tecolote (2), Río Manantial Tephe (4), Compuerta Canal 1 (6) y Canal Villagrán (9), todos presentan concentraciones por arriba de las 4 ppm que indican los criterios de calidad, (5.6, 5.2, 5.6, 5.6, y 4.4 ppm), respectivamente, debido a que el agua de tales

sitios, presentan cierta turbulencia y debido a esta, se expone más superficie de agua al contacto con el aire, hecho por el cual el oxígeno se solubiliza en el agua.

La presencia del oxígeno disuelto es deseable para mantener las condiciones aeróbicas de las aguas que reciben contaminantes (López, 1980), entre la que destaca la materia orgánica sujeta a descomposición como las grasas y aceites que consumen el oxígeno del agua (Hardenbergh, 1987).



**DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)** Para la DQO, según (Metcalf, 1991) las características de un agua residual doméstica débil presenta como LMP un valor de 250, la media de 500 y la fuerte de 1000 mg/L.

Como se puede apreciar, de acuerdo a los resultados obtenidos (gráfica 7) de las aguas de primer uso, éstos indican que en carga orgánica son de carácter débil, a continuación se mencionan; Manantial Tephe (3), Maguey Blanco (5), Pozo Noria (7) y Taxadho (8), con una DQO respectiva de 168.0, 188.0, 181.6 y 181.6 mg/L.

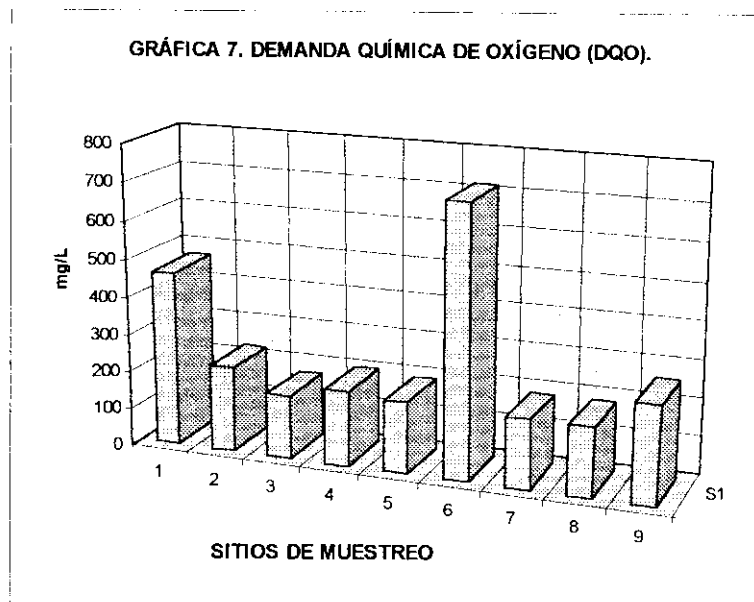
Para este parámetro la NOM-001-ECOL-1996 no menciona el LMP, debido a que corresponde a una condición particular de descarga.

Con respecto a los resultados registrados de las aguas residuales (gráfica 7), el Río Manantial Tephe (4) y el Canal Tecolote (2) señalan que en carga orgánica son de carácter débil, debido a que presentan una DQO respectiva de 197.3 y 224.0 mg/L. En tanto que en el Canal Villagrán (9) y en el Río Tula (1) se determinó una DQO correspondiente de 256.0 y 464.0 mg/L hecho que manifiesta que en carga orgánica son

de carácter medio (según Metcalf, 1991). En lo referente al resultado para el Río Tula (1), éste se aproxima a los 500 mg/L que es típico de los cuerpos afectados por descargas de aguas residuales industriales.

El resultado más alto se presenta en la Compuerta Canal 1 (6), con una DQO de 712 mg/L lo cual indica que en carga inorgánica es de carácter fuerte (de acuerdo a Metcalf, 1991). Así mismo sobrepasa el valor de los 500 mg/L que es característico de los cuerpos que reciben descargas de aguas residuales industriales.

La determinación de la DQO es importante debido a que es un indicador del grado de contaminación de un cuerpo de agua ya que se emplea para medir el contenido de materiales presentes en su totalidad, sean o no biodegradables.



**DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO<sub>5</sub>).** La (DBO<sub>5</sub>) de un agua potable debe ser prácticamente nula (Bébin, 1988). En los resultados obtenidos (gráfica 8), el sitio Taxadho (8) cuya agua es corriente presenta una DBO<sub>5</sub> de 90.60 mg/L, hecho por el cual no cumple con el requisito que menciona dicho autor para este parámetro, el cual es alto, y se debe a su contenido de materia biodegradable.

En cuanto a los resultados de los restantes sitios cuyas aguas son de primer uso (gráfica 8), el Manantial Tephe (3) y Maguey Blanco (5) presentan una DBO<sub>5</sub> respectiva de 40.60 y 29.40 mg/L.

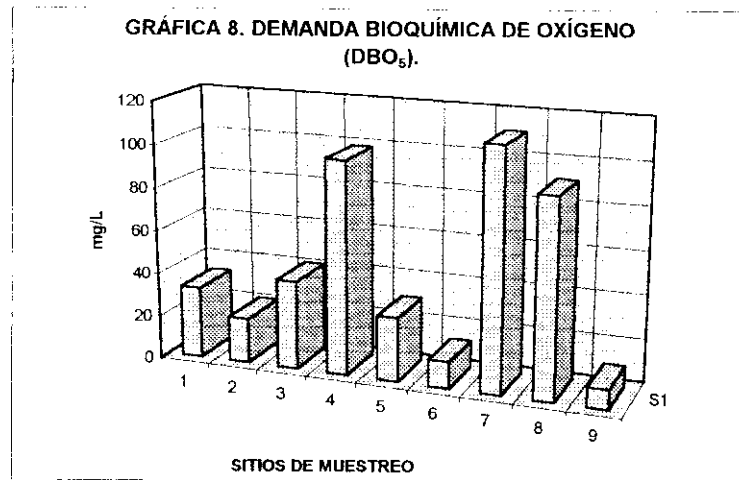
El Pozo Noria (7) exhibe el valor más alto de la DBO<sub>5</sub> con 110.60 mg/L, esto es debido a que aunque en carga orgánica es de carácter débil (según Metcalf, 1991), contiene una proporción considerable de materia biodegradable originada principalmente por las deyecciones de animales, que se encuentran en los alrededores de éste lugar y cuando se secan tales excrementos, parte de los mismos son transportados por el viento y otra se infiltra hacia el sitio mencionado, en el que además se presenta una cantidad muy elevada de organismos coliformes (240,000) que al oxidar dicha materia incrementan el valor de DBO<sub>5</sub>; no obstante el contenido de oxígeno disuelto se presenta en una concentración aceptable, debido a que se solubiliza el del medio ambiente.

En lo que se refiere a los resultados de las aguas residuales (cuadro 2, gráfica 8) se aprecia que todos los sitios cumplen con este parámetro ya que se encuentran por debajo de los 150 mg/L que establece la NOM-001-ECOL-1996.

Como se muestra en el Río Tula (1) y en la Compuerta Canal 1 (6) se registran resultados bajos de la DBO<sub>5</sub> (32.49 y 12.20 mg/L), y los más altos de la DQO (464 y 712 mg/L) los cuales indican que son afectados por descargas de aguas residuales industriales en las que la carga orgánica es superada por la inorgánica; en los que además el contenido de oxígeno disuelto se encuentra en condiciones aceptables, debido a que tales sitios presentan cierta turbulencia, lo cual favorece que se solubilice del medio.

También los iones ferroso ( $\text{Fe}^{+2}$ ), sulfitos ( $\text{SO}_3^-$ ), nitritos ( $\text{NO}_2^-$ ) y tiosulfatos ( $\text{S}_2\text{O}_3^-$ ) se oxidan y producen una DQO inorgánica que no se estima en la DBO<sub>5</sub> (NOM-AA-030-1981).

La medida de la DBO<sub>5</sub> es importante ya que se utiliza para determinar la cantidad aproximada de oxígeno que se requerirá para estabilizar biológicamente la materia orgánica presente.



**GRASAS Y ACEITES.** Para grasas y aceites, los criterios de calidad para fuente de abastecimiento de agua potable, indican que debe estar ausente, y puesto que en el sitio Taxadho (8) se reporta una concentración de 18.2 mg/L con lo cual se manifiesta que no cumple con este requisito de las aguas para uso y consumo humano.

Este resultado puede deberse a que las aguas se contaminan en algún punto, antes de llegar a las tomas del consumidor, o bien porque no son removidas en su totalidad durante su tratamiento.

Ahora bien, en cuanto a los resultados de las demás aguas de primer uso (gráfica 9) se observa que en el Manantial Tephe (3) se presenta una concentración elevada de 136.8 mg/L, el cual se debe a que este sitio es contaminado a través de su curso. En Maguey Blanco (5) y Pozo Noria (7) se registra una concentración de 55.6 y 60.0 mg/L, respectivamente.

Por otra parte, la NOM-001-ECOL-1996 establece un LMP de 15.0 mg/L para grasas y aceites.

Ahora bien, haciendo referencia a los resultados estimados de las aguas residuales (cuadro 2, gráfica 9); se puede apreciar que todos los sitios superan el LMP establecido por la NOM-001-ECOL-1996: Río Tula (1), Canal Tecolote (2), Río Manantial Tephe (3), Compuerta Canal 1 (6) y Canal Villagrán (9), en los cuales se presenta una concentración respectiva de 70.6, 155.36, 92.6, 71.4 y 79.6 mg/L.

Por otro lado, dichas sustancias crean películas superficiales en el agua interfiriendo en la solubilidad del oxígeno, ya que como se observa en los resultados de las aguas residuales,

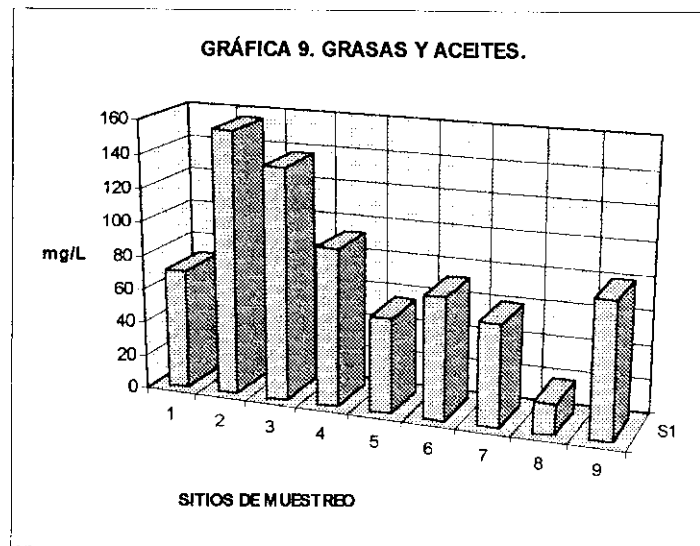
los sitios con mayor contenido de este gas, en general presentan menor concentración de grasas y aceites, situación que también se manifiesta con la presencia de surfactantes.

En Maguey Blanco (5) se detectó una concentración de 55.6 ppm, en tanto que los restantes sitios de muestreo superan este valor, obteniéndose la concentración más alta de 155.36 ppm para el Canal Tecolote (2).

Estos resultados se deben a que las grasas y aceites provienen principalmente de las descargas de aguas residuales domésticas, industriales y de servicios (Fair, 1996).

Las aguas de los sitios cuyos valores superan el LMP no deben ser utilizadas para riego agrícola debido a que las grasas y aceites alteran las propiedades físicas y químicas del suelo y pueden presentar problemas para el desarrollo de los cultivos (Flores, 1991).

Por otra parte, las grasas y aceites crean películas superficiales en el agua interfiriendo en la solubilidad del oxígeno, situación que no es favorable, debido a que la presencia del oxígeno es deseable e importante para mantener las condiciones aeróbicas de las aguas (Metcalf, 1991).



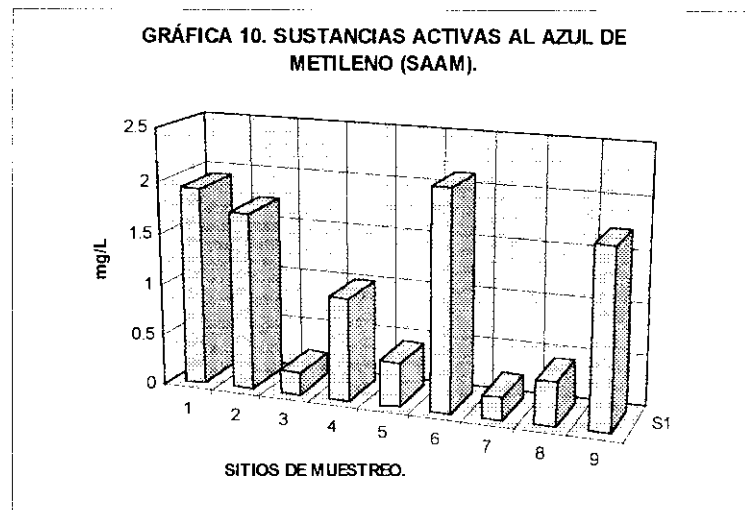
**SUSTANCIAS ACTIVAS AL AZUL DE METILENO (SAAM).** Para SAAM, según los criterios de calidad para fuentes de abastecimiento de agua potable, así como la NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental, agua para uso y consumo humano indican un LMP de 0.50 ppm.

Para los valores de este parámetro, se observa que las aguas de primer uso se encuentran por debajo del límite que marca la NOM-127-SSA1-1994 (gráfica 10); siendo de 0.22 ppm para el Manantial Tephe (3) y Pozo Noria (7), de 0.43 ppm para Maguey Blanco (5) y Taxadho (8), cabe mencionar que el agua de este sitio es corriente.

En cuanto a los resultados obtenidos de los surfactantes (gráfica 10), de las aguas residuales, se observa que sobrepasan el LMP que indica la norma mencionada y los criterios de calidad para fuente de abastecimiento de agua potable. Tales resultados varían desde 1.0 ppm para el Río Manantial Tephe (4), 1.73 ppm para el Canal Tecolote (2) y Canal Villagrán (9), 1.93 ppm para el Río Tula (1) y 2.13 ppm para la Compuerta Canal 1 (6).

Los resultados de este parámetro de dichas aguas se deben principalmente a las descargas de aguas residuales domésticas y en menor proporción a las descargas de aguas residuales industriales.

Este parámetro debe ser vigilado, debido a que provoca la formación de espuma que dificulta la transferencia de oxígeno atmosférico en el agua (Metcalf, 1991), además los suelos del DDR 063 presentan altos porcentajes de materia orgánica, lo que contribuye a su alta capacidad de intercambio, factores que influyen en gran medida en la retención de los tensoactivos que se proporcionan por el riego agrícola (Méndez, 1990).





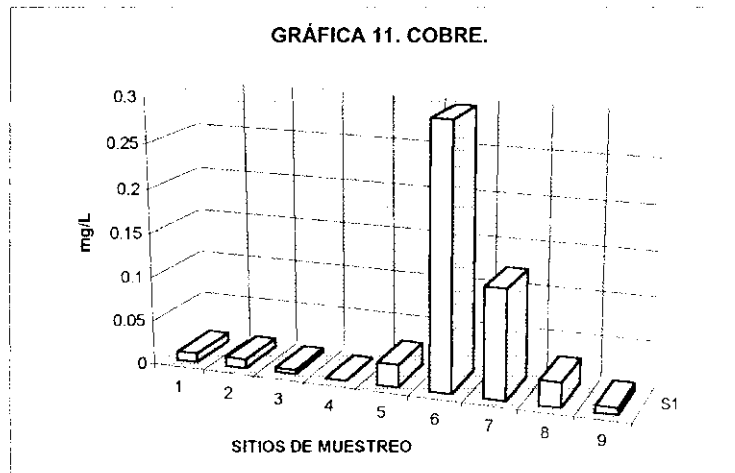
**METALES (Cu, Zn, Fe, K, Na, Ca, Mg, Ni, Cr, Pb y Cd).** En la cuadro 3 (gráficas 11 a 21) se muestra la media de las concentraciones de los metales.

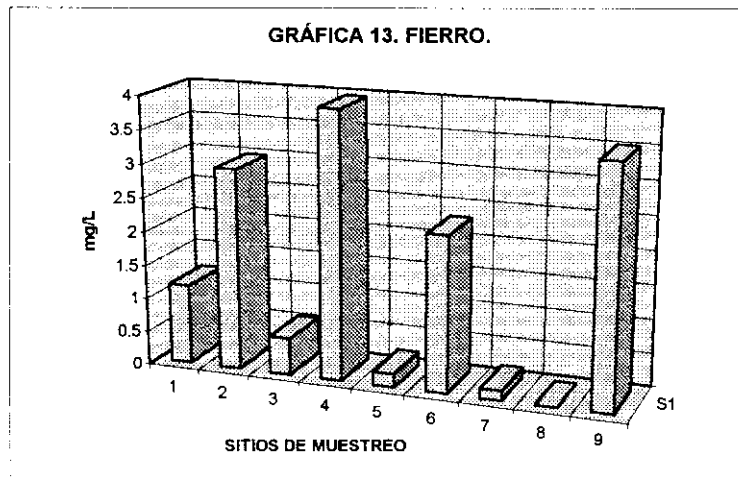
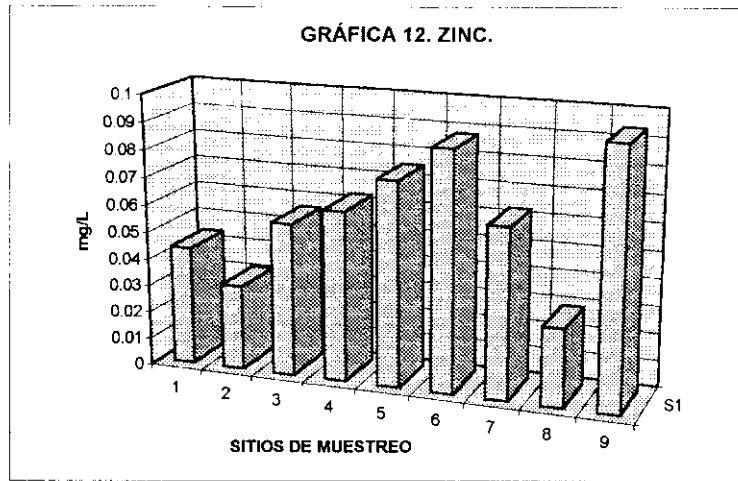
Ahora bién, la NOM-127-SSA1-1994, señala para Cu, Zn y Fe los siguientes límites máximos permisibles 2.0, 5.0 y 0.30 mg/L, respectivamente.

Con respecto a los resultados de las aguas de primer uso (gráficas 11, 12 y 13), se observa que el sitio Taxadho (8), cuya agua es corriente, al igual que los demás sitios, cumplen con la norma en lo que respecta a los 3 metales mencionados; a excepción del Manantial Tephe (3), que presenta una concentración de 0.55 mg/L de Fe.

En cuanto a los resultados de las aguas residuales, se tiene que para el Cu y Zn la NOM-001-ECOL-1996, establece el correspondiente límite máximo de 4.0 y 10.0 mg/L; en tanto que los criterios de calidad de agua para riego indican un LM permisible de 5.0 mg/L para Fe.

Como se puede apreciar en los resultados obtenidos de las aguas residuales (gráficas 11, 12 y 13), estos no exceden los límites establecidos, por lo tanto se aceptan dichas aguas en cuanto a estos tres metales mencionados; exceptuando en la Compuerta Canal I (6) cuya concentración de Cu (0.295 mg/L) se encuentra por arriba del límite máximo permisible que indican los criterios de calidad de agua para riego (0.20 mg/mL); motivo por el cual las aguas de este sitio no se deben utilizar para riego agrícola.





En relación al potasio, la NOM-127-SSA-1-994 Salud Ambiental, agua para uso y consumo humano no lo considera, sin embargo, la Organización Mundial de la Salud (WHO, 1992) recomienda un límite máximo de 12.0 mg/L.

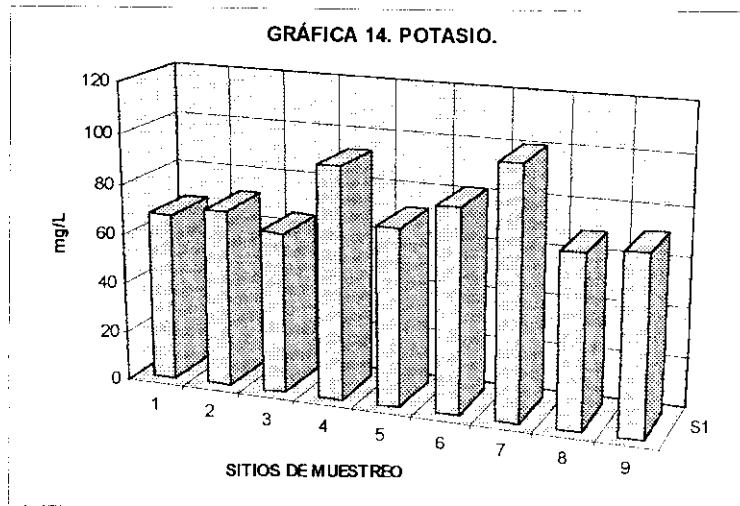
Como se puede apreciar en los resultados obtenidos (gráfica 14) de los sitios cuyas aguas son de primer uso, se tiene que en el Manantial Tephe (3), la concentración de potasio (64.75 ppm) supera en más de 5 veces el límite recomendado por la WHO.

En tanto que en Maguey Blanco (5) (71.5 ppm) así como en Taxadho (8) (69.0 ppm) cuya agua es corriente rebasan casi 6 veces la concentración recomendada por esta Organización.

Este resultado se puede deber a que el potasio no es eliminado adecuadamente durante el proceso de tratamiento o a la contaminación que sufre la red de abastecimiento y distribución de las fuentes de agua potable.

El valor más alto de este metal se registró en el pozo Noria (7) (100.25 ppm), el cual sobrepasa más de ocho veces el valor recomendado por la WHO, este resultado se debe a la infiltración continua de sales.

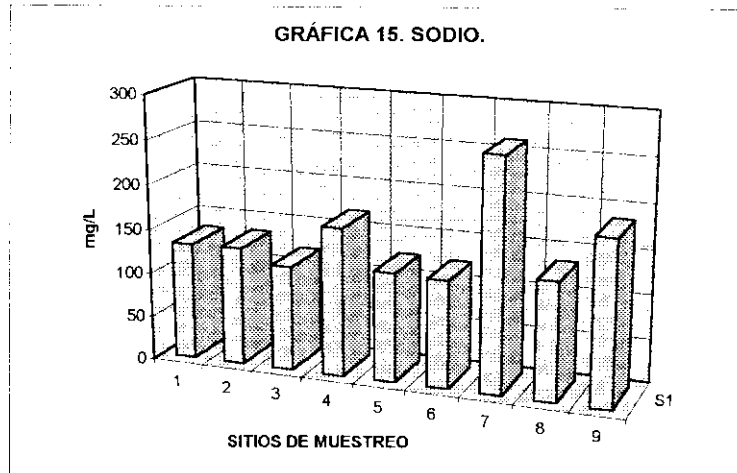
Con respecto a las aguas residuales, en lo referente al K, la NOM-001-ECOL-1996 no lo considera, pero su determinación es importante, debido a que es un indicador de la calidad del agua. De acuerdo a los resultados obtenidos (gráfica 14) se puede observar que son altos y se deben a la salinidad de las aguas residuales provenientes de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México.



Para la presencia de Na, la NOM-127-SSA-1-1994 menciona un LMP de 200.0 mg/L y como se aprecia en los resultados obtenidos (gráfica 15), todos los sitios cuyas aguas son de primer uso satisfacen la norma, excepto el Pozo Noria (7) cuya concentración es de 260.80 mg/L, la cual se debe a la infiltración continua de diferentes sales. situación que también se refleja en su alto valor de conductividad.

En cuanto a las aguas residuales, con respecto al Na la NOM-001-ECOL-1996 no lo considera, pero su determinación es importante, debido a que constituye un indicador de

la calidad del agua. De acuerdo a los resultados obtenidos (gráfica 15) se puede apreciar que son altos, los cuales se deben a la salinidad de las aguas residuales provenientes de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, siendo el Na<sup>+</sup> uno de los iones con altas concentraciones en dichas aguas (Flores, 1991).



En lo que respecta al Ca y Mg, la NOM-127-SSA-1-1994 no los considera, pero de acuerdo a lo reportado por la literatura, según la WHO (1992) los límites recomendados para el agua potable son de 250.0 mg/L para el Ca y de 50.0 mg/L para el Mg.

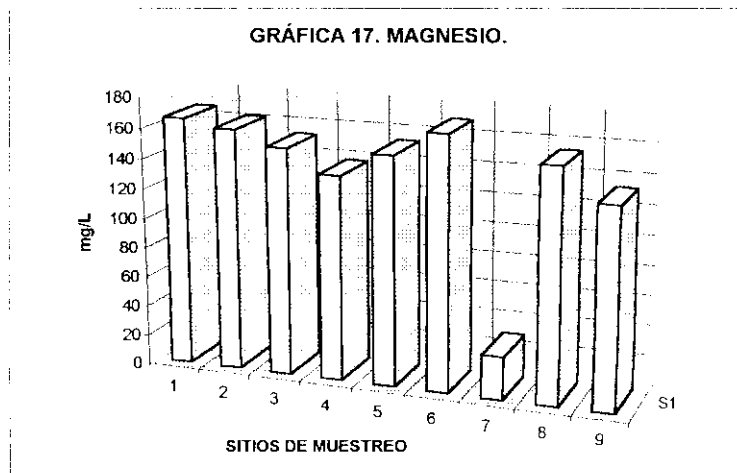
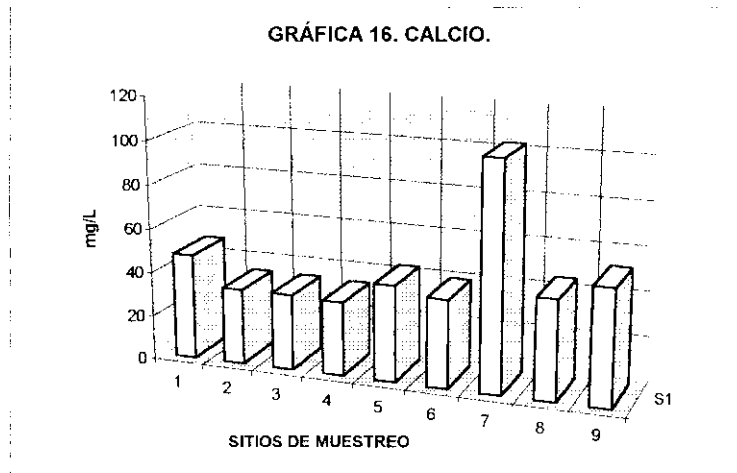
De acuerdo a los resultados obtenidos, en lo referente a las concentraciones de Ca (gráfica 16), se observa que todos los sitios cuyas aguas son de primer uso cumplen con lo establecido por esta Organización.

En cuanto al Mg (gráfica 17), los sitios Manantial Tephe (3), Maguey Blanco (5) y Taxadho (8) presentan las concentraciones respectivas de 151.37, 152.24 y 153.832 ppm las cuales sobrepasan en más de tres veces el límite recomendado por tal Institución, razón por lo cual no cumplen lo establecido por este Organismo, con excepción del Pozo Noria (7), que presenta una concentración de 28.58 ppm que satisface el límite recomendado por la WHO.

Los resultados altos del Manantial Tephe (3) pueden deberse a la disolución de las rocas, o que se contamina a través de su curso. En tanto que los de Maguey Blanco (5) y Taxadho (8) también pueden deberse a que se contaminan a través de su curso y considerando que el agua del sitio Taxadho (8) es corriente sus resultados también

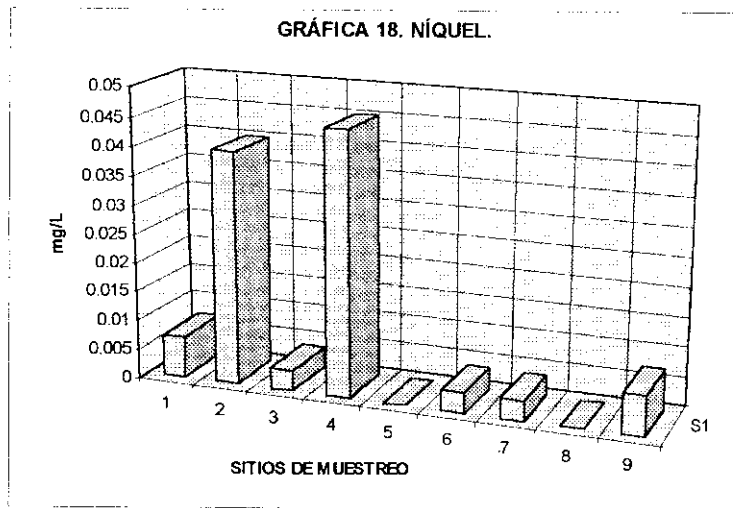
pueden deberse a que este elemento no es eliminado completamente durante su tratamiento.

Para las aguas residuales, en relación al Ca y Mg, la NOM-001-ECOL-1996 no los considera; pero sus determinaciones son importantes debido a que son indicadores de la calidad del agua. En lo referente a los resultados de los metales mencionados (gráficas 16 y 17) se puede apreciar que en general son altos, debido a la salinidad que presentan las aguas residuales procedentes de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México y entre los iones más abundantes se encuentran el  $Mg^{+2}$  y el  $Ca^{+2}$ , además del  $Na^{+}$  y el  $K^{+}$  (Flores, 1991) características que contrastan con los resultados obtenidos.



Para el Ni, los criterios de calidad para fuente de abastecimiento de agua potable indican un LMP de 0.01 mg/L. Como se puede observar, en cuanto a los resultados obtenidos para este elemento (gráfica 18), se aprecia que todas las aguas de primer uso cumplen con este requisito que marcan los criterios de calidad.

En cuanto a las aguas residuales, por lo que respecta al Ni, la NOM-001-ECOL-1996 indica un LMP de 2.0 mg/L. De acuerdo a los resultados obtenidos (gráfica 18) se puede apreciar que todos los sitios cumplen con la norma y se aceptan para usarlas en riego agrícola en cuanto al metal señalado.



Por lo que respecta al Cd, Cr y Pb, los criterios de calidad para fuente de abastecimiento de agua potable indica los correspondientes límites máximos permisibles de 0.01, 0.05 y 0.05 mg/L.

Como se puede apreciar en los resultados obtenidos para dichos metales (gráficas 19, 20 y 21) de las aguas de primer uso, se observa que los resultados encontrados en Maguey Blanco (5), Manantial Tephe (3) y Pozo Noria (7) superan los límites que mencionan los criterios de calidad, siendo Taxadho (8) cuya agua es corriente, el único sitio que satisface los requerimientos que estipulan los criterios de calidad para fuentes de abastecimiento de agua potable para el Cd, Cr y Pb.

Los resultados altos que se presentan en Maguey Blanco (5) con respecto al Cd (0.075 ppm) y Pb (0.175 ppm) se pueden deber a la presencia de impurezas de tales metales en las tuberías galvanizadas y en la soldadura de la misma (Albert, 1995).

Con respecto a los resultados altos de Cd (0.0125 ppm) y Pb (0.175 ppm) encontrados en el Manantial Tephe (3), estos pueden deberse a que el Cd y Pb que se emite a la atmósfera pueden llegar al sitio mencionado por acción del viento y de la lluvia, además el Cd también puede ser transportado al sitio mencionado como resultado del uso continuo de las llantas de los autos debido al uso de compuestos de zinc en el proceso de vulcanización, o bien por el lavado de las carreteras (Mortvedt, 1983).

En relación a los altos valores de Cd (0.02 ppm) y Pb (0.25 ppm) detectados en el Pozo Noria (7), estos pueden deberse al contacto del agua con la tubería y grifos galvanizados (López, 1980).

Los altos niveles de Cr encontrados en Maguey Blanco (5) (0.1 ppm), Manantial Tephe (3) (0.0625 ppm) y en el Pozo Noria (7) (0.0937 ppm) se pueden deber a que las aguas de estos sitios se contaminan por acción de la lluvia y el viento como resultado de la erosión de la corteza terrestre y/o como consecuencia de las actividades antropogénicas que liberan Cr al medio ambiente (Albert, 1995; López, 1980).

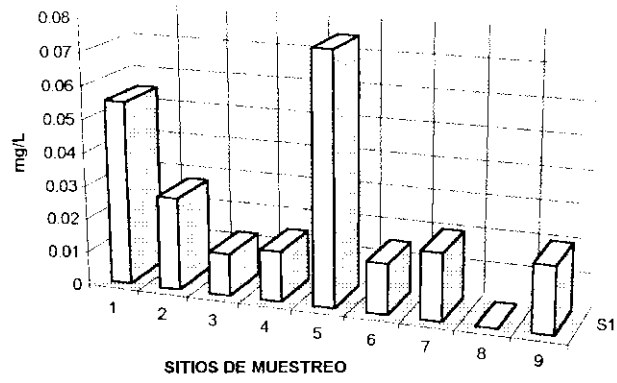
La importancia de la determinación de estos metales (Cd, Cr, Ni y Pb) radica en su alta toxicidad aún a bajas concentraciones.

Ahora bien, en lo referente a las aguas residuales, la NOM-001-ECOL-1996 indica para el Pb, Cd y Cr el correspondiente LMP de 0.50, 0.20 y 1.0 mg/L. De acuerdo a los resultados obtenidos (gráficas 19, 20 y 21) de las aguas residuales, se observa que todos los sitios cumplen con la norma y se aceptan para usarlas en riego agrícola en cuanto a los metales señalados.

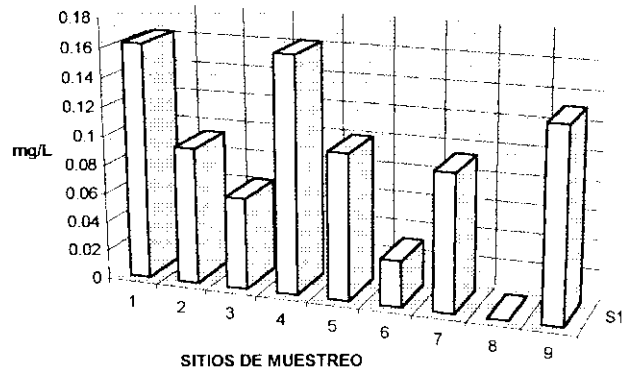
Por otra parte los criterios de calidad de agua para riego indican para el Pb, Cr y Cd el correspondiente LMP de 5.0, 1.0 y 0.01 mg/L. En el cuadro 3 se muestran los resultados en los cuales se puede observar que todos los sitios presentan concentraciones por arriba de las que marcan dichos criterios en cuanto al cadmio se refiere; por este motivo, tales aguas residuales no deben utilizarse para riego agrícola ya que de acuerdo a los criterios de calidad de agua para riego agrícola, están excedidas en Cd que es altamente tóxico.

Estos resultados se deben a las descargas de aguas residuales.

GRÁFICA 19. CADMIO.

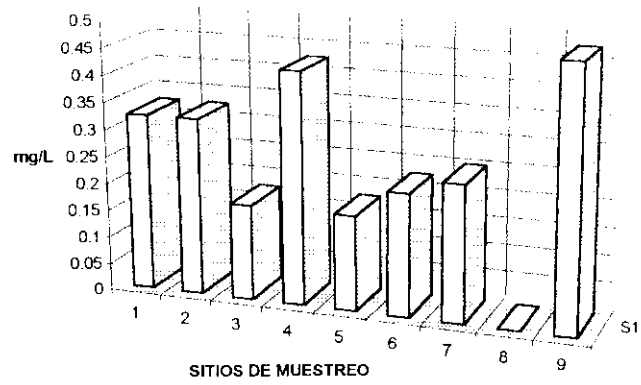


GRÁFICA 20. CROMO.





GRÁFICA 21. PLOMO.



## **CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES UTILIZADAS PARA RIEGO AGRÍCOLA DE ACUERDO A LA NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-001-ECOL-1996, EN FUNCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS (COLIFORMES TOTALES Y FECALES).**

La NOM-001-ECOL-1996 establece las condiciones bacteriológicas para el uso de las aguas residuales en el riego agrícola. Así mismo establece un límite máximo permisible (NMP/100 mL) de 1000.0 coliformes fecales.

A continuación se presentan los resultados microbiológicos de los sitios que contienen aguas residuales, los cuales no cumplen con la NOM-001-ECOL-1996 con respecto a los coliformes fecales: Canal Villagrán (9), Canal Tecolote (2), Río-Manantial Tephe (4), Compuerta Canal - 1 (6) y Río Tula (1) (con un NMP/100 mL de coliformes totales y fecales respectivo de: NMP/100 mL = 12,000, 7,500; 24,000, 9,300; 24,000, 15,000; 110,000, 46,000; y de 240,000, 110,000).

Ahora bien, de acuerdo a estos resultados (gráficas 22 y 23) podemos señalar que dichos parámetros bacteriológicos indicadores de contaminación son elevados, los cuales se deben a las descargas de aguas residuales domésticas e industriales que contienen grandes cantidades de nutrientes y de materia fecal que favorecen el crecimiento de coliformes totales y fecales (APHA, 1991).

Considerando que estas aguas contienen microorganismos patógenos que pueden encontrarse en los productos agrícolas y que a su vez afectan la salud humana, es necesario realizar una clasificación de éstas de acuerdo a las características microbiológicas; por lo que en función de los Coliformes fecales, todas las aguas residuales de los sitios anteriormente mencionados se clasifican como agua para riego tipo 3; con excepción de la del Río Tula (1), la cual se clasifica como tipo 4.

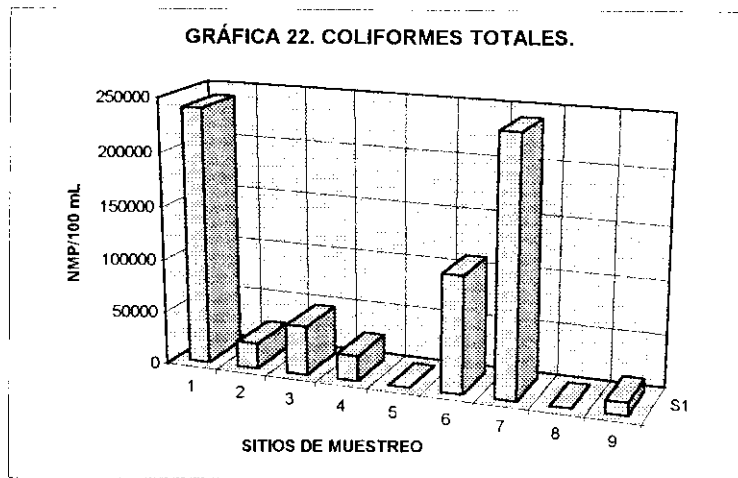
Por otra parte, en la NOM-127-SSA1-1994. Salud ambiental, agua para uso y consumo humano se indica para los organismos coliformes totales como límite máximo permisible 2 NMP/100 mL.; en tanto que los coliformes fecales no se deben detectar (no detectable NMP/100 mL.).

De acuerdo a los resultados obtenidos de las aguas de primer uso, (gráficas 22 y 23) se observa que el sitio Taxadho (8), cuya agua es corriente al igual que la procedente del manantial Maguey Blanco (5) cumplen con lo estipulado por la norma mencionada en cuanto a estas características bacteriológicas, debido a que en ambos sitios no se detectó la presencia de coliformes totales y fecales.

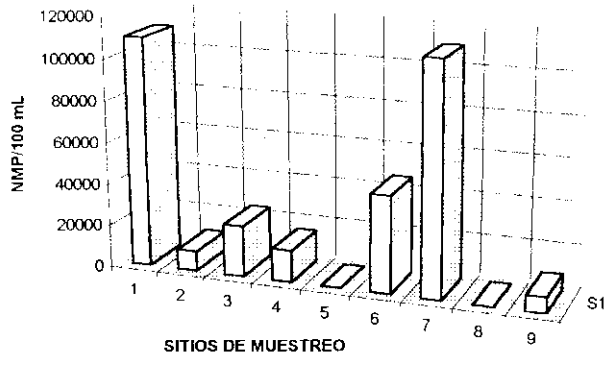
Por otra parte, los sitios mencionados de acuerdo a la NOM-001-ECOL-1996 en función de los coliformes fecales se clasifican como agua tipo 1.

Con respecto a las restantes aguas de primer uso; en el canal que conduce agua del Manantial Tephe (3) se presenta una cantidad considerable de coliformes totales y fecales (46,000 y 24,000 NMP/100 mL), respectivamente, lo cual se puede deber a las defecaciones que se realizan al aire libre, las cuales afectan la calidad. El agua de este sitio, en función de los coliformes fecales es de tipo 3.

El Pozo Noria (7) muestra el valor más alto de coliformes totales y fecales (240,000 y 110,000 NMP/100 mL), que contrastan con el respectivo resultado de la DBO<sub>5</sub> (110.60 mg/L) y se deben principalmente a las deyecciones de los animales que se encuentran en los alrededores. El agua de este sitio de acuerdo a la NOM-001-ECOL-1996 en función de los coliformes fecales es de tipo 4.



GRÁFICA 23. COLIFORMES FECALES.



# CONCLUSIONES

## 11. CONCLUSIONES

A continuación se presentan las conclusiones para las aguas de primer uso y posteriormente las de aguas residuales.

### AGUAS DE PRIMER USO

#### **Taxadho (8)**

- 1) El agua de Taxadho no es apta para riego agrícola ya que supera el LMP de grasas y aceites establecido en la NOM-001-ECOL-1996. Rebasa el valor de conductividad eléctrica que indican los criterios de calidad de agua para riego.
- 2) El agua de Taxadho de acuerdo a la NOM-001-1996 en función de los coliformes fecales, se clasifica como agua tipo I.
- 3) El agua del sitio Taxadho, no se considera apta para uso como agua potable debido a la presencia de grasas y aceites ya que no cumple con los criterios de calidad, que establecen que para el agua potable no deben de existir estas sustancias.

#### **Maguey Blanco (5)**

- 4) EL agua de Maguey Blanco no es apta para riego agrícola porque supera la concentración de grasas y aceites establecida por la NOM-001-ECOL-1996. Exceden el límite para Cd y conductividad eléctrica, señalados en los criterios de calidad de agua para riego.
- 5) El agua de Maguey Blanco de acuerdo a la NOM-001-1996 en función de los coliformes fecales, se clasifica como agua tipo I.
- 6) El agua de Maguey Blanco se considera no satisfactoria como agua potable ya que las concentraciones de Cd, Cr y Pb exceden los límites que marca la NOM-127-SSA1-1994. Supera los límites que indican los criterios de calidad para grasas y aceites, sólidos totales, Cd, Cr y Pb.

#### **Manantial Tephe (3)**

- 7) El agua del Manantial Tephe no es apta para riego agrícola ya que supera los límites de coliformes fecales así como el de grasas y aceites establecidos en la NOM-001-ECOL-1996. Exceden los límites de Cd y conductividad eléctrica indicados en los criterios de calidad.

- 8) El agua de Manantial Tephe de acuerdo a la NOM-001-1996 en función de los coliformes fecales, se clasifica como agua tipo 3.
- 9) El agua del Manantial Tephe no cumple con los requisitos del agua potable, ya que rebasa los niveles de aceptación de Fe, Cd, Cr, Pb, pH, coliformes totales y fecales indicados en la NOM-127-SSA1-1994. Las concentraciones de grasas y aceites, Fe, Cd, Cr, Pb y coliformes fecales se encuentran por arriba de los límites indicados en los criterios de calidad para fuentes de abastecimiento de agua potable.

#### **Pozo Noria (7)**

- 10) El agua del Pozo Noria no se debe usar para riego agrícola, porque rebasa los límites de grasas y aceites y coliformes fecales establecidos en la NOM-001-ECOL-1996. Los valores de Cd y conductividad eléctrica se encuentran por arriba de los límites señalados en los criterios de calidad de agua para riego.
- 11) El agua del Pozo Noria de acuerdo a la NOM-001-1996 en función de los coliformes fecales, se clasifica como agua tipo 4.
- 12) El agua del Pozo Noria no cumple con las características del agua potable, ya que las concentraciones de Na, Cd, Cr, Pb, coliformes totales y fecales se encuentran por arriba de los límites que marca la NOM-127-SSA1-1994. Así mismo, rebasa los límites de grasas y aceites, Cd, Cr, Pb, sólidos totales y coliformes fecales que se indican en los criterios de calidad para fuente de abastecimiento de agua potable.

### **AGUAS RESIDUALES PARA RIEGO AGRÍCOLA**

Con respecto al análisis de resultados de las aguas residuales, se citan las siguientes conclusiones.

#### **Río Tula (1)**

- 1) Las aguas del Río Tula no son aptas para el riego agrícola.
- 2) Las aguas del Río Tula de acuerdo a la NOM-001-1996 en función de los coliformes fecales, se clasifica como agua para riego tipo 4.
- 3) Para el Río Tula, las concentraciones de grasas y aceites y coliformes fecales superan los límites máximos permisibles establecidos en la NOM-001-ECOL-1996. Los valores de Cd, conductividad eléctrica y coliformes fecales exceden los límites señalados en los criterios de calidad de agua para riego agrícola.

#### **Canal Tecolote (2)**

- 4) Las aguas del Canal Tecolote no son aptas para su disposición en riego agrícola.
- 5) Las aguas del Canal Tecolote de acuerdo a la NOM-001-1996 en función de los coliformes fecales, se clasifica como agua para riego tipo 3.
- 6) Para el Canal Tecolote, las concentraciones de grasas y aceites y coliformes fecales rebasan los límites establecidos en la NOM-001-ECOL-1996. En las aguas del Canal Tecolote, los valores de los parámetros Cd, conductividad eléctrica y coliformes fecales se encuentran por arriba de los límites máximos permisibles señalados en los criterios de calidad de agua para riego agrícola.

#### **Río Manantial Tephe (4)**

- 7) Las aguas del Río Manantial Tephe no son aptas para su uso en riego agrícola.
- 8) Las aguas del Río Manantial Tephe de acuerdo a la NOM-001-1996 en función de los coliformes fecales, se clasifican como agua para riego tipo 3.
- 9) Para el Río Manantial Tephe, las concentraciones de grasas y aceites y coliformes fecales superan los límites establecidos en la NOM-001-ECOL-1996. Los valores de Cd, conductividad eléctrica y coliformes fecales exceden los límites estipulados en los criterios de calidad.

#### **Compuerta Canal 1 (6)**

- 10) Las aguas de la Compuerta Canal 1, no cumplen con los requisitos necesarios para su uso en riego agrícola.
- 11) Las aguas de la Compuerta Canal-1 de acuerdo a la NOM-001-1996 en función de los coliformes fecales, se clasifican como agua para riego tipo 3.
- 12) Para la Compuerta Canal 1, las concentraciones de grasas y aceites y coliformes fecales rebasan los límites máximos permisibles establecidos en la NOM-001-ECOL-1996. Los valores de Cd, Cu, conductividad eléctrica y coliformes fecales superan los niveles de aceptación indicados en los criterios de calidad.

#### **Canal Villagrán (9)**

- 13) Las aguas de canal Villagrán no cumplen con los requisitos necesarios para su disposición en riego agrícola.



- 14) Las aguas del Canal Villagrán de acuerdo a la NOM-001-1996 en función de los coliformes fecales, se clasifican como agua para riego tipo 3.
- 15) En las aguas del Canal Villagrán las concentraciones de grasas y aceites y coliformes fecales exceden los límites estipulados en la NOM-001-ECOL-1996. Los valores de Cd, conductividad eléctrica y coliformes fecales se encuentran por arriba de los límites señalados en los criterios de calidad de agua para riego agrícola.

# PROPUESTAS

## 12. PROPUESTAS

- 1) Realizar campañas de concientización ciudadana en relación a la cultura del agua.
- 2) Creación u optimización de plantas de tratamiento de aguas residuales en los municipios y en las fuentes generadoras a fin de eliminar o reducir considerablemente la carga de contaminantes, con especial interés en aquéllos que son tóxicos a la salud. La capacidad de las plantas municipales de tratamiento deben corresponder al volumen actual de aguas residuales generadas.
- 3) Monitorear periódicamente las aguas destinadas para el riego agrícola, las cuales deben cumplir con la normatividad vigente para evitar que se generen graves problemas de salud pública.
- 4) En relación a las aguas de primer uso (Maguey Blanco y Manantial Tephe y a las residuales (Río Manantial Tephe), se propone la construcción de canales paralelos para que conduzcan por separado cada tipo de agua para evitar que se mezclen y se contaminen aún más las aguas de primer uso; además como ya se mencionó anteriormente en las conclusiones, todas las aguas de primer uso no son aptas para uso y consumo humano ni para fuente de abastecimiento de agua potable, por lo cual no se deben utilizar para los fines mencionados hasta aplicarles los tratamientos más adecuados.
- 5) Desarrollar la técnica para la determinación de huevos de helmintos.

# BIBLIOGRAFÍA

### 13. BIBLIOGRAFÍA

- 1) Albert A., 1995, "Toxicología Ambiental". 2da. Edición. Editorial Limusa. México; pp.- 105, 108-109, 114, 116, 118-119, 145, 148, 151, 171-172.
- 2) Alloway B. J., 1990, "Heavy metals in soils". Blackie. John Wiley & Sons. N. Y., E.U.A., pp.- 111, 121.
- 3) Alvarez G. A, Silva M. S., 1993, "Aguas Residuales". Boletín IIE, 17(2): pp.- 88-93.
- 4) American Society for Testing and Materials. Philadelphia, Pennsylvania., 1994, "Manual de Aguas para usos Industriales". 3era Edición. Limusa. México, pp.-240, 242, 246.
- 5) APHA, AWWA, WPCF.,1992, "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater". 18ª Edition. E. U. A., pp.- 1-20, 2-43, 3-56, 3-57, 3-69, 3-100, 5-1, 5-2, 5-4, 5-6, 5-24, 5-33, 5-34.
- 6) AWWA., 1990, "Water quality and treatment. A handbook of community water supplies". 4ª edición. U. S. A. pp.- 1140, 1143-1144.
- 7) Barceló J. y Poschenrieder C., 1989, "Estrés vegetal inducido por metales pesados". Investigación y Ciencia, (154):54-63.
- 8) Bébin J.,1988, "La Depuración Biológica del Agua". Mundo Científico, 8 (76):276-283.
- 9) Bohn L. H., 1993, "Química del suelo". Editorial Limusa., México., pp.- 324.
- 10) Castellan W. G., 1983, "Physical Chemistry". 3a. Edition, Addison-Wesley. E. U. A., pp., 96- 97.
- 11) Carson, B.; Harry, V and Joy, L., 1986 "Toxicology and Biological Monitoring of metals in human. Including Feasibilidad and Need". Lewis Publishers. Inc. Michigan U.S.A., pp.-59-63, 140-143, 188, 226-229.
- 12) Castillo, G. L.; Arteaga, M. M. y Castillo, G. J. L., 1993 "Fundamentos y Aplicaciones de la Absorción Atómica". D.F. México.
- 13) Chenevel J.P., 1993, "La Toxicidad de los Detergentes". Mundo Científico, 13 (33): 216-223.

- 14) Colli M. J., 1990, "Remoción de metales pesados y otros compuestos en un tipo de suelo del Distrito de Riego 03, Hidalgo México". Primer Simposio Nacional de degradación del suelo. pp.- 50-51.
- 15) Congreso de los Estados Unidos Mexicanos, 1997, "Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente y disposiciones complementarias". 13a. Edición. Porrúa. S. A., México, pp.- 75-86.
- 16) Congreso de los Estados Unidos Mexicanos, 1996, "Ley de Aguas Nacionales y su reglamento". 3a. Edición. Porrúa. S. A., México, pp.- 63-71.
- 17) Departamento de sanidad N. Y., 1990, "Manual de tratamiento de aguas negras". Limusa S. A. de C. V., México, pp., 42.
- 18) Duffus H. 1983, "Toxicología ambiental". Omega, España. pp.- 88-93.
- 19) Environmental Protection Agency (EPA); 1986, "Quality Criteria for water". E. U. A., pp.- 27-28.
- 20) Ezcurra E., 1991, "De las Chinampas a la Megalopolis. El Medio Ambiente en la Cuenca de México". 2a. Edición. Fondo de Cultura Económica. S. A. de C. V., México; pp.- 70.
- 21) Fair, Geyer y Okun., 1996, "Abastecimiento de agua y remoción de aguas residuales". Ingeniería sanitaria y de aguas residuales. Limusa-Noriega, México, pp.- 38, 40, 66.
- 22) Fassbender W. H., 1987, "Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina". 2a. Edición., Ilica., Costa Rica., pp.- 389-390.
- 23) Flores D. L., et al., 1991, "Contenido de metales pesados, B, (A.B.S.), grasas y aceites en las aguas residuales de riego del DDR 063 Mixquihuala, Estado de Hidalgo". Primer Congreso Mexicano de Mineralogía. Instituto de Geología, UNAM. pp.-110-113.
- 24) Foth H. D., Turk L. M., 1972, "Fundamentos de la ciencia del suelo". 4ta. Edición. Continental S. A., México, pp.- 346-347.
- 25) Goodman y Gilman., 1990, "Las Bases Farmacológicas de la Terapéutica". 7ma. Edición. Editorial Médica Panamericana., México., pp.- 1243.
- 26) Gamrasni A. M., 1985., "Aprovechamiento agrícola de aguas negras urbanas" Limusa., México., pp.- 98-99, 103.

- 27) Gradwohl., 1986, "Métodos y Diagnósticos del Laboratorio Clínico". 8va Edición., Médica Panamericana, Tomo I., Argentina., pp.- 342, 344.
- 28) Hardenbergh A. W., 1987, "Ingeniería Sanitaria". Compañía Editorial Continental. México., pp.- 259, 366, 370.
- 29) Harryson., 1986, "Principios de Medicina Interna". 6a. Edición., Mc Graw Hill. Vol. 1., México., pp.- 651-653.
- 30) Harryson., 1986, "Principios de Medicina Interna". 6a.Edición., Mc Graw Hill. Vol. 2., México., pp.- 1776.
- 31) Hernández M. A., 1994 "Depuración de Aguas Residuales". 2a. Edición, Colección SEINOR, No. 9, España, pp.- 55-60.
- 32) Hernández S.G., 1990, "Tendencias en la acumulación de metales pesados en los suelos del DDR 063, Estado de Hidalgo, por efecto del riego con aguas negras". Primer Simposio Nacional de Degradación del Suelo. Instituto de Geología, UNAM. pp.- 46-47.
- 33) Herrera R. I., 1991, "El Agua Subterránea del Valle de México. Primer Congreso Mexicano de Mineralogía. Instituto de Geofísica, UNAM. pp.- 77-78.
- 34) Katzung G. B., 1986, "Farmacología Básica y Clínica". El Manual Moderno., México., pp.- 759.
- 35) Kokko P. J., 1988, "Líquidos y Electrolitos". Médica Panamericana., Argentina., pp.- 31.
- 36) Lehninger, L. A., 1988, "Principios de Bioquímica" Omega., España., pp.- 780.
- 37) López P. M., 1980, "Manual de Procedimientos Técnicos". Secretaria de Salud y Asistencia. México., pp.- 1-2, 15-17, 31-33, 40-41, 50-51, 74-75, 113, 129, 144.
- 38) Mallevalle J, y Chambolle T., 1990, "La Calidad del Agua". Mundo Científico, 10 (104): 768-778.
- 39) Maples V. M., 1990, "Antecedentes Físicos, Históricos y Socioeconómicos del Distrito de Desarrollo Rural 063, Estado de Hidalgo". Primer Simposio Nacional de Degradación del Suelo. Instituto de Geología, UNAM. pp.- 38-39.
- 40) Masterton L. W., 1989, "Química General Superior". 6ta. Edición. Interamericana. Mc Graw-Hill., México., pp.- 348, 463, 471.

- 41) Mauritus la Riviere J. W., 1989, "Los Recursos Hídricos Amenazados". Investigación y Ciencia, No. 158: 54-62.
- 42) Mejía B. M., et al., 1990, "Metales pesados en maíz (*Zea Mays L.*) y alfalfa (*Medicago Sativa L.*) y su correlación con los extractables en suelos del DDR 063 Hidalgo". Primer Simposio Nacional de Degradación del Suelo. Instituto de Geología, UNAM. pp.- 42-43.
- 43) Méndez G. T., et al., 1990, "Impacto en los suelos del DDR 063 por el efecto de detergentes, boro, grasas y aceites presentes en las aguas residuales de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México". Primer Simposio Nacional de Degradación del suelo. Instituto de Geología, UNAM. pp.- 44-45.
- 44) Merck-México, S. A. de C. V., 1991, "Control Analítico del Agua". Pharma News, 2 (12): 19-21.
- 45) Metcalf & Eddy, Inc., 1991, "Wastewater Engineering. Treatment, disposal and reuse". McGraw-Hill. Inc. Singapur, pp.- 50-52, 66-67, 71-72, 80, 82, 84, 89, 93, 95, 96.
- 46) Meyers H. F., 1982, "Farmacología Clínica". 5ta Edición., el Manual Moderno., México., pp.- 677.
- 47) Mortvedt J.J., Giordano P.M., Lindsay W. L., 1983, "Micronutrientes en agricultura", AGT. Editor S.A., México., pp.- 60, 192-193.
- 48) Nalco., 1990, "Manual del Agua". Mc Graw Hill., Tomo 1., México., pp., 6-20, 6-21.
- 49) NOM-127-SSA1-1994. Salud Ambiental. Agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización.
- 50) NOM-001-ECOL-1996. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.
- 51) Norma Oficial Mexicana NOM-AA-03-1980. Aguas Residuales Muestreo; Secretaria de Patrimonio y Fomento Industrial, Dirección General de Normas.
- 52) Norma Oficial Mexicana NOM-AA-04-1980. Determinación de Sólidos Sedimentables; Secretaria de Patrimonio y Fomento Industrial, Dirección General de Normas.



- 53) Norma Oficial Mexicana NOM-AA-05-1980. Determinación de Grasas y Aceites; Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial, Dirección General de Normas.
- 54) Norma Oficial Mexicana NOM-AA-07-1980. Determinación de Temperatura; Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial, Dirección General de Normas.
- 55) Norma Oficial Mexicana NOM-AA-08-1980. Determinación de pH; Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial, Dirección General de Normas.
- 56) Norma Oficial Mexicana NOM-AA-12-1980. Determinación de Oxígeno Disuelto; Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial, Dirección General de Normas.
- 57) Norma Oficial Mexicana NOM-AA-14-1980. Cuerpos Receptores Muestreo; Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial, Dirección General de Normas.
- 58) Norma Oficial Mexicana NOM-AA-28-1981. Determinación de Demanda Bioquímica de Oxígeno; Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial, Dirección General de Normas.
- 59) Norma Oficial Mexicana NOM-AA-30-1981. Determinación de Demanda Química de Oxígeno; Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial, Dirección General de Normas.
- 60) Norma Oficial Mexicana NOM-AA-34-1980. Determinación de Sólidos; Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial, Dirección General de Normas.
- 61) Norma Oficial Mexicana NOM-AA-39-1980. Determinación de Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM); Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial, Dirección General de Normas.
- 62) Norma Oficial Mexicana NOM-AA-42-1981. Determinación de Coliformes Totales y Fecales; Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial, Dirección General de Normas.
- 63) Norma Oficial Mexicana NOM-AA-51-1981. Determinación de Metales; Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial, Dirección General de Normas.
- 64) Norma Oficial Mexicana NOM-AA-93-1984. Determinación de la Conductividad Eléctrica; Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial, Dirección General de Normas.
- 65) Pérez T. R., 1975, "Patología Molecular, Subcelular y Celular" Editorial Fournier, S. A., México., pp.- 166-168.

- 66) Poder Ejecutivo Federal., 1995, "Programa Hidráulico 1995-2000". Secretaria de Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca., México., pp.- 3, 5.
- 67) Quadri G., 1989, "Aguas Residuales de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. Impactos y Perspectivas". Departamento del Distrito Federal, México., pp.- 126, 132.
- 68) Ramalho, R. S., 1991, "Tratamiento de aguas residuales". 2da. Edición. Reverté S. A. España., pp.- 32, 34, 43, 50, 71.
- 69) Rangel, H. R., 1987 "La Salud Ambiental en México" Editorial Formal., México., pp.- 116-117, 127-128, 139.
- 70) Rodríguez N. A., 1981 "El Potasio y el Sodio en las células vivas", Investigación y Ciencia No. 60. pp.- 70-77.
- 71) Russell J. E., Russell W. E., 1968 " Las condiciones del suelo y el crecimiento de las plantas". 9na. Edición. Aguilar, España., pp.- 50, 58.
- 72) Siebe Christina., 1994, "Acumulación y disponibilidad de metales pesados en suelos regados con aguas residuales en el Distrito de Riego 03, Tula, Hidalgo, México". Revista Internacional de Contaminación Ambiental, 10 (1): 15-21.
- 73) Stephen., 1981 "Química Ambiental". Editorial Blume., España., pp.- 169-170.
- 74) Wild A., 1992, "Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russell". Undécima Edición. Ediciones Mundi-Prensa., España., pp.- 92-93, 100, 486, 839-840.
- 75) Worthen., 1980, "Suelos Agrícolas". 2a Edición. Editorial Hispano Americana, México., pp.- 110-112.
- 76) WHO. Guidelines for Drinking Water Quality, Vol 3, 1992.

# ANEXO

## 14. ANEXO

**CUADRO 1. COMPUESTOS COMUNES PRODUCIDOS POR DESCARGAS INDUSTRIALES Y ACTIVIDADES AGRÍCOLAS QUE HAN SIDO CLASIFICADOS COMO CONTAMINANTES PRIORITARIOS.**

COMPUESTO	EFECTOS A LA SALUD
<b>NO METALES</b>	
Arsénico (As)	Cancerígeno y mutagénico.
Selenio (Se)	Manchas rojas en los dedos, dientes y pelo, depresión, irritación de nariz y boca.
<b>METALES</b>	
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.
<b>COMPUESTOS ORGÁNICOS</b>	
Benceno (C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> )	Carcinógeno, altamente tóxico, flamable, riesgo peligroso de fuego.
Etil Benceno (C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> )	Tóxico por ingestión, inhalación y absorción por la piel y ojos, flamable, riesgo peligroso de fuego.
Tolueno (C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH <sub>3</sub> )	Flamable, riesgo peligroso de fuego, tóxico por ingestión, inhalación y absorción por la piel.
<b>COMPUESTOS HALOGENADOS</b>	
Clorobenceno (C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> Cl)	Moderado riesgo de fuego, evitar inhalar y el contacto con la piel.
Cloroetano (CH <sub>2</sub> CHCl)	Tóxico peligroso y material peligroso por exposición, carcinógeno.
Diclorometano (CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> )	Tóxico, carcinógeno y narcótico.
Tetracloroetano (CCl <sub>2</sub> CCl <sub>2</sub> )	Irritante para los ojos y piel.
<b>PLAGUICIDAS, HERBICIDAS, INSECTICIDAS</b>	
Endrín (C <sub>12</sub> H <sub>8</sub> OCl <sub>6</sub> )	Tóxico por inhalación y absorción por piel, carcinógeno.
Lindano (C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> Cl <sub>6</sub> )	Tóxico por inhalación, ingestión y absorción por la piel.
Metoxicloro (Cl <sub>3</sub> CCH(C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> OCH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> )	Material tóxico.
Toxafeno (C <sub>10</sub> H <sub>10</sub> Cl <sub>8</sub> )	Tóxico por ingestión, inhalación, y absorción por la piel.
Silvex (Cl <sub>3</sub> C <sub>6</sub> H <sub>2</sub> OCH(CH <sub>3</sub> )COOH)	Material tóxico, uso restringido.

Metcalf & Eddy, 1991.

**CUADRO 2. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES Y SUS ORÍGENES.**

CARACTERÍSTICAS	ORÍGEN
<b>PROPIEDADES FÍSICAS</b>	
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.
<b>CONSTITUYENTES QUÍMICOS</b>	
<b>ORGÁNICOS</b>	
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.
<b>INORGÁNICOS</b>	
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.
<b>GASES</b>	
Acido Sulfúrico	Descomposición de desechos domésticos.
Metano	Descomposición de desechos domésticos.
Oxígeno	Suministro de agua doméstica.
<b>CONSTITUYENTES BIOLÓGICOS</b>	
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.

Álvarez, 1993.

**CUADRO 3. COMPOSICIÓN TÍPICA DE DESCARGAS DE AGUA DOMÉSTICA SIN TRATAMIENTO.**

CONTAMINANTES	CONCENTRACIÓN			
	UNIDADES	DÉBIL	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 <sub>5</sub> , 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 <sub>3</sub> )	mg/L	50	100	200
Grasas	mg/L	50	100	150
Coliformes Totales	Nº/100mL.	10 <sup>6</sup> -10 <sup>7</sup>	10 <sup>7</sup> -10 <sup>8</sup>	10 <sup>7</sup> -10 <sup>9</sup>
Compuestos Orgánicos Volátiles (VOC <sub>s</sub> )	µg/L	<100	100-400	>400

Metcalf & Eddy, 1991.

**CUADRO 4. NOM-127-SSA-1994, SALUD AMBIENTAL, AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO.**

<b>PARÁMETROS</b>	<b>LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE</b>
pH (unidades de pH)	6.5 a 8.5
Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM) (mg/L)	0.50
Coliformes Totales (NMP/100 mL)	2.0
Coliformes Fecales (No detectable NMP/100 mL)	N. D.
Cadmio (mg/L)	0.005
Cobre (mg/L)	2.0
Cromo (mg/L)	0.05
Fierro (mg/L)	0.30
Plomo (mg/L)	0.025
Sodio (mg/L)	200.00
Zinc (mg/L)	5.0

Diario Oficial de la Federación, 1994.

N. D. = No Detectable.

**CUADRO 5. CRITERIOS ECOLÓGICOS DE CALIDAD DEL AGUA.**

SUSTANCIA O PARÁMETRO	FUENTE DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE	RIEGO AGRÍCOLA
Temperatura (°C)	Condiciones naturales +2.5	N. C.
Potencial de Hidrógeno (pH) (Unidades de pH) (III)	5 - 9	4.5 - 9.0
Conductividad eléctrica (µs/cm) (IV)	N. C.	1000.00
Grasas y Aceites (mg/L)	Ausente	N. C.
Oxígeno Disuelto (O. D.) (mg O <sub>2</sub> /L) (II)	4.0	N. C.
Sólidos Totales ( mg/L)	1000.00	N. C.
Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM) (mg/L) (I)	0.5	N. C.
Coliformes Fecales (NMP/100/mL)	1000.00	1000.00
Cadmio (mg/L) (I)	0.01	0.01
Cobre (mg/L)	1.0	0.20
Cromo (mg/L)	0.05	1.0
Fierro (mg/L)	0.3	5.0
Níquel (mg/L)	0.01	0.2
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.



**CUADRO 6. NOM-001-ECOL-1996. NORMA OFICIAL MEXICANA QUE ESTABLECE LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES EN LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES EN AGUAS Y BIENES NACIONALES.**

<b>LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA CONTAMINANTES BÁSICOS</b>						
Parámetros (miligramos por litro, excepto cuando se especifique)	Ríos		Embalses naturales y artificiales		Suelo	
	Uso en riego agrícola (A)		Uso en riego agrícola (B)		Uso en riego agrícola (A)	
	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.
Temperatura °C (1)	N.A.	N.A.	40.0	40.0	N.A.	N.A.
Grasas y Accites (2)	15.0	25.0	15.0	25.0	15.0	25.0
Materia Flotante (3)	Au- sen- te	Au- sen- te	Au- sen- te	Au- sen- te	Au- sen- te	Au- sen- te
Sólidos Sedimentables (mL/L)	1.0	2.0	1.0	2.0	N.A.	N.A.
Sólidos Suspendidos Totales	150.0	200.0	75.0	125.0	N.A.	N.A.
Demanda Bioquímica De Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	150.0	200.0	75.0	150.0	N.A.	N.A.
Nitrógeno Total	40.0	60.0	40.0	60.0	N.A.	N.A.
Fósforo Total	20.0	30.0	20.0	30.0	N.A.	N.A.

Diario Oficial de la Federación, 1996.

(1) Instantáneo

(2) Muestra Simple Promedio Ponderado

(3) Ausente Según el Método de Prueba definido en la NMX-AA-006

CUADRO 7. NOM-001-ECOL-1996. NORMA OFICIAL MEXICANA QUE ESTABLECE LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES EN LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES EN AGUAS Y BIENES NACIONALES.

<b>LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA METALES PESADOS Y CIANUROS</b>						
Parámetros (*) (miligramos por litro , excepto cuando se especifique)	Ríos		Embalses naturales y artificiales		Suelo	
	Uso en riego agrícola (A)		Uso en riego agrícola (B)		Uso en riego agrícola (A)	
	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.
Arsénico	0.2	0.4	0.2	0.4	0.2	0.4
Cadmio	0.2	0.4	0.2	0.4	0.05	0.1
Cianuro	2.0	3.0	2.0	3.0	2.0	3.0
Cobre	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0
Cromo	1.0	1.5	1.0	1.5	0.5	1.0
Mercurio	0.01	0.02	0.01	0.02	0.005	0.01
Níquel	2.0	4.0	2.0	4.0	2.0	4.0
Plomo	0.5	1.0	0.5	1.0	5.0	10.0
Zinc	10.0	20.0	10.0	20.0	10.0	20.0

Diario Oficial de la Federación, 1996.

(\*) Medidos de manera total

P.D. = Promedio Diario

P.M. = Promedio Mensual

N.A. = No es aplicable

(A), (B) y (C): Tipo de Cuerpo Receptor según la Ley Federal de Derechos

## ESPECIFICACIONES.

La concentración de contaminantes básicos, metales pesados y cianuros para las descargas de aguas residuales a aguas y bienes nacionales, no deben exceder el valor indicado como LMP en las tablas 9 y 10 de la NOM-001-ECOL-1996. El rango permisible del Potencial de Hidrógeno (pH) es de 5 a 10 unidades.

Para determinar la contaminación por patógenos se tomará como indicador a los coliformes fecales. El LMP para las descargas de aguas residuales vertidas a aguas y bienes nacionales, así como las descargas vertidas a suelo (uso en riego agrícola) es de 1000 y 2000 como número más probable (NMP) de coliformes fecales por cada 100 ml. para el promedio mensual y diario, respectivamente.

Para determinar la contaminación por parásitos se tomará como indicador los huevos de helminto. El LMP para las descargas vertidas a suelo (uso en riego agrícola), es de un huevo de helminto por litro para riego restringido y de cinco huevos por litro para riego no restringido.

Riego no restringido. Es la utilización del agua residual destinada a la actividad de siembra, cultivo y cosecha de productos agrícolas en forma ilimitada como forrajes, granos, frutas, legumbres y verduras.

Riego restringido. Es la utilización del agua residual destinada a la actividad de siembra, cultivo y cosecha de productos agrícolas excepto legumbres y verduras que se consumen crudas.