



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

EVALUACION DE CONTAMINANTES EN AGUAS RESIDUALES EN EL RIO PAPALOTES. TIZAYUCA, HIDALGO - ZUMPANGO, ESTADO DE MEXICO.

T E S I S

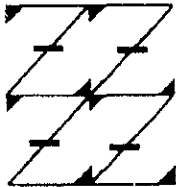
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

B I O L O G O

P R E S E N T A :

GONZALEZ ESTRADA DIANA MIROSLAVA

UNAM FES ZARAGOZA



LO HUMANO EJC

DE NURSCHA REFLEXION

DIRECTOR DE TESIS: BIOL. MARICELA ARTEAGA MEJIA.

MAYO, 1998.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

261826



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.

EL PRESENTE TRABAJO SE LLEVO A CABO EN EL LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO L3-PB-05, ASÍ COMO EN EL LABORATORIO DE ESPECTROSCOPIA L-328 Y EN EL LABORATORIO L-315 CAMPUS II DE LA FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA, UNAM; BAJO LA DIRECCIÓN DE LA BIÓL. MARICELA ARTEAGA MEJÍA Y EL ASESORAMIENTO DE LA M. EN C. LOURDES CASTILLO GRANADA Y M. EN C. MIGUEL CASTILLO GONZÁLEZ.

A la memoria de

Avelina

Bonifacio

Gildardo

Margarita

Por su estancia tan plena de virtudes y por transmitirme la humildad y sencillez de la vida, que me ha hecho disfrutar de este camino que para mi se enciende como una flor que en algún momento se marchitara, pero no morirá; si no que renacerá como un bello y frágil botón; en el cual prevalecerán sus enseñanzas.

Por que su recuerdo debe de conservarse para siempre.

DEDICATORIAS

A mis padres

Por darme la oportunidad de estar viva y de disfrutar cada instante junto a ustedes, como si fuese el último minuto de mi vida; ya que ustedes son mi más preciado tesoro y dar gracias a Dios por permitirles enseñarme que lo más importante no es volar, si no mantener el vuelo.

María Griselda

Por tu fortaleza, cuidados, consejos, apoyo y alegría que te caracteriza eres un ejemplo a seguir, y por que me has enseñado que cada quien es responsable de sus propios actos, los cuales repercuten en el futuro, por todo esto y muchas cosas más te respeto y me enorgullezco de que seas mi Mamá.

Marco Antonio

Por brindarme la confianza para enfrentarme a los diferentes retos que se me presentan y salir a flote de ellos, con la consigna de aprender siempre y desafiar a los nuevos que pudiesen presentarse en mi camino, ya que si en alguno de ellos me detengo, se que puedo contar con tu mano sabia que estará ahí para levantarme sin el menor titubeo; por eso y mucho más gracias por ser mi Papá.

A mi hermano

Marco Antonio

A el niño más inquieto que he conocido.

Posees todo lo que se requiere para lograr ese sueño que siempre has tenido y para lograrlo solo requieres un impulso , el cual encontraras a través de el largo camino de la vida; persevera y lo alcanzaras.

Suerte.

DEDICATORIAS

A MIS TÍOS

Jorge

Irene

José Luis

María Eugenia

Laura Sonia

David Rolando †

Marcela

Con todo cariño, admiración y respeto.

A ti quién piensa que el bien y el mal no existe, sino que es relativo.

Pero en tu interior sabes que el bien no puede mezclarse con ningún sentimiento impuro.

Por que el bien es verdad y amor, comprensión y claridad; siempre es definido y preciso, además de que no admite variaciones.

Por lo que la meta a perseguir es la espiritualidad; y a través de ella lograr distinguir el bien del mal y cuando esto se consiga, poder interpretar debidamente la voz interior, profunda y sabia de la conciencia y, a través de ella, descubrir que los errores cometidos son el origen de nuestras aflicciones y al llegar al final del camino, si coincide en el bien, llegarán a identificarse y unirse entre sí.

A....

AGRADECIMIENTOS

A mi directora de tesis

Biól. Maricela Arteaga Mejía

Con todo cariño y respeto le hago participe de este trabajo de tesis fruto del esfuerzo y dedicación, quién no estimando tiempo, tuvo la paciencia de asesorar.

A mis asesores

M. en C. Lourdes Castillo Granada

Por su profundo interés y confianza que siempre depósito en mí; sin esperar recibir nada a cambio

M. en C. Miguel Castillo González

Por su valiosos consejos y sincera amistad que han contribuido a mi formación humana y profesional.

A mis sinodales

Biól. Aida Zapata y Biól. Raúl Arcos

Por su apoyo y sugerencias para lograr un buen trabajo.

A la Universidad Nacional Autónoma de México

Por haberme abierto las puertas y mi reconocimiento por la labor que realizan en la formación de tantos jóvenes que son el futuro de nuestro país.

ÍNDICE

	Pág.
RESUMEN	
1. INTRODUCCIÓN	1
2. MARCO TEÓRICO	5
2.1 Antecedentes	5
2.2 Generalidades	6
2.2.1 Muestreo de aguas residuales	11
2.2.1.1 Selección de sitios de muestreo	11
2.2.1.2 Intervalos de muestreo	12
2.2.1.3 Equipo de muestreo	12
2.3 Parámetros que permiten evaluar el grado de contaminación de un cuerpo de agua	13
2.3.1 Inspección	13
2.3.2 Vigilancia	13
2.3.3 Control e investigación	13
2.4 Parámetros físicos, químicos y biológicos en aguas residuales	13
2.4.1 Oxígeno Disuelto	13
2.4.2 Demanda Bioquímica de Oxígeno	14
2.4.3 Demanda Química de Oxígeno	15
2.4.4 Organismos Coliformes	16
2.4.5 Sustancias Activas al Azul de Metileno	17
2.4.6 Acidez, Alcalinidad y pH	18
2.4.7 Temperatura	19
2.4.8 Color	20
2.4.9 Conductividad Eléctrica	21
2.4.10 Fósforo	21
2.4.11 Amonio	22
2.4.12 Nitratos y Nitritos	23
2.4.13 Dureza	24
2.4.14 Sólidos	25
2.4.15 Metales Pesados	25
2.4.15.1 Cobre	26
2.4.15.2 Hierro	28
2.4.15.3 Cadmio	29
2.4.15.4 Zinc	31
2.4.15.5 Plomo	32
2.4.15.6 Cromo	34
2.4.16 Grasas y Aceites	35
2.4.17 Cloruros	36
2.4.18 Fenoles	37

3. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	39
3.1 Localización	39
3.2 Topografía	39
3.3 Clima	39
3.4 Suelo	40
3.5 Hidrología	40
3.6 Ubicación	41
4. JUSTIFICACIÓN	42
5. HIPÓTESIS	44
6. OBJETIVOS	45
6.1 Objetivo General	45
6.2 Objetivos Particulares	45
7. METODOLOGÍA	
7.1 Selección de sitios de Muestreo	46
7.2 Monitoreo a cuerpo receptor	47
7.3 Análisis de las muestras	49
8. RESULTADOS	50
9. DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	54
10. CONCLUSIONES	81
11. RECOMENDACIONES	82
12. BIBLIOGRAFÍA	84
ANEXOS	89

RESUMEN

El agua ha sido requerida por los seres vivos desde su existencia en el planeta. Actualmente para su abastecimiento se dispone tanto de recursos superficiales como subterráneos los cuales han sido contaminados por las actividades del hombre o bien por algunas causas naturales.

Por la problemática que representa el abastecimiento de agua potable así como la generación de una gran cantidad de aguas residuales, es necesario evaluar las concentraciones de contaminantes en diferentes cuerpos receptores debido a la elevada contaminación a que están expuestos, ya sea por las descargas industriales y municipales o bien por las aguas de drenaje procedentes de escurrimientos de zonas urbanas y/o de campos agropecuarios, provocando con ello alteraciones en el ecosistema acuático (Rodríguez y Botello, 1987).

El contexto anterior señala la gran importancia que reviste el hecho de caracterizar adecuadamente las corrientes superficiales de nuestro país para resolver la problemática que presentan las corrientes hidrológicas, ya que actualmente no existen sistemas acuáticos que no presenten algún grado de contaminación y con dificultades en su aprovechamiento. Situación que de no ser considerada como prioritaria, se corre el riesgo de perder completamente un recurso natural tan vital para el ser humano, como lo es el agua.

Para lograr tal objetivo es necesario organizar programas de monitoreo que estén orientados a lograr el bienestar y salud del hombre, además de la protección al ambiente, acompañada de sanciones y estímulos a los responsables del aprovechamiento del agua.

En el presente trabajo se evaluó la calidad del agua del río Papalotes en el transecto de Tizayuca, Hgo. al municipio de Zumpango, Estado de México, a partir de los parámetros pH, Temperatura, Conductividad Eléctrica, Oxígeno Disuelto, Demanda Química de Oxígeno, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Sustancias Activas al Azul de Metileno, Dureza, Nitratos, Nitritos, Amonio, Fosfatos, Coliformes totales y fecales, Acidez, Alcalinidad, Fenoles, Sólidos totales, Metales Pesados (Pb, Cr, Cu, Cd, Zn y Fe), Grasas y Aceites y Color.

Se monitorearon cuatro estaciones El Manantial, Zapata, Industrial y Ladrillos, donde las dos primeras presentaron descargas de tipo doméstico; Ladrillos presentó una mezcla de agua doméstica e industrial y la Industrial una descarga de aguas residuales características de vertidos industriales.

Se observó que los Sólidos sedimentables y Fenoles rebasan los Límites Máximos Permisibles de la NOM-CCA-031-ECOL/93 en las cuatro estaciones de monitoreo. Así como la Conductividad Eléctrica y los Sólidos totales salen de los

Límites Máximos Permisibles de la NOM-CCA-032-ECOL/93. Además se obtuvo una alta concentración de Coliformes totales y fecales, rebasando el NMP de la NOM-CCA-033-ECOL/93, en las cuatro estaciones de monitoreo.

En el transecto del río en los diferentes sitios de muestreo hay una incorporación importante de contaminantes como: Sólidos totales y sedimentables, grasas y aceites, desechos industriales e indicadores de contaminación, como DBO₅, DQO y Coliformes Totales y Fecales.

Debido a lo anterior el río presenta serías afectaciones en su calidad, producto de las descargas de aguas residuales de origen doméstico e industrial, vertidas en su cauce. Lo anterior hace insuficiente el proceso de autodepuración debido a la presencia de una gran cantidad de materia orgánica; dicho proceso se acentúa en las estaciones de Ladrillos e Industrial.

Existe además una alta cantidad de nutrimentos principalmente nitratos y nitritos que proceden de la cuenca lechera la cual genera alrededor de 1,200 toneladas al año de estiércol lo que implica un alto riesgo para la población, debido a que se pueden lixiviar y producir daños severos a la salud y favorecen de manera muy importante las condiciones anaerobias del cuerpo receptor.

1. INTRODUCCIÓN

El agua ha sido para el ser humano fuente de alimento, medio de transporte y sanidad, esto explica por que desde tiempos remotos las más grandes civilizaciones se desarrollaron donde predominó el elemento agua (Sahab, 1989).

Su disponibilidad inmediata hace posible crear un ambiente higiénico que evita o limita la propagación de diferentes enfermedades del hombre y de los animales (Jiménez, 1989). Además, de habitar a orillas de un cuerpo de agua, facilita su utilización para el riego agrícola y para transportar residuos que son vertidos por la población (Hernández, 1992).

El crecimiento poblacional acentuado, el aumento de nivel de vida, la mayor demanda de agua para los nuevos campos en regadío, necesarios para satisfacer las exigencias de la población y por el gran desarrollo industrial, han provocado que los recursos sean totalmente insuficientes, tanto para abastecer al núcleo poblacional, como para recibir los residuos sin modificar la flora y fauna de los ríos y mares. Los ríos o cauces receptores se han convertido en un vehículo, de los residuos de la población y así es como surge uno de los problemas más apremiantes en nuestros tiempos: *la contaminación del agua* (Hernández, 1994).

El problema de la contaminación del agua en México es muy palpable, ya que es un país que presenta diferentes características geográficas y climatológicas lo que ha ocasionado que sus recursos naturales estén concentrados en áreas definidas (Sahab, 1989); esto aunado al crecimiento económico y social hace que se agraven y multipliquen los problemas derivados de la contaminación del agua que, junto con la creciente escasez y el desperdicio tienen como consecuencia diversos problemas de abastecimiento, por lo cual los mantos freáticos son sometidos a una sobre explotación, principalmente en la época de estiaje, por otro lado la falta de apoyo económico para aumentar y administrar los recursos hídricos hacen de esta situación un problema crítico (Ayanegui, 1988).

En una ciudad tan poblada como es la ciudad de México no es posible lograr un abasto eficiente de agua, sobre todo si se tiene en cuenta que la cuenca de México ocupa solo el 0.03% de la superficie total del país y en esta superficie habita el 22% de la población (Ezcurra, 1991); población que al ir creciendo requiere mayores cantidades de agua. Actualmente la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM) consume por día de 57 a 63 m³/s para poder mantener su actividad, de ellos 80% provienen del subsuelo y solamente 20% cuerpos superficiales (Herrera y Cortés, 1989). Datos que podrían variar grandemente de persistir el ritmo de crecimiento de la población, de ser así el consumo de agua aumentaría a 240.1 m³/s en el año 2000 (Guaguelli, 1988).

A nivel nacional, se extraen anualmente 185 Km³ de aguas superficiales y subterráneas para los diversos usos, lo cual representa 43% del volumen total anual de agua renovable (INE, 1995).

Cuadro 1. Extracción, consumo, descarga anual a nivel nacional y volumen total de agua renovable.

Uso	Extracción (Km ³)	Consumo (Km ³)	Descarga (Km ³)	Volumen total de agua renovable (%)
Agrícola	55.5	46.6	8.9	30
Industrial	9.3	6.7	5.6	5
Urbano	7.4	3.5	3.9	4
Hidroeléctrico	128.8	-	-	61
Total	185.0	53.0	19.2	100

Fuente: Comisión Nacional del Agua, SARH, 1993.

Las extracciones para uso agrícola se concentran en las entidades del norte y noroeste del país y en el Bajío. De las extracciones para uso urbano 49% corresponden a las tres principales áreas metropolitanas del país, algunas ciudades medias y ciudades de la frontera norte.

El consumo, esto es, la cantidad de agua que no retorna a las corrientes una vez utilizada, es de 53 Km³ anuales, 88% de este volumen corresponde al sector agrícola, 7% al sector industrial y 5% a las poblaciones.

La generación de energía hidroeléctrica prácticamente no consume agua, pero aprovecha su energía potencial y modifica el régimen de los ríos.

El agua residual que retorna a las corrientes con mayor o menor grado de carga contaminante suma menos de 20 Km³ al año. El sector agrícola genera 46% de este volumen y sus contaminantes son residuos agroquímicos y restos de suelos debido a la erosión. La industria genera 28% con una amplia gama de compuestos, muchos de ellos contaminantes. El restante 26% se vierte a través de las descargas municipales con contenido de materia orgánica y bacteriológica, así como algunos tóxicos que provienen de las descargas industriales conectadas a las redes municipales de alcantarillado (INE, 1995).

Estas aguas contienen gran cantidad de elementos contaminantes. La EPA (Environmental Protection Agency) ha identificado aproximadamente 129 contaminantes de alto riesgo, orgánicos e inorgánicos que han sido clasificados en 65 clases. La selección se ha hecho con base en su conocida o supuesta acción cancerígena, mutagénica y tóxica. Algunos de ellos son arsénico, selenio, bario, cadmio, cromo, plomo, mercurio, plata, benceno, etil-benceno, compuestos

halogenados, pesticidas, herbicidas e insecticidas. La composición de las aguas residuales varía en cantidad y calidad según sea su origen: doméstica, industrial o mezcla de ellas en diferentes proporciones las cuales van cargadas de contaminantes como: nitrógeno, fósforo y sólidos (en todas sus formas), cloruros, sulfatos, alcalinidad, coliformes, compuestos orgánicos, grasas y aceites.

Debido a la gran diversidad de contaminantes presentes en las aguas residuales es necesario conocer su naturaleza y realizar una caracterización física, química y biológica ya que esto permite determinar la mejor alternativa para reducir la concentración de los contaminantes y seleccionar un diseño apropiado de colección, tratamiento, reutilización o desecho de estas aguas (Alvarez y Silva, 1993).

Los recursos acuíferos dulces se hallan sometidos a una presión ambiental grave que se acrecenta cada vez más. A nivel mundial, alrededor de dos tercios de las extracciones se utilizan para la agricultura y cerca de un cuarto para la industria. Hacia finales del siglo, la extracciones para la agricultura aumentarán levemente y las correspondientes a la industria es probable que se dupliquen; el desarrollo industrial y el crecimiento demográfico incrementarán la descarga de agentes contaminantes al agua dulce, a menos que los gobiernos intensifiquen sus esfuerzos para tratar las aguas residuales o prevenir su contaminación.

El suministro de agua dulce del mundo está distribuido de manera desigual y es frecuentemente inestable. Por ello, la escasez de agua ya es aguda en muchas regiones del mundo y crónica en otras. Algunos países, para enfrentar la escasez, están recurriendo a la desalinización de aguas oceánicas; otras opciones incluyen la reutilización de aguas residuales.

La principal fuente de agua dulce que son las cuencas fluviales, están sometidas a una seria presión ambiental en gran parte del mundo. La agricultura, industria y asentamientos humanos contribuyen a la contaminación de las cuencas de agua dulce de los ríos (INEGI, 1994).

La protección al agua en lo que se refiere a calidad y cantidad es prioritario, y es por ello que para el bienestar de la población las aguas subterráneas, superficiales, de manantiales, etc., que sirven para cubrir las necesidades de agua potable, deben ser protegidas en la mejor forma posible de impurezas y deterioro en su calidad (Merch, 1992).

Por la problemática que representa el abastecimiento de agua potable así como la generación de una gran cantidad de aguas residuales, es necesario evaluar concentraciones de contaminantes en diferentes cuerpos receptores y hacer un seguimiento. Para lograr tal objetivo es necesario organizar programas de monitoreo que estén orientados a lograr el bienestar y salud del hombre, además de la protección al ambiente (Boletín técnico AQEIC, 1983).

Como parte de las actividades del Parque Industrial de Tizayuca, Hidalgo; una gran cantidad de aguas residuales se vierten sin ningún tratamiento previo al cuerpo receptor más cercano, que en este caso se trata del río Papalotes, generando como resultado su contaminación.

Con base a lo expuesto anteriormente, se considera de vital importancia determinar los niveles de contaminación, tanto biológica como física y química que existen en las aguas residuales de la Zona Industrial del Municipio de Tizayuca, Hidalgo, así como conocer su distribución a lo largo del río, ya que el uso inmediato de esta agua es para el riego agrícola, añadiendo diversos contaminantes al suelo y potencialmente a los mantos freáticos.

Ya que el agua es parte del patrimonio nacional y todos aquellos cuerpos que están contaminados deben ser remediados independientemente de su valor, de su uso y de la cercanía de los asentamientos humanos, es prioritario atender las causas de su deterioro y proponer alternativas de solución, con la finalidad que las autoridades responsables tengan los elementos necesarios para dar atención a la problemática local.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

El agua es indispensable para la vida en la tierra, también lo es para el desarrollo industrial y agrícola de las sociedades humanas. Desde que el hombre existe ha procurado aumentar sus recursos hídricos (Bébin, 1986).

La calle fue durante siglos el único depósito de los residuos líquidos de los pueblos y ciudades; con el progreso de la civilización surgieron los primeros pozos negros en el terreno contiguo a las casas, pero estos pozos requerían medios de limpieza, siendo la extracción poco higiénica.

Después comenzaron a establecerse canales centrales en los empedrados con los primeros rudimentos de alcantarillas limitados a simples conductos de sección cualquiera, colocados apenas, cuyo fin era recoger los residuos líquidos que arrojaban a la calle, siendo está un poco transitable.

Así se iniciaron las alcantarillas, como medio para desalojar las aguas superficiales, pero sin ningún enlace con las casas.

No obstante algunas civilizaciones, como la de Roma, han dejado algunas obras maestras de colectores, que aún perduran, y más aún, siguen siendo utilizadas en los momentos actuales.

La aparición de los alcantarillados unitarios, seguidos de los restantes procedimientos de evacuación, inicia la era de los grandes trabajos colectivos de saneamiento que sirven de medio de protección de la salud pública (Hernández, 1992).

En la Edad Antigua las aguas residuales escurrían a través de un canal de ladrillos situado en el interior del muro y cuya salida se disponía de forma tal, que el agua al bajar no salpicaba a los peatones. Ya en la calle circulaban las aguas por los canales con profundidad entre 30 y 60 cm. y una anchura de 23 a 46 cm; que conducían a canales más grandes, con techos de madera e incluso arcos de ladrillos en forma de cuña. Para evitar el rebose de estos canales cada ciertos tramos, se colocaban unas arquetas de gran tamaño, donde se producían depósitos.

En Egipto, en relación con las instalaciones de elevación de agua de la noria de Sakieh, se utilizaba un sistema de tornillo, cuyo descubrimiento se le atribuye a Arquímedes. Este es hoy uno de los sistemas empleado en el bombeo de aguas residuales crudas en la entrada de las actuales plantas de tratamiento.

Quando David entró a Jerusalén y convirtió la ciudad en el centro de su reino, ordenó la ampliación de la antigua red, convirtiéndola en un sistema de alcantarillado separado. Los sedimentos que se hallaban en los canales de desagüe se aprovechaban, el canal principal desembocaba en grandes lagos, donde sedimentaban sólidos en suspensión, que posteriormente se utilizaban como abono. El agua de los lagos servía después para riego de huertas.

Véase en estos descubrimientos del científico Schick, los antecedentes del tratamiento físico de las depuradoras de aguas residuales, según los sistemas actuales, y los antecedentes de la reutilización de las aguas.

En el reino de los Hititas, de la Grecia Antigua y del Imperio Romano, o ya en fechas posteriores, son numerosas las citas posibles sobre los grandes abastecimientos, canales de desagüe de aguas negras y de lluvia y las zonas de sedimentación (Bébin, 1986).

Históricamente los asentamientos humanos se llevaron a cabo en las márgenes de los ríos, arroyos o cerca de cualquier tipo de corriente de agua, con el fin de satisfacer sus necesidades más elementales de ese líquido (para beber, preparar alimento, uso en general, etc.).

Posteriormente con la revolución industrial y la explosión demográfica, aumento la demanda de agua potable de buena calidad, y por lo tanto las ciudades e industrias se ven en la necesidad de retornar a la fuente de suministro común las aguas residuales (Cenapred, 1995).

2.2 Generalidades

El agua constituye un elemento clave para la vida de nuestro planeta. Sin embargo, no toda el agua es pura ni accesible al hombre, los animales o las plantas. Su volumen total (alrededor de 1.5 billones de Km^3) comprende un 97% de aguas oceánicas; inservibles para usos humanos directos; mientras que dos terceras partes del porcentaje restante (aguas dulces) pueden usarse con menos dificultades. Se hallan en los polos en formas sólidas, y el 0.64% del otro tercio se encuentra almacenado en mantos subterráneos. De tal manera que los lagos, pantanos, ríos, corrientes y repertorios superficiales constituyen apenas el 0.36% de esta pequeña porción.

Debido a las condiciones climáticas que prevalecen en nuestro planeta, los volúmenes de agua que lo cubren permanecen estables. Si bien unos 435,000 Km^3 se evaporan anualmente en la superficie de los océanos, el 90% retorna a ellos por precipitación, y los vientos desplazan el resto hacia los continentes. Allí se combinan por precipitaciones (aproximadamente 112,000 Km^3), evaporaciones (unos 73,000 Km^3) y recargas de acuíferos para dejar un remanente que se escurre a través de las cuencas, hasta que desemboca en el mar.

Sin embargo, de los 37,000 Km³ de agua que retornan anualmente a los mares del planeta, sólo una tercera parte constituye flujos estables que pueden aprovecharse; siendo los ríos de mayor extensión los que se hallan ante una seria amenaza de destrucción.

La situación de los recursos fluviales de la tierra es crítica, si se considera su desigual distribución, el crecimiento demográfico, la intensa urbanización, las exigencias a que se halla sometido el sistema agroalimentario y el crecimiento industrial, principalmente en aquellas áreas ligadas a la explotación y procesamiento de hidrocarburos, cuyos desechos contaminados se incorporan a los sistemas fluviales.

Todo esto coloca al mundo frente a una realidad que limita la capacidad del medio para recibir los desechos orgánicos y sustancias tóxicas no biodegradables, donde la hiperindustrialización impone un costo ecológico impagable.

Esta realidad adquiere todo su peso cuando se analizan las tensiones a las que se encuentran sometidos los ambientes acuáticos de la tierra y de los ríos en particular. No es posible alcanzar una alta calidad de vida con ríos que arrastren toda clase de químicos tóxicos y otros contaminantes nocivos para la salud humana y para otras formas de vida.

Ante la grave situación en la que se encuentran las aguas, algunos países industrializados han emprendido esfuerzos para combatir los daños. En el caso de sustancias industriales vertidas en los ríos, se han diseñado y puesto en práctica estrategias que permiten identificarlas, así como conocer sus efectos sobre la salud del ser humano y otros organismos, poblaciones o ecosistemas; también se perfeccionan tecnologías para controlar su emisión y manejarlas de una manera más adecuada (Toledo y Botello, 1989).

La contaminación de los ríos se acentúa durante accidentes industriales graves, en los que se liberan grandes cantidades de contaminantes. Para los científicos, la calidad del agua es una definición mucho más amplia que su aspecto, y se basa en muestras y análisis cada vez más complejos.

Antes de estudiar el impacto de las actividades humanas e industriales sobre el agua de los ríos, la degradación global de éstos y de las medidas posibles para poner fin a los procesos contaminadores, hay que resaltar la gran diversidad natural que existe en la calidad química del agua natural como resultado de una suma de procesos geológicos, biológicos e hidrológicos universales.

Las fuentes naturales de material disuelto transportado por los ríos, son la alteración de las rocas superficiales, el lavado de los suelos orgánicos y aportaciones atmosféricas de origen volcánico, oceánico y terrestre.

La materia en suspensión que transitan sobre el fondo de los ríos, también procede de la erosión mecánica de las rocas, suelos y orillas. Una vez en la red hidrológica, los elementos disueltos y en suspensión están afectados por otro proceso, como los intercambios químicos entre fases disueltas, en especial la producción, degradación de la materia orgánica en los ríos, lagos o las zonas húmedas, deposición y resuspensión de determinados materiales en los lechos de los ríos, pérdida de gases o sustancias volátiles, precipitación de algunas sales, entre otros procesos.

En ausencia de cualquier otra fuente de contaminación, los torrentes y los pequeños ríos drenan terrenos geológicos homogéneos, tienen una concentración media de sales muy variable, de 10 a 5,000 mg/L. Las aguas menos saladas drenan los granitos y las areniscas cuárcicas; las más concentradas, drenan las rocas evaporíticas. La composición iónica es variable y se han descrito más de una veintena de tipos de agua distintos siguiendo la asociación de dos o tres iones principales, como el sulfato sódico, cloruro sódico, sulfato magnésico. Sin embargo, debido a la mayor solubilidad de los minerales cálcicos en los grandes ríos no contaminados, la dominancia del tipo bicarbonato-cálcico, es abundante: el 95% de las aguas fluviales que alcanzan los océanos, son de este tipo.

La gran variabilidad natural de la composición química de las aguas impide cualquier referencia universal sea cual fuere el tamaño de las cuencas consideradas; para un elemento dado, no existe una concentración media de las aguas superficiales que definan un estado natural, ya que cada elemento tiene una distribución estadística definida. Además, algunos elementos pueden estar concentrados (flúor, arsénico, carbono orgánico, etc.) y que convierte a estas aguas en impropias para usos humanos, entre ellos el suministro de agua potable. Por tanto, nos parece apropiado considerar un agua natural continental como "contaminada" simplemente porque no responde a determinadas normas de utilización. Por ello la contaminación de las aguas es un concepto relativo, es la evolución en relación a un estado inicial natural y es difícil de determinar, ya que los impactos de origen humano son muy antiguos y múltiples (Meybeck, 1990).

Los cambios en la calidad del agua ocasionados por la intervención humana se les denomina contaminación, las causas de ésta tienen diferentes orígenes:

- La modificación del ciclo del agua, la capacidad de dilución y de mezcla de ríos y lagos; así como la construcción de embalses produciéndose un estancamiento y enriquecimiento de algas, y por tanto la eutroficación.
- El relleno de los humedales, una práctica general en todos los países (en Estados Unidos han disminuido un 18% entre 1950 y 1980), que suprime un filtro natural en el que las sustancias nutritivas, metales y los microcontaminantes pueden ser acumulados y/o transformados.
- La tala forestal y los incendios provocados liberan grandes cantidades de nutrientes, fenómeno poco valorado a escala global. La irrigación y aspersión,

especialmente en los países áridos, provoca un aumento muy fuerte de la evaporación de las aguas de superficie y su salinización general que puede plantear graves problemas cuando se añade a niveles elevados en el suelo.

- El lavado de escorias de las minas, acumulaciones antiguas, y los vertidos de las aguas residuales mineras, pueden originar contaminaciones metálicas y ácidas muy acentuadas, incluso en regiones aisladas (Meybeck, 1990).

Estos cambios son producidos por los desechos de la actividad industrial y doméstica sin planificación y que cada día va en aumento debido a la explosión demográfica, a los asentamientos humanos, modo de vida y patrones de consumo, lo que por necesidad establece una serie de demandas y satisfactores, que por lo general producen una mayor cantidad de desechos que irresponsablemente se transportan al entorno ecológico, causando severos daños que se pueden palpar de manera cotidiana si se observa la disminución de la calidad de vida, principalmente en las zonas urbanas y suburbanas del país.

La contaminación del agua constituye uno de los problemas ambientales de efecto inmediato más importantes en México y en el mundo, dada la relevancia que éste elemento representa en la vida de todos los organismos. Los problemas relacionados con el recurso y su manejo, hasta la década de los sesenta, siempre se había atribuido a las múltiples interacciones entre factores físicos y biológicos del ambiente, sin embargo, en la actualidad es necesario poner especial atención en las relaciones hombre-medio, ya que éste, debe ser considerado uno de los componentes más importantes de un ecosistema.

Por otro lado, el problema de la contaminación del agua está relacionado con aspectos socioeconómicos y políticos tales como modelos de producción y de consumo y falta de conciencia ambiental. Los asentamientos humanos y la legislación ambiental que debe controlar la calidad de los desechos tanto industriales como domésticos, mixtos, así como también las alternativas para el tratamiento de estos desechos; todo esto, con el fin de encontrar la salida de un problema que, cada día es mayor y cuyas perspectivas de solución son reducidas.

Un aspecto importante en la protección del ambiente es el control de las aguas residuales, procedentes de comunidades e industrias. Todas las industrias y comunidades producen desechos sólidos y líquidos. La parte líquida (aguas residuales) es esencialmente el agua suministrada a las comunidades o industrias después de haber sido usada (Hilleboe, 1986).

La Ley de Aguas Nacionales, define al agua residual como un líquido de composición variada procedente de los usos domésticos, incluyendo fraccionamientos, agropecuarios, industriales, comerciales, de servicio o de cualquier otro uso (LGEEPA, 1997). Alvarez y Silva (1993), la definen como una combinación de agua con desechos, procedentes de comunidades e industrias y establecimientos comerciales junto con aguas superficiales o pluviales.

Sí las aguas residuales no se tratan y se acumulan ocurre una descomposición de las materias orgánicas que contengan, produciendo malos olores y acumulación de gases. Adicionalmente las aguas residuales contienen un gran número de microorganismos patógenos y nutrientes que pueden estimular el crecimiento de plantas acuáticas y compuestos tóxicos. Por estas razones una inmediata salida del lugar donde se generan, seguida de un tratamiento y desecho adecuado, no solamente es deseable, sino que también necesario en una sociedad industrializada. En México es ahora obligado por las leyes federales y estatales.

Las aguas residuales se caracterizan en términos de su composición física, química y biológica. Los principales constituyentes y origen se muestran en el cuadro 2.

Cuadro 2. Características físicas, químicas y biológicas de las aguas residuales y sus orígenes.

Propiedades físicas	Origen
Color	Desechos domésticos e industriales, desestabilización normal de compuestos orgánicos.
Olor	Descomposición del agua residual, desechos domésticos e industriales.
Sólidos	Suministro de aguas domésticas y desechos industriales y domésticos.
Temperatura	Desechos industriales y domésticos.
Constituyentes químicos	
Orgánicos	
Carbohidratos	Desechos comerciales, domésticos e industriales.
Grasas y aceites	Desechos comerciales, domésticos e industriales.
Pesticidas	Desechos agrícolas.
Fenoles	Desechos industriales.
Proteínas	Desechos domésticos, comerciales e industriales.
Surfactantes	Desechos domésticos, comerciales e industriales.
Contaminantes de alto riesgo	Desechos domésticos, comerciales e industriales.
Compuestos orgánicos volátiles	Desechos domésticos, comerciales e industriales.
Inorgánicos	
Alcalinidad	Desechos domésticos, suministros domésticos.
Cloruros	Desechos domésticos, suministros domésticos.
Metales pesados	Desechos industriales.
Nitrógeno	Desechos domésticos y agrícolas.
pH	Desechos domésticos, comerciales e industriales.
Fósforo	Desechos domésticos, comerciales e industriales.
Azufre	Desechos domésticos, comerciales e industriales.
Gases	
Ácido sulfhídrico	Descomposición de desechos domésticos.
Metano	Descomposición de desechos domésticos.
Oxígeno	Suministro de agua doméstica.
Constituyentes biológicos	
Animales	Canales abiertos de agua y plantas de tratamiento.
Plantas	Canales abiertos de agua y plantas de tratamiento.
Bacterias	Desechos domésticos y plantas de tratamiento.

Fuente: Alvarez y Silva; 1993

La importancia de estos contaminantes en las aguas residuales se muestran en el siguiente cuadro.

Cuadro 3. Importancia de los contaminantes en las aguas residuales.

Contaminantes	Importancia
Sólidos suspendidos	Propician el desarrollo de lodos y condiciones anaeróbicas.
Orgánicos biodegradables	Principalmente contienen proteínas y carbohidratos. Si no se tratan su estabilización produce un abatimiento del oxígeno disuelto, desarrollando condiciones sépticas.
Organismos patógenos	Transmisión de enfermedades.
Nutrientes	El nitrógeno, fósforo y carbono, son los principales nutrientes para el crecimiento de vida acuática indeseable.
Contaminantes de alto riesgo	Estos compuestos, orgánicos o inorgánicos, son o pueden ser cancerígenos, mutagénicos y altamente tóxicos.
Orgánicos refractarios	Estos orgánicos tienden a resistir los métodos convencionales de los tratamientos de aguas residuales.
Inorgánicos disueltos	Deben ser removidos si el agua se va a volver a usar.
Metales pesados	Productos tóxicos que deben ser removidos.

(Tomado de Alvarez y Silva; 1993).

La composición de las aguas residuales varía en cantidad y calidad según sea su origen:

- Municipal (Doméstico).
- Industrial.
- Mezclas de ellas en diferentes proporciones.

Los estudios de caracterización son necesarios para determinar:

- Las características físicas, químicas y biológicas y las concentraciones de los diferentes constituyentes.
- La mejor opción para reducir las concentraciones de los contaminantes.

En la medida de lo posible se necesitan procedimientos normalizados para:

- El muestreo.
- Transporte y preservación de la muestra.
- Análisis de la muestra.
- Documentación de los resultados.
- Almacenamiento y preservación de los resultados.

2.2.1. Muestreo de aguas residuales

2.2.1.1 Selección de sitios de muestreo: Estos deben ser representativos de las propiedades promedio del efluente. Se requiere que la muestra sea tomada en un sitio en el que todos los componentes hayan entrado en la línea de la descarga y hayan tenido tiempo suficiente para mezclarse. Normalmente el mejor lugar para el muestreo está al final de la descarga, pero antes de que se mezcle con las aguas del cuerpo receptor.

2.2.1.2 Intervalos de muestreo: La variación del flujo del efluente está relacionado con el intervalo de muestreo, aunque en un flujo casi estable, las concentraciones de los contaminantes pueden variar mucho.

2.2.1.3 Equipo de muestreo: Las muestras para los análisis deben de colectarse cuidadosamente para asegurar la representatividad de la misma. En general debe tomarse en el centro de la descarga y por debajo de la superficie. Se deben usar botellas limpias y estas han de lavarse varias veces con el agua que se va a muestrear, posteriormente añadir los conservadores (Alvarez y Silva, 1993).

Dependiendo de los parámetros que se vayan a analizar se modifican los procedimientos de limpieza, técnicas de preservación y tiempos máximos de almacenamiento.

La mayor parte de los manuales de control recientes (Lawrence, 1988) de la calidad y garantía contienen una guía para planear los procedimientos de preservación y manejo de la muestra; la planeación es útil sobre todo en los puntos de muestreo que están expuestos al sol, lluvia, viento y temperatura. El manejo de la muestra en campo debe hacerse en el sentido de eliminar la mayor parte de las circunstancias aleatorias.

Los métodos analíticos para la determinación de los contaminantes requieren que las muestras sean preservadas, transportadas y/o almacenadas antes de llevar a cabo el análisis. El transporte de la muestra normalmente está asociada a la contaminación la cuál se muestra en el cuadro 4.

Cuadro 4. Fuentes potenciales de contaminación de la muestra.

Actividades	Fuentes de contaminación
Muestreo	<ul style="list-style-type: none"> • Manejo inadecuado de instrumentos. • Recipientes.
Transporte y almacenamiento de la muestra	<ul style="list-style-type: none"> • Recipientes. • Contaminación de otras muestras. • Contaminación ambiental. • Manejo de la muestra.
Preparación de la muestra	<ul style="list-style-type: none"> • Material de vidrio, reactivos. • Contaminación ambiental. • Manejo inadecuado de la muestra.
Análisis de la muestra	<ul style="list-style-type: none"> • Material de vidrio. • Reactivos. • Equipos e instrumentos.

Fuente: Alvarez y Silva, 1993.

2.3 Parámetros que permiten evaluar el grado de Contaminación de un cuerpo de agua.

La evaluación de la calidad del agua implica varios aspectos: inspección, vigilancia, control e investigación.

2.3.1 Inspección. El investigador se encarga de efectuar visitas a la zona de estudio durante un tiempo apropiado para diseñar el muestreo y la cantidad de muestras de acuerdo a la afectación del cuerpo de agua.

2.3.2 Vigilancia. Consiste en medir continua y sistemáticamente una variable para poder definir su tendencia.

2.3.3 Control e Investigación. La finalidad de la investigación y el control es el examinar de manera puntual el proceso de contaminación, por medio de técnicas experimentales y analíticas. En las técnicas experimentales a menudo se recurre a índices de calidad de aguas o normas específicas para comparar simples números que sirven como medios de comunicación, pero cuya utilización hacen que se pierdan muchos datos biológicos interesantes (Mason, 1984). Por ello es imprescindible realizar observaciones más puntuales para determinar casos de contaminación ligera o intermitente que pasan inadvertidos cuando no se realizan análisis físicos, químicos y bacteriológicos precisos.

2.4 Parámetros físicos, químicos y biológicos en aguas residuales.

2.4.1 Oxígeno Disuelto (O.D.): el oxígeno disuelto es el factor más importante que limita la capacidad de autopurificación de una corriente. Si entra al agua una carga considerable de nutrientes el O.D. se gasta más rápidamente de lo que se puede reponer en cuyo caso ningún aeróbico obligado desde los microorganismos hasta los peces, podrán sobrevivir (Winkler, 1986).

El análisis de oxígeno disuelto es una prueba clave en la contaminación del agua y control del proceso de tratamiento de aguas residuales (APHA, 1992), ya que refleja la cantidad de materia orgánica que existe en el sistema (Hernández, 1992), de esta forma, el efecto de una descarga de desechos en un río se determina principalmente por el balance de oxígeno del sistema (Tebbut, 1990).

El grado de desoxigenación no depende tan solo de la carga de nutrientes sino de varios factores como son: nivel de dilución, demanda bioquímica de oxígeno de la emisión contaminante y del agua receptora, composición de la materia orgánica, temperatura, intensidad de la reoxigenación atmosférica, oxígeno disuelto en la corriente, cantidad y tipo de bacterias existentes en la descarga, etc. El oxígeno disuelto está en función del origen del agua; las aguas superficiales pueden contener cantidades relativamente importantes próximas a la saturación. Las aguas profundas no contienen frecuentemente más que algunos

miligramos por litro. Cuando la temperatura se eleva, el contenido de oxígeno disminuye en razón de su pequeña solubilidad, pero también a causa del consumo aumentado por los seres vivos y los compuestos degradables que se multiplican. Estas modificaciones pueden ocasionar gustos y olores desagradables; además si el contenido es inferior a 5 mg/L, la capa protectora difícilmente se formará en las canalizaciones metálicas, y el CO₂ libre de una agua no agresiva será susceptible de ocasionar la corrosión (Rodier, 1990).

Un valor alto de O.D. cercano a la saturación indica que la tasa de desoxigenación es baja y por tanto el nivel de contaminación también es bajo, y existe una reserva de oxígeno como amortiguador para mezclarse con cualquier contaminante que pudiese presentarse (Mason, 1984). Mientras más oxígeno se requiera para la descomposición de un contaminante será más probable que se presente la desoxigenación, por tanto, la demanda de oxígeno ejercida por una sustancia es una medida de su poder para causar contaminación (Winkler, 1986).

El O.D. se requiere para que se lleven a cabo las reacciones bioquímicas necesarias para su depuración. La depuración biológica de las aguas residuales se puede llevar a cabo por medio de organismos aeróbicos y anaeróbicos.

Los procesos aeróbicos son bioquímicamente eficientes, rápidos y generan productos secundarios que casi siempre son químicamente simples y altamente oxidados. Los procesos anaeróbicos son bioquímicamente ineficientes y lentos y dan origen a productos secundarios químicamente complejos. Cuando los organismos aeróbicos degradan los compuestos orgánicos, consumen al mismo tiempo el oxígeno disuelto. Si no se repone el oxígeno, el crecimiento aeróbico se detiene cuando este se agota y sólo pueden continuar los procesos anaeróbicos lentos y malolientes (Winkler, 1986).

2.4.2 Demanda Bioquímica de Oxígeno (D.B.O.): es la determinación cuantitativa del oxígeno que se requiere para la degradación de los residuos orgánicos contenidos en un volumen de agua (Fernández, 1994).

Es una prueba de gran valor en el análisis de los efluentes de aguas negras o muy contaminadas. En los procesos naturales de purificación de ríos y corrientes, las aguas negras y otras sustancias orgánicas se oxidan debido a la acción bacteriana, utilizando el oxígeno disuelto que, cuando la contaminación es excesiva, dará como resultado la destrucción de la vida vegetal y animal. Es la única prueba que indica directamente la cantidad de oxígeno que consumirán los procesos naturales para estabilizar la materia orgánica presente (Gordon, 1987).

La determinación de D.B.O. es una prueba empírica en la que se utilizan procedimientos estandarizados de laboratorio para determinar los requerimientos relativos de oxígeno de las aguas residuales. La prueba mide el oxígeno utilizado durante un periodo de incubación específico, para la degradación bioquímica de

materia orgánica (requerimiento de carbono), para oxidar materia orgánica, como los sulfuros y el ion ferroso y para oxidar las formas reducidas de nitrógeno (requerimiento del nitrógeno) a menos que se impida la oxidación por medio de un inhibidor (Winkler, 1986).

La prueba representa la cantidad de oxígeno disuelto gastado en la descomposición biológica en una muestra residual y es una simulación de laboratorio del proceso microbiano de autopurificación, mide la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para descomponer la materia orgánica de una muestra residual. Esta prueba se utiliza de bioensayo para medir el oxígeno consumido por los organismos vivos (principalmente bacterias) al utilizar como alimento a la materia orgánica presente en el desecho bajo condiciones aeróbicas y favorables en cuanto a nutrientes (fósforo y nitrógeno).

Entre más sea la cantidad de materia orgánica vertida a un cuerpo de agua, mayor será la necesidad de oxígeno para su descomposición, por lo tanto un descenso en la cantidad de oxígeno disuelto, creara condiciones que van en detrimento de la vida acuática y otros beneficios (SARH, 1993).

La prueba se utiliza para determinar los requerimientos relativos de oxígeno de las aguas residuales, efluentes y contaminadas. La prueba tiene su aplicación más extendida en la determinación de las cargas residuales en las instalaciones de tratamiento y en la evaluación de la eficacia de extracción de la D.B.O. de tales sistemas de tratamiento (APHA, 1992).

2.4.3 Demanda Química de Oxígeno (D.Q.O.): se define como la cantidad de oxígeno, expresada en mg/L, que consume en ciertas condiciones durante la oxidación de materia orgánica e inorgánica oxidable presente en el agua de desechos (Gordon, 1987). El equivalente de oxígeno de la materia orgánica que puede oxidarse se mide utilizando un fuerte agente químico oxidante en medio ácido, el dicromato de potasio resulta excelente para tal fin. El ensayo debe realizarse a altas temperaturas y para facilitar la oxidación de ciertos compuestos orgánicos se necesita un catalizador (sulfato de plata) (Metcalf, 1981).

Se prefiere el método de reflujo de dicromato a los procedimientos que utilizan otros oxidantes debido a su mayor capacidad oxidante, aplicabilidad, mayor variedad de muestras y fácil manipulación.

El ensayo de la D.Q.O. se utiliza igualmente para medir la materia orgánica en aguas residuales industriales y municipales que contengan compuestos tóxicos para la vida biológica (Metcalf, 1981). Su valor da por tanto una idea del contenido orgánico total de un residuo, sea o no biodegradable, de manera que la relación D.B.O./D.Q.O. constituye una guía para la proporción de las materias orgánicas presentes que son y no biodegradables (Winkler, 1986).

La D.Q.O. de un agua residual es, por lo general, mayor que la D.B.O. porque es mayor el número de compuestos que pueden oxidarse por vía química que biológicamente (Metcalf, 1981).

La prueba está sujeta a la interferencia por los cloruros, que se deben precipitar con sulfato mercúrico, y se puede añadir sulfato de plata para catalizar la oxidación de los ácidos grasos (Winkler, 1986).

La determinación de la D.Q.O. se recomienda como un complemento, pero no como un sustituto de la prueba de la demanda bioquímica de oxígeno (D.B.O.), que es la única que directamente puede indicar la cantidad de oxígeno que utilizarán los microorganismos para estabilizar la materia orgánica. No existe una relación constante entre ambas, debido a que la prueba de la D.Q.O. tiene una mayor aplicación cuando se evalúa el tratamiento y el control de las aguas residuales, la diferencia de los resultados obtenidos entre ellas constituye un indicador de la importancia de las materias contaminantes poco o nada biodegradables (Rodier, 1990).

La D.Q.O. no es, por sí sola, un índice seguro respecto a la cantidad y calidad de la contaminación; sin embargo, su determinación puede revelar información valiosa cuando se le compara con los resultados previos de la misma agua, o cuando se considera a la par con otros conocimientos sobre constituyentes (Sheppard, 1987).

2.4.4 Organismos Coliformes: las aguas negras contienen incontables organismos vivos, la mayoría son demasiado pequeños para ser visibles, son la parte viva natural de la materia orgánica que se encuentra en las aguas negras, las cuales contienen usualmente de 4,000 a 5,000 millones de bacterias coliformes por mL (Hilleboe, 1996).

Estos no son organismos patógenos y funcionan en el proceso de digestión del organismo huésped (Hilleboe, 1996); durante su desarrollo en el cuerpo del huésped producen compuestos tóxicos o venenosos que causan enfermedad al huésped. Pueden estar presentes en las aguas negras que reciben excretas de personas afectadas por enfermedades tales como la fiebre tifoidea, disenteria, cólera u otras infecciones intestinales.

Las bacterias coliformes son microorganismos, de forma cilíndrica capaces de fermentar la glucosa y lactosa, cada persona evacua de 100,000 a 400,000 millones de organismos coliformes por día además de otras clases de bacterias (Metcalf, 1981).

En el agua existen 5 clases de organismos capaces de infectar al ser humano: bacterias, protozoarios, helmintos, virus y hongos. Un ejemplo de organismos que diseminan enfermedades a través del agua como componente en la vía fecal-oral,

están la bacteria del cólera y fiebre tifoidea. La irrigación de las cosechas que se consumen crudas pueden transmitir cualquiera de las lombrices intestinales comunes, la irrigación de los pastizales pueden infectar al ganado y a través de este, al hombre.

En el agua existen organismos utilizados como indicadores de la contaminación fecal entre los cuales se encuentran los estreptococos fecales y los clostridios. Estos últimos son organismos anaerobios, formadores de esporas, que son las formas más resistentes capaces de sobrevivir gran tiempo, cuya presencia en ausencia de coliformes es indicador de una contaminación biológica.

El procedimiento 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 lactosado, 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.

La NOM-CCA-033-ECOL/1993 nos indica el método más aceptado para obtener el número de organismos coliformes presentes en un volumen de agua dado. La técnica del número más probable (NMP) se basa en el análisis de resultados positivos y negativos obtenidos al hacer ensayos múltiples y se expresan en términos del NMP en 100 mL de agua (Metcalf, 1981).

2.4.5 Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM): los compuestos básicos de los detergentes, son compuestos orgánicos con propiedades tensoactivas en solución acuosa. Los compuestos tensoactivos más empleados en la fabricación de detergentes son los sulfonatos de aquil benceno de sodio (ABS), los sulfonatos de alquil tolueno (ATS) y sus mezclas, cuyas estructuras químicas ramificadas son muy estables y no se degradan, o lo hacen muy lentamente.

Los detergentes se incorporan en las aguas limpias y residuales principalmente por descargas de residuos acuosos del lavado doméstico e industrial. La molécula de los detergentes está formada por un grupo hidrófobo y un hidrófilo, el grupo hidrófobo es por lo regular un radical hidrocarburo que contiene de 10 a 20 átomos de carbono. Los grupos hidrófilos son de dos tipos, los que se ionizan en el agua y los que no (APHA, 1992).

Los detergentes tanto para uso doméstico como para uso industrial contienen fósforo, el cual tiene un papel muy importante como ablandador y por sus propiedades como acomplejante, disminuyen la dureza del agua al fijar al calcio y al magnesio. Los fosfatos que se encuentran en un producto para el lavado se presentan en general en forma de polifosfatos (Cheneval, 1993), son las moléculas más difíciles de separar por procesos de tratamiento de agua.

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

El fósforo es característico de los organismos vivos y es liberado por la descomposición de células de manera que los residuos humanos, animales y las aguas residuales procedentes de industrias que procesan materiales biológicos, como la alimenticia, constituyen las fuentes principales de los compuestos del fósforo (Winkler, 1986).

Los detergentes sintéticos contienen elementos nutritivos vegetales y aceleran por consiguiente la eutroficación. Los fosfatos se hallan a menudo en pequeñas cantidades en las aguas naturales y su aportación a partir de los detergentes, ha sido comprobada como el principal causante del crecimiento excesivo de las algas y el deterioro eutrófico de los cuerpos de agua.

Son muchos los efectos causados por un alto contenido de detergentes en agua, tales como la formación de espuma, alta toxicidad de los surfactantes que representan un serio peligro a la vida acuática.

2.4.6 Acidez, Alcalinidad y pH: la acidez es la capacidad del agua para neutralizar iones hidróxido. La mayoría de las aguas naturales y residuales son amortiguadoras por un sistema de CO_2 y H_2CO_3 . La acidez del CO_2 ocurre dentro de un pH de 4.5 a 8.2 debido a que el H_2CO_3 no se neutraliza totalmente hasta un pH de 8.2 y no disminuye por debajo de 4.5. La acidez mineral (debida siempre a procesos industriales) se presenta a un pH inferior de 4.5 (Tebbutt, 1990).

Los ácidos incrementan la corrosividad e interfieren en los índices de reactividad química, su especificidad y los procesos biológicos, reflejan además, las variaciones en la calidad del agua (APHA, 1992):

El agua con características ácidas favorece la disponibilidad de elementos metálicos, cuánto más bajo sea el pH del agua, será más propensa a ser corrosiva y, por consiguiente, a contaminarse por compuestos metálicos (Manaham, 1993).

La alcalinidad de un agua es su capacidad para neutralizar ácidos, esto se debe a la presencia de hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos, tales como calcio, magnesio, sodio, potasio o amoníaco (Manaham, 1993). Los valores determinados pueden incluir también la concentración de boratos, silicatos y otras bases (APHA, 1992). Normalmente se presenta en la alcalinidad cáustica, a un pH de 8.2 y alcalinidad total por encima de un pH de 4.5. La alcalinidad puede existir a

este pH debido a que los bicarbonatos se neutralizan completamente a pH 4.5 (USEPA,1986).

La alcalinidad es importante en muchos usos y tratamientos de aguas naturales y residuales, depende principalmente del contenido de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos, por lo que suele tomarse como una indicación de un exceso de metales alcalinotérreos; tiene importancia para la determinación de la aceptabilidad de un agua para irrigación . Las determinaciones de alcalinidad se utilizan en la interpretación y el control de los proceso de tratamientos de aguas limpias y residuales (APHA, 1992).

Sirve para calcular la cantidad de químicos que se adicionan a un tratamiento de agua. El agua con alcalinidad alta eleva el pH y contiene niveles altos de sólidos disueltos (USEPA,1986).

La acidez y la alcalinidad son de importancia en el agua natural y en las aguas residuales, por que proporcionan un amortiguamiento para resistir los cambios en el pH (Tebbutt, 1990), además, la tensión superficial del agua así como la densidad y viscosidad tienden a aumentar en forma proporcional a la cantidad de sales disueltas (Wetzel, 1981).

La determinación del pH refleja la actividad de los iones, a una temperatura determinada, la intensidad del carácter ácido básico de una solución se da por la actividad del ion hidrógeno o pH. La alcalinidad y acidez representan por tanto la capacidad neutralizante de ácidos y bases de un agua (APHA, 1992).

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

El desarrollo normal de una depuración biológica estriba en la adecuada actividad de las enzimas de los organismos que habitan el agua, por tanto es importante mencionar que las enzimas son activas en un rango muy estrecho de pH y suelen inhibirse con concentraciones altas de sales (Hernández,1993).

El intervalo de pH idóneo para la existencia de la mayoría de los organismos en el agua es muy estrecho y crítico y es muy sensible a los cambios drásticos, principalmente en los mecanismos osmóticos, ya que no se pueden adaptar fácilmente a los cambios extremos en concentración de sales elevadas (Hernández, 1994).

2.4.7 Temperatura: es un parámetro muy importante por su efecto en la vida acuática, en las reacciones químicas y velocidades de reacción y en la aplicabilidad del agua o usos útiles (Metcalf, 1981).

La combinación de un aumento tanto en la temperatura, como en los elementos nutritivos pueden conducir a un crecimiento rápido y excesivo de las poblaciones fotosintéticas, eutrofizando el sistema. El incremento en la temperatura de un cuerpo de agua trae consigo una disminución en el oxígeno disuelto y un incremento en el metabolismo de los organismos presentes. En términos generales el ecosistema acuático se ve afectado sensiblemente por los cambios de temperatura. Las temperaturas elevadas son a menudo más hospitalarias para los organismos patógenos y, por consiguiente, la contaminación térmica podrá aumentar su número, también afecta la viscosidad y tensión superficial del agua, cada una de ellas al aumentar la temperatura tienden a disminuir (Wetzel, 1981).

El aumento de la velocidad de las reacciones químicas que supone un aumento de temperatura, junto con la disminución del oxígeno presente en las aguas superficiales, puede frecuentemente causar graves agotamientos, en los meses de verano, de las concentraciones de oxígeno disuelto. Estos efectos se ven aumentados cuando se vierten grandes cantidades de agua caliente a las aguas naturales receptoras (Metcalf, 1981).

Todos los efectos bioquímicos, incluidos los que se manifiestan en forma de tóxicos, resultan acelerados a temperaturas superiores. Asimismo, afecta otras propiedades acelerando las reacciones químicas, reduciendo la solubilidad de los gases, intensificación de sabores y olores, entre otros aspectos (Tebbut, 1990).

2.4.8 Color: es un constituyente común de muchas aguas naturales. Por lo general es el resultado de la presencia de iones metálicos, ligninas, ácidos húmicos y otros productos vegetales que se considera existen en suspensiones coloidales. En el agua potable, el color es objetable únicamente por razones estéticas; pero en varios procesos productivos se requieren aguas esencialmente incoloras (Sheppard, 1987).

El agua pura no es incolora; tiene un tinte azul-verdoso pálido. Es necesario diferenciar entre el color verdadero debido al material en solución y el color aparente por la presencia de materia orgánica y de otros coloides. Existen colores del agua debidos a compuestos que no son dañinos, por ejemplo el color amarillo natural del agua que se produce por la presencia de ácidos grasos. Sin embargo, el color del agua puede no ser aceptado para diversos usos industriales, como por ejemplo la producción de papel artístico de alta calidad (Tebbut, 1990).

El color puede estar condicionado por la presencia de iones metálicos naturales (hierro y manganeso), humus y turbas, plancton, restos vegetales y residuos animales. Tal coloración se elimina para adaptar un agua a usos generales e industriales. Con frecuencia, para medir el color natural del agua se usan escalas artificiales; antes de efectuar cualquier comparación, la materia suspendida debe eliminarse por centrifugación; para estas determinaciones se han desarrollado

métodos espectrofotométricos y fotométricos, los cuales se aplican especialmente a las aguas industriales de desecho (Sheppard, 1987).

El agua residual reciente suele ser gris; sin embargo, como los compuestos orgánicos son descompuestos por las bacterias, el oxígeno disuelto en el agua residual se reduce a cero y el color cambia a negro.; algunas aguas residuales de tipo industrial añaden color al agua residual doméstica. Las aguas residuales industriales coloreadas suelen requerir la supresión del color antes de ser vertidas o bien presentar, de acuerdo a la escala Platino Cobalto, un máximo de cinco unidades (APHA, 1992).

2.4.9 Conductividad eléctrica: la medición de la conductividad eléctrica se utiliza para evaluar las variaciones de la concentración de minerales disueltos en aguas naturales y residuales, así como para el monitoreo de la calidad en abastecimientos de agua con alta pureza (ASTM, 1991).

La conductividad es una expresión numérica de la capacidad de una solución para transportar una corriente eléctrica. Esta capacidad depende de la presencia de iones y la concentración total, de su movilidad, valencia y concentraciones relativas, así como de la temperatura de medición. Las soluciones en la mayoría de ácidos, bases y sales presentan coeficientes de conductividad relativamente adecuados. A la inversa las moléculas de los compuestos orgánicos que no se disocian en soluciones acuosas tiene una conductividad muy escasa o nula, la cual se mide en microsiemens por centímetro ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

La conductividad eléctrica (a diferencia de la metálica) aumenta con la temperatura a un índice de 1.9 por 100 °C aproximadamente. Las soluciones de cloruro potásico tienen un coeficiente de conductividad a temperatura más baja que el agua potable común por su parte el cloruro sódico posee un coeficiente que se aproxima al encontrado en la mayoría de las aguas de pozo y de superficie (APHA, 1992).

2.4.10 Fósforo: es un elemento esencial para el crecimiento de las algas y otros organismos biológicos. Debido a los crecimientos explosivos nocivos que tienen lugar en las aguas superficiales, existe mucho interés en la actualidad en controlar la cantidad de los compuestos de fósforo que entran en las aguas superficiales a través de los vertidos de aguas residuales industriales y domésticas y de las escorrentías naturales (Metcalf, 1981).

Los fosfatos proceden de desechos y de la descomposición de los organismos vivos, pero también de muchos detergentes contenidos en nuestras aguas residuales. El fósforo en forma de fosfatos, es un alimento cuyo exceso provoca perturbaciones en la vida de un lago (Barroin, 1990).

La contaminación de un curso de agua por un fuerte crecimiento orgánico, estimulado por nutrimentos inorgánicos se conoce como eutroficación; cuando están presentes en la corriente grandes concentraciones de nitratos y fosfatos, aparece un considerable crecimiento de algas el cual produce una capa antiestética verde. Sin embargo, la eutroficación no es indeseable sólo por lo antiestético, sino además la fotosíntesis implica la creación de materia orgánica a partir de materiales inorgánicos, y por tanto, la producción de cantidades de sustancias orgánicas donde sólo existían unas pocas. Cuando los organismos fotosintéticos mueren, sus componentes se convierten en nutrimentos orgánicos ejerciendo una demanda de oxígeno sobre la corriente acuática (Winkler, 1986).

La calidad del agua se resiente de ello en términos de materiales flotantes, materias en suspensión, olor, color y toxinas (Barroin, 1990).

Las formas más frecuentes en que se encuentran el fósforo en soluciones acuosas son ortofosfato, polifosfato y fosfato orgánico (Metcalf, 1981). Los fosfatos forman parte de los aniones fácilmente fijados por el suelo; su presencia en las aguas naturales se debe a los materiales geológicos y edáficos por donde cruza su cauce y a la descomposición de la materia orgánica. Habitualmente, su contenido no sobrepasa 1 mg/L en P_2O_5 . En las aguas de pozos, la presencia de fosfatos puede tener por origen una infiltración proveniente de pozos negros o de los depósitos de estiércol. Las aguas superficiales de los acuíferos pueden contaminarse por los vertederos industriales o por el lavado de las tierras de cultivo que contienen los abonos fosfatados o tratados con ciertos pesticidas.

Por otro lado, los fosfatos también pueden provenir de los polifosfatos utilizados para el tratamiento de las aguas como coadyuvantes activos en los detergentes. Para las aguas de alimentación se puede admitir hasta 1 mg de PO_4^{3-} por litro, principalmente si la presencia de fosfatos no se debe a una contaminación humana o animal (Rodier, 1990).

2.4.11 Amonio: es el principal producto final en la descomposición de la materia orgánica realizada por las bacterias heterótrofas directamente a partir de proteínas así como de otros compuestos orgánicos nitrogenados. Aunque en la degradación progresiva de la materia orgánica se van formando compuestos nitrógenados intermedios, estos raramente se acumulan, ya que son rápidamente diseminados por las bacterias. A pesar de que el amonio constituye uno de los principales productos de excreción de los animales acuáticos, la cantidad de nitrógeno obtenida por esta vía es muy inferior (Wetzel, 1981).

El amonio, como iones amonio o como amoniaco libre, es el contaminante nitrogenado que se encuentra con mayor frecuencia, su característica más indeseable es su olor desagradable. En solución acuosa es tóxico para la fauna acuática en concentraciones de unas cuantas partes por millón, la concentración depende de la temperatura y pH. Reduce la efectividad de la cloración, que se

usa ampliamente como etapa final del tratamiento del agua para eliminar trazas de materia orgánica. Otro problema principal del amoníaco como contaminante es el que ejerce una demanda muy alta de oxígeno, requiriendo más de 4.5 veces su propio peso de oxígeno para su completa oxidación (Winkler, 1986).

2.4.12 Nitratos y Nitritos: los compuestos de nitrógeno se encuentran entre los principales contaminantes del agua, y se pueden encontrar en los residuos acuosos de varias industrias, en los residuos agrícolas, domésticos y la escorrentía superficial de terrenos agrícolas.

Los compuestos de nitrógeno se pueden eliminar de las aguas residuales por medio de procesos de tratamiento químicos, físicos y biológicos, el proceso biológico es todavía uno de los más económicos se presentan en las corrientes residuales como amoníaco, nitratos y nitritos, compuestos orgánicos solubles y materia orgánica en suspensión o en forma de partículas.

El proceso biológico más significativo para la remoción del amoníaco, es su oxidación bacteriana a nitritos y nitratos. La nitrificación suministra la fuente de energía para las bacterias nitrificantes aeróbicas y autotróficas.

Los nitritos y nitratos, producidos por nitrificación o presentes en aguas residuales, se pueden eliminar por reducción microbiológica a nitrógeno gaseoso, este proceso se conoce como desnitrificación y ocurre en condiciones anóxicas donde ciertos microorganismos utilizan los nitritos y nitratos como una fuente alterna de oxígeno, un proceso conocido como desasimilación. Debido a que el producto de la desnitrificación es un gas no contaminante, liberado de la fase acuosa, constituye un verdadero proceso de remoción de nitrógeno. La nitrificación y desnitrificación biológica sucesivas forman así un mecanismo para la total remoción del nitrógeno en la forma de amoníaco, nitritos o nitratos, a partir de un residuo acuoso (Winkler, 1986).

Generalmente, los contenidos de nitratos de las aguas de las redes de distribución son poco elevados; no es lo mismo en el campo, donde se les puede encontrar en las aguas de pozos en contenidos relativamente importantes. En este caso, los nitratos tienen habitualmente por origen una nitrificación del nitrógeno orgánico, pero también pueden proceder a la infiltración en los terrenos. Se ha de señalar que muy a menudo estas aguas son de calidad media o mala en lo que concierne a los otros elementos de la salinidad. Los abonos químicos son generalmente la causa principal de las contaminaciones de las aguas superficiales, pero los nitratos pueden provenir en particular de la población humana y ocasionalmente de las aguas residuales de ciertas industrias y ganadería. Las aguas de lluvia pueden contener nitratos provenientes del óxido de nitrógeno y del amoníaco presente en la atmósfera.

Los nitritos pueden encontrarse en las aguas, aunque generalmente en dosis pequeñas. Proviene o de una oxidación incompleta del amoníaco, cuya nitrificación no se completa totalmente, o de una reducción de los nitratos bajo la influencia de una acción desnitrificante; también originan un problema poco común de contaminación, además de estimular la eutroficación (Rodier, 1990).

Desde el punto de vista de la toxicidad, es preciso tener en cuenta que el agua que contiene altas concentraciones de nitritos y que se utiliza en la alimentación de infantes, puede causar una condición conocida como metahemoglobinemia; que a diferencia de la hemoglobina no puede conducir oxígeno produciendo la sofocación y la asfixia (Winkler, 1986).

Cuando el agua usada para preparar alimentos contenga nitritos, se corre el riesgo de que se puedan formar sustancias cancerígenas llamadas nitrosaminas, por combinación con los compuestos de nitrógeno orgánico que se forman a su vez por la descomposición de la proteína presente en los alimentos (Winkler, 1986).

2.4.13 Dureza: el agua es un solvente universal y disuelve cantidades variables de las diversas sustancias minerales, esto no afecta su calidad, sino que es importante en su uso doméstico, especialmente para lavado o en calderas. Las sales de calcio y magnesio, que son los principales constituyentes minerales, consumen jabón y lo precipitan en forma de compuestos insolubles o grumos de jabón. Mientras no se haya precipitado todo el calcio y el magnesio no se obtendrá espuma. Las sales de calcio y magnesio están disueltas generalmente en formas de bicarbonatos, pero por el calentamiento pueden transformarse en carbonatos, menos solubles que se precipitan.

En muchas industrias, la dureza constituye la base principal para clasificar las aguas que reciben. De acuerdo con el Método ASTM D 1129, la dureza del agua es una característica que se expresa como la concentración total de calcio y magnesio. Aunque otros constituyentes tales como el hierro, el manganeso y otros cationes polivalentes también contribuyen a la dureza, casi siempre tienen concentraciones tan pequeñas que en realidad no afectan la dureza del agua industrial (Metcalf, 1981).

Se puede dividir en dos tipos: la de carbonatos y la de no carbonatos. La de carbonatos es aquella que se debe a los carbonatos y bicarbonatos de calcio y magnesio, rara vez impide utilizar el agua para la industria ya que, en caso de ser excesiva, se puede reducir o eliminar de un modo sencillo y poco costoso. La dureza no carbonatada indica la dureza total con excepción de la suministrada por carbonatos y bicarbonatos presentes (Sheppard, 1981).

Las aguas duras son usualmente menos corrosivas que las blandas, ya que contienen compuestos de calcio y magnesio en bajas concentraciones; sin embargo, ocasionan problemas de incrustaciones en calderas y tuberías.

Un agua satisfactoria para uso doméstico debe contener menos de 50 mg/L de dureza. El agua con una dureza de 300 mg/L no es apropiada para el uso ordinario. Las aguas muy blandas cuya dureza es mayor de 30 mg/L son generalmente muy corrosivas. Tales aguas se tratan generalmente con cal, lo cual aumenta su dureza (Metcalf, 1981).

2.4.14 Sólidos: los sólidos son los materiales suspendidos o disueltos en aguas limpias y aguas residuales.

Los sólidos pueden afectar negativamente a la calidad del agua o a su suministro de varias maneras. Las aguas con abundantes sólidos disueltos suelen ser de inferior palatabilidad y pueden inducir una reacción fisiológica desfavorable en el consumidor. Las aguas altamente mineralizadas tampoco son adecuadas para muchas aplicaciones industriales o incluso resultan estéticamente insatisfactorias para bañarse. Los análisis de sólidos son importantes en el control de procesos de tratamiento biológico y físico de aguas residuales, y para evaluar el cumplimiento de las limitaciones que regulan su vertido (APHA, 1992).

Los sólidos totales del agua residual proceden del agua de abastecimiento, del uso industrial y doméstico y del agua de infiltración de pozos locales y aguas subterráneas. Analíticamente, el contenido total de sólidos de un agua residual es toda la materia que queda como residuo de evaporación a 103-105 °C.

Los sólidos totales, o residuo de evaporación, pueden clasificarse como sólidos suspendidos o sólidos filtrables y consiste en hacer pasar un volumen conocido de líquido por un filtro. Por lo general, el filtro se elige de modo que el diámetro mínimo de los sólidos suspendidos sea aproximadamente una micra; la fracción de sólidos suspendidos incluye los sólidos sedimentables que se depositarán en el fondo de un recipiente en forma de cono (cono Imhoff) durante un periodo de 60 minutos. Los sólidos sedimentables son una medida aproximada de la cantidad de fango que se eliminará mediante sedimentación (Metcalf, 1981).

Los sólidos sedimentables son de gran interés por ser los principales generadores del proceso de envejecimiento de un cuerpo de agua. Los sólidos al sedimentarse forman una capa sobre el lecho de la corriente de agua, en la que es muy difícil la penetración de oxígeno disuelto, con lo que se crea en el fondo, una capa anaeróbica (Ramalho, 1991).

2.4.15 Metales Pesados (Cu, Fe, Cd, Zn, Pb y Cr): los efectos de los metales en aguas potables y residuales pueden ser benéficos, tóxicos o simplemente molestos. Algunos metales resultan esenciales, mientras que otros pueden

perjudicar a los consumidores, a los sistemas de tratamiento de aguas residuales y a las aguas de depósitos. En muchos casos el potencial benéfico o de riesgo depende de la concentración (APHA 1992).

Muchos metales se vierten debido a procesos naturales como la actividad volcánica y erosión de rocas. Los procesos industriales tienden a movilizar muchos de éstos (Mason, 1984), de tal forma que se da una amplia dispersión y transporte, existe fijación en fracciones minerales y orgánicas de un cuerpo de agua y con el tiempo tienden a concentrarse en el fondo.

En la actualidad, el uso de estos elementos se ha incrementado en forma alarmante, lo cual está asociado con el crecimiento explosivo de la población y con el desarrollo tecnológico mal planeado, Esta utilización excesiva ha provocado un aumento en la concentración basal de casi todos estos elementos y ha modificado drásticamente los ciclos biogeoquímicos naturales.

Por está razón, algunos organismos absorben, de una u otra forma, cantidades de estos elementos los que, en la mayoría de los casos; causan efectos deletéreos a los seres vivos (Albert, 1995).

La elevada toxicidad de los metales pesados es debido a que gran parte de ellos logran acumularse en los organismos permaneciendo allí durante largos periodos de tiempo y funcionando como venenos acumulativos. En contraste con los contaminantes orgánicos, los metales tóxicos no pueden ser degradados en la naturaleza por medios biológicos ni químicos, no obstante pueden pasar a formar parte de los sedimentos por procesos geoquímicos o ser solamente removidos para acumularse en los mismos; por lo tanto, los compuestos que contengan metales pueden ser alterados pero los elementos indeseables aún permanecen (GESAMP, 1982).

Es importante que se evalúe en los ríos, como actúan los metales potencialmente tóxicos, por su efecto en los organismos y con ellos, otros factores que pueden modificar su toxicidad, ya que en ocasiones surgen reacciones que desencadenan en formas más tóxicas del metal; además por su estabilidad, los metales suelen ser transportados a distancias considerables tanto por aire como por agua.

Uno de los resultados más graves de su persistencia es la magnificación biológica en los niveles tróficos, donde, la concentración de metales en los miembros superiores del nivel pueden alcanzar valores muchas veces más altos a los que se encuentran en el aire o en el agua. Ello inducirá que muchas plantas o animales se constituyan en un peligro para la salud al destinarse para alimentos (Stoker, 1981).

2.4.15.1 Cobre (Cu): se encuentra en forma mineral en la corteza terrestre en una concentración de 55 ppm, es uno de los elementos traza más abundante,

importante y esencial para plantas y animales, suele ser benéfico y esencial en el metabolismo del hombre; actualmente se sabe que una deficiencia ocasiona anemia, pérdida del pigmento del pelo, reducción en el crecimiento y pérdida de la elasticidad arterial.

Presenta dos valencias en los compuestos en forma natural. El Cu (I) es más común en los minerales que se forman a una profundidad considerable y el Cu (II) en los compuestos que se forman cerca de la superficie terrestre. Cualquiera que sea su estado de oxidación en las rocas, se disuelve mediante el desgaste natural principalmente como Cu (II). Siempre y cuando la solución permanezca ligeramente ácida (Morvedt, 1983).

Es ampliamente usado en su estado metálico, ya sea en forma pura o en aleaciones. El Cu metálico se prepara por fundición y refinado electrolítico; su principal uso es la producción de cable para conducir la electricidad, utilizado en aleaciones, fungicidas e insecticidas. Otros compuestos son usados como pigmentos en pinturas y cerámica (Alloway, 1990).

El cobre desempeña un papel muy importante en el metabolismo biológico (enzimas). Puede encontrarse en forma de trazas, es decir inferior a 1 mg/L, en ciertas aguas naturales. Puede encontrarse en concentraciones muy altas en el agua, sedimentos y biota como resultado de las actividades mineras, el uso intensivo de los pellets de cobre en la cría de cerdos o de la aplicación de fungicidas de cobre (Duffus, 1983).

Aparte de las contaminaciones industriales o de los tratamientos agrícolas, este metal proviene habitualmente de la corrosión de las tuberías y más raramente constituye el residuo de un tratamiento de las algas por las sales de cobre; en algunas aguas dulces, las concentraciones próximas a 0.5 mg/L pueden colorear la porcelana de los fregaderos y provocar un ennegrecimiento en ciertos productos alimenticios después de cocerlos (espárragos, champiñones, etc.). Salvo para algunas especies (salmónidos), no parece que los contenidos inferiores a 1 mg/L sean tóxicos para los peces. Contrariamente, la vida acuática puede perturbarse con dosis inferiores, pero las condiciones de toxicidad varían según las especies y composición del agua. El cobre es susceptible de perturbar la depuración de las aguas residuales por los lodos activados, en contenidos pequeños (1 mg/L) y la digestión de los lodos en contenidos más elevados (100 mg/L) (Rodier, 1990).

El cobre rara vez se encuentra en aguas naturales y cuando existe proviene casi siempre de desechos industriales. En la actualidad se está incrementando el uso del sulfato de cobre y los compuestos estabilizados para tratar los depósitos de agua a fin de controlar el crecimiento de algas y diatomeas, lo que contribuye a la presencia de este elemento en diversos cuerpos de agua.

En las aguas industriales es importante conocer su contenido debido principalmente a la influencia que tiene en los procesos de corrosión y sedimentación, se puede depositar en forma metálica en tuberías y calderas, debido quizá a la disolución de una cantidad equivalente de hierro. Hasta ahora, el papel que juega en la corrosión de las calderas no se ha explicado del todo satisfactoriamente; algunos autores piensan que el cobre no es la causa primordial de la corrosión en las calderas, pero una vez que se inicia, la acelera. Pequeñas cantidades pueden corroer también al aluminio, sobre todo en agua dura (ASTM, 1991).

Su análisis en el agua también se utiliza para registrar la corrosión en conexiones y tubos de cobre, latón y otras aleaciones. Si en el agua hay amoníaco en concentraciones superiores a 10 mg/L, y también hay oxígeno disuelto, esto puede originar una disolución importante de cobre. El bióxido de carbono y el bicarbonato de sodio también producen corrosión y en las aleaciones de este elemento (Sheppard, 1987).

La disponibilidad en plantas depende de la facilidad con la cual el ion Cu (II) hexahidratado es absorbido por las plantas en los suelos ácidos y como hidróxido de Cu (II) en suelos alcalinos o neutros (Fernández, 1991). También juega un papel importante en la fotosíntesis como constituyente esencial de la plastocianina (Wild, 1992).

El Cu en el organismo humano es absorbido activamente en el estómago y en el duodeno. Típicamente cerca de la mitad de una dosis puede ser absorbida, pero esto puede ser disminuido por competencia con el zinc. Una sobredosis aguda provoca un inmediato sabor metálico, seguido de una inflamación epigástrica, náuseas, vómito, y en varios casos severos diarrea; casos fatales siempre incluyen efectos secundarios tales como hipertensión, shock y coma (Carson, *et al.*, 1986).

2.4.15.2 Hierro (Fe): es el cuarto más abundante en la corteza terrestre (5.6%), está presente como elemento nativo y con dos estados de oxidación Fe (II) y Fe (III). Sus compuestos ferrosos (+2) y férricos (+3) tienen generalmente baja solubilidad en el agua, los nitratos son una excepción (Carson, *et al.* 1986).

Entre los principales usos esta la formación de compuestos para pigmentos, cintas magnéticas, desinfectantes, curtido y aditivo de combustibles.

Muchos afluentes de agua están envenenados por altos niveles de hierro resultantes del drenaje de las minas; la pirita (sulfuro de hierro), se encuentra a menudo asociada a los depósitos de carbón (Duffus, 1983).

Las aguas superficiales pueden contener hasta 0.5 mg/L de hierro, que puede tener por origen la lixiviación de los terrenos atravesados por esta agua, o las

contaminaciones industriales; en las aguas de distribución, proviene frecuentemente de las conducciones de paso. El hierro puede encontrarse hasta en cantidades de 10 mg/L en las aguas de los sondeos. Las aguas minerales y principalmente termominerales pueden contener más de 10 mg/L; este metal en estado ferroso es bastante soluble; precipita debido al desprendimiento del anhídrido carbónico y por oxidación en el aire. Según los casos, podrá existir en solución en estado coloidal, y en forma de complejos (Rodier, 1990).

El Fe que se encuentra en las aguas utilizadas para la irrigación no ocasiona efectos tóxicos en las plantas.

Las funciones y los efectos fisiológicos del hierro en las plantas depende de los cambios en sus estados de oxidación, entre Fe^{+2} y Fe^{+3} , y de la formación de complejos con radicales orgánicos e inorgánicos. Las raíces de las plantas reducen Fe^{+3} a Fe^{+2} y este proceso parece que es un requisito esencial para absorberlo a partir de la solución del suelo (Wild, 1992).

El hierro es un micronutriente esencial para la mayoría de los organismos, pero la ingestión de cantidades excesivas puede originar la inhibición de la actividad de muchas enzimas.

Las cantidades consumidas deben ser grandes debido a que sólo una pequeña proporción del hierro ingerido es absorbida en el tracto intestinal. La inhalación de polvos de hierro pueden causar una pneumoconiosis benigna y puede resaltar los efectos dañinos del bióxido de azufre y varios carcinógenos (Duffus, 1983). En la toxicidad aguda como primer signo se presenta el vomito, seguido por sangrado intestinal, letargo y quizás cianosis; una excesiva absorción puede conducir hemosiderosis (un incremento generalizado del contenido de Fe) posiblemente acompañado por fibrosis (Carson, *et al.*, 1986).

2.4.15.3 Cadmio (Cd): es uno de los metales pesados menos estudiados; el cuál biológicamente no tiene ninguna actividad en los seres vivos (Rivero, 1983), se encuentra en la naturaleza asociado a muchos minerales, esta presente en forma mineral en la corteza terrestre a una concentración promedio de 0.18 ppm (Mortvedt, 1982).

El hombre lo ha liberado al ambiente sin saberlo desde que estuvo capacitado para refinar metales. En la actualidad se le considera como uno de los elementos más tóxicos. Tiene una vida media larga y se acumula en los seres vivos permanentemente.

Es usado en la industria alimenticia, textil, química, electrolítica, del petróleo y termometálica. En la agricultura se encuentra en los fertilizantes fosfatados y en plaguicidas, los cuales pueden formar compuestos insolubles con carbonatos y fosfatos, quedando fijados en el suelo, también pueden combinarse

sinérgicamente con otras sustancias tóxicas por lo que se considera especialmente peligroso.

Sus derivados se utilizan en pigmentos y pinturas, baterías, como estabilizadores del cloruro de polivinilo (PVC) como recubrimiento de otros metales en procesos de galvanoplastia, electroplatinado, aleaciones, acumuladores, soldaduras, reactores nucleares, joyería, entre otros.

La mayor parte que se emite a la atmósfera se deposita en la tierra y en las aguas de la región cercana a la fuente de emisión. En las aguas superficiales se presenta como ion libre y en su solubilidad influyen la dureza, el pH, los complejos solubles y los sulfuros coloidales de éstos; en este medio se une a la materia particulada.

Su concentración en el agua potable es menor a 5 mg/L, la contaminación del agua potable puede ocurrir como resultado de la presencia de impurezas en las tuberías galvanizadas de zinc o en la soldadura de los calentadores de agua, grifos, etc. En los suelos generalmente, las concentraciones de este elemento son inferiores a 1 mg/Kg (Albert, 1988).

Las principales variaciones en el suelo se deben a la composición de la roca madre y al suministro de metales que provienen de fertilizantes, abonos, agroquímicos, contaminación atmosférica (industrias metalúrgicas e incineración de plásticos) y la utilización de aguas residuales para riego (Sánchez, 1993).

En los suelos ácidos se intercambia fácilmente, lo que lo hace disponible para las plantas, las cuales no tienen un mecanismo para excretarlo, lo retienen en sus tejidos, la acumulación generalmente es mayor en las raíces que en la parte aérea (Morvedt, 1987).

En las plantas su absorción se correlaciona con otros elementos con los que compite, como son: Cr, Cu, Mg, y Ca, afectando seriamente en el caso de prevalecer el cadmio, ya que las funciones de estos elementos son la activación de sistemas enzimáticos.

En términos generales los efectos en las plantas, pueden ser: reducción de la tasa fotosintética, déficit en el contenido interno de agua debido a una conductividad pobre en tallos; reducción en la altura y biomasa, principalmente en raíces con un consecuente incremento en la concentración de cadmio en raíz y tallo.

La retención a partir del alimento por parte de los mamíferos es baja pero la absorción aumenta si están sometidos a una dieta deficiente en calcio. Una vez absorbido, el cadmio se asocia con las proteínas de bajo peso molecular, metalotioneína, y se acumula en los riñones, hígado y órganos reproductores.

Dosis muy pequeñas pueden causar vómitos, diarrea y colitis; la exposición continua al cadmio causa hipertensión, agrandamiento del corazón y muerte prematura. También induce a anomalías cromosómicas y puede ejercer efectos carcinógenos en los pulmones (Duffus, 1983).

Investigaciones indican que este elemento en la maternidad puede atravesar las membranas placentarias y en ausencia de un mecanismo homeostático, es rápidamente acumulado a una tasa aproximadamente de 50 mg por década hasta la edad de 60 años, especialmente en los riñones. La vida biológica en el hombre se estima entre 10 y 25 años (Mortvedt, 1983).

2.4.15.4 Zinc (Zn): es un elemento traza esencial para los humanos, plantas superiores y animales. se estima que sus concentraciones en la corteza terrestre van de 5 a 200 ppm. La concentración en los cuerpos de agua se relaciona con las actividades del hombre y con los escurrimientos urbanos e industriales. Este elemento es relativamente no tóxico y resulta ser esencial en el hombre adulto, éste lo ingiere en concentraciones de 15 mg/día (Albert, 1995).

Los principales usos del Zinc incluyen el recubrimiento para protección de Fe y Acero en los procesos de galvanizado, también como ingrediente de aleaciones, como protector en recubrimiento de otros metales para prevenir la corrosión, aparatos eléctricos especialmente para celdas de baterías secas, materiales de construcción, recubrimiento de carros de ferrocarril.

Es un micronutriente esencial y por lo general se considera como uno de los elementos menos peligrosos, aunque su toxicidad puede aumentar debido a la presencia de impurezas de arsénico, plomo, cadmio y antimonio (Duffus, 1983).

El ZnO, ZnS, y Zn(CN)₂ son prácticamente insolubles en el agua. Su disponibilidad en el suelo se ve afectada con una serie de factores tales como el pH, contenido total de materia orgánica, sitios de adsorción, actividad microbiana, humedad, condiciones climáticas e interferencia entre el Zinc y otros macro y micronutrientes (Mortvedt, 1983).

En la planta actúa como componente de enzimas o como factor en la regulación de un buen número de ellas.

El hombre lo ingiere en concentraciones de 15 mg/día, por otro lado la dieta deficiente en Zn pueden afectar el crecimiento, la pérdida de sabor y en la etapa de postpubertad causa hipogonadismo y decremento en la fertilidad pero la ingestión de 2 g o más produce síntomas tóxicos. El Zn como ion es escasamente absorbido pero las sales ácidas son corrosivas a la piel y tracto gastrointestinal (Duffus, 1983).

2.4.15.5 Plomo (Pb): fisiológicamente no es un elemento esencial en los seres vivos, pero la concentración de este elemento en la actualidad es alarmante; entre las principales fuentes aéreas naturales están los suelos y los polvos de las rocas, los aerosoles volcánicos, meteorológicos y marinos, el humo de la madera y el tabaco. Los niveles de Pb en la superficie de los océanos varían de 0.20 a 0.35 mg/L (Mortvedt, 1983).

Es un elemento especialmente importante debido a su amplia utilización en una gran variedad de procesos industriales y su toxicidad aguda y crónica. Su resistencia a la corrosión atmosférica y a la acción de los ácidos, especialmente sulfúrico, hace que el plomo sea muy útil en la edificación, en las instalaciones de fábricas de productos químicos en tuberías y envolturas de cables. Las concentraciones en el ambiente se han elevado conforme se aumenta su uso.

Es relativamente abundante y se encuentra en aire, agua, suelo, plantas y animales. Sus fuentes naturales son la erosión del suelo, el desgaste de los depósitos de los minerales de plomo y las emanaciones volcánicas. Su proporción en la corteza terrestre es aproximadamente de 15 ppm (mg/Kg) y la cantidad total se estima en 3.8×10^{14} toneladas (Albert, 1995).

En lo que se refiere a las fuentes antropogénicas están: la producción de acumuladores y baterías, pigmentos, insecticidas, explosivos, reactivos químicos, soldaduras, aditivos antidetonantes para gasolina, alfarería decorativa vidriada en hoja metálica y en barro, cubiertas protectoras de rayos X, tuberías, entre otros.

Hoy en día la mayor parte del plomo que se encuentra en las aguas proviene de las emisiones de vehículos automotores, llega a la atmósfera y precipita a los cuerpos acuáticos. En las ciudades, el transporte se lleva a cabo por la lluvia y las aguas negras (100-500 $\mu\text{g/l}$ en áreas industriales) y estas últimas son utilizadas para el riego y de esta forma se deposita en el suelo (Boon, *et al.*, 1992).

Prácticamente no existe en las aguas naturales; cuando se encuentran es por corrosión o por vertimiento de desechos industriales. Las aguas de minas y los desechos industriales de galvanoplastia son las fuentes más comunes de contaminación de los abastecimientos del agua cruda. En la mayoría de los casos su presencia en el agua se debe al contacto con tuberías o compuestos sellantes que lo contienen. Las características del agua son las que determinan su capacidad para disolver al plomo. Las aguas de origen natural, son sumamente ácidas o que contienen grandes cantidades de bióxido de carbono y pocos bicarbonatos de Ca y Mg, tienen la capacidad de disolver cantidades considerables de este. El contenido orgánico de las aguas ácidas incrementa también su solubilidad (ASTM, 1991).

Su presencia es de gran interés primordialmente en los abastecimientos de agua potable, debido a que este metal es tóxico para los humanos y su efecto es acumulativo (Sheppard, 1987).

Se sabe que afecta adversamente a todos los organismos, en concentraciones de 0.1 a 0.5 mg/mL, este elemento retarda la ruptura heterolítica de la materia orgánica.

Una vez que ha llegado al suelo permanece ahí indefinidamente y sólo una pequeña parte es transportada por la lluvia. Por ello el suelo es uno de los principales depósitos de este contaminante.

En suelos las concentraciones de este elemento varían de 2 a 200 µg/g, mientras que en suelos de sitios urbanos, su concentración llega a ser extremadamente elevada.

Las plantas que crecen en suelos contaminados por este elemento tienden a concentrarlo sobre todo su sistema radicular (Albert, 1988; Duffus, 1983).

Cuando es depositado en el suelo en forma soluble, es captado por las raíces, donde se almacena, dada su escasa movilidad, mientras que la contaminación atmosférica daña directamente las partes aéreas de las plantas, especialmente las hojas. De esta forma, por doble vía, raíz y hoja, las plantas pueden alcanzar niveles tóxicos de plomo. Se requieren concentraciones relativamente altas de este elemento para provocar toxicidad en las plantas. Se señalan valores de 1,000 ppm en el suelo para que se resienta el crecimiento de las plantas.

No obstante, su peligro estriba en el fenómeno atmosférico y es absorbido por la planta y el resto formando depósitos sobre su superficie, lo que constituye una grave amenaza de contaminación para los herbívoros al ingerir estos depósitos superficiales en las hojas (Barceló y Poschenrieder, 1989).

El plomo se transporta por sangre y en un principio se distribuye uniformemente en todos los tejidos y órganos; después se redistribuye gradualmente en la sangre y tejidos blandos. Los huesos son el principal compartimento en donde se almacena; alrededor del 90% de Pb ingerido pero que no es absorbido se elimina en las heces. De la cantidad absorbida un 76% aproximadamente se elimina por la orina, el resto a través del cabello, sudor y leche materna (Albert, 1995).

La mayor parte es absorbida por los glóbulos rojos y circula a través del cuerpo, pudiéndose concentrar inicialmente en el hígado y riñones, a continuación puede pasar a los huesos, dientes y cerebro. En los huesos, queda inmovilizado, y no contribuye a la toxicidad inmediata, pero es un peligro potencial, puesto que puede movilizarse durante las enfermedades con fiebre, como resultado de un tratamiento con cortisona. En la vejez sus efectos incluyen, dolor de espalda y

extremidades, dificultad para caminar, pseudofracturas y osteoporosis (ablandamiento de los huesos debido a la pérdida de minerales como calcio y fósforo) (Albert, 1988; Carson, *et al.* 1986, Duffus, 1983).

Las concentraciones en sangre asociadas con la intoxicación se encuentran en el intervalo de 80 a 100 $\mu\text{g}/100\text{ mL}$ y en ocasiones se han encontrado hasta 300 $\mu\text{g}/100\text{ mL}$ de sangre (Albert, 1988).

2.4.15.6 Cromo (Cr): se encuentra en la litosfera a una concentración promedio de 200 ppm y en los suelos en un rango de 5 a 1,000 ppm (Ortega, 1981). Se puede presentar en el agua en diferentes estados de oxidación; bajo condiciones fuertemente oxidantes puede pasar al estado hexavalente y presentarse como anión de cromato (Tiffin, 1983).

Entre las fuentes antropogénicas están la extracción de compuestos de cromo a partir de la cromita, la industria química, colorantes, pigmentos, plaguicidas, el cromado electrolítico o galvanoplastia, curtido de cueros y pieles, el uso de compuestos como mordientes en teñido de telas y otros usos menores como conservación de la madera, cerámica metálica, fotograbado, fabricación de cerillo, explosivos, linóleo, principalmente.

Además de las aplicaciones antes mencionadas, existen otras de menor escala, pero también importantes, como su uso en fungicidas, fertilizantes (superfosfatos) y detergentes.

En la actualidad, se usa en grandes cantidades y su producción mundial va en aumento; el quemado de combustibles fósiles como carbón y aceite aporta al ambiente de 50 a 1,400 toneladas de cromo por año, respectivamente.

Su forma hexavalente tiene un interés primordial en los análisis de agua, porque se utiliza como inhibidor de la corrosión; también es común encontrarlo en desechos industriales, en donde puede estar ya sea en forma trivalente, hexavalente o en ambas (ASTM, 1991); su forma pura se emplea muy poco en la industria, aparte de la fabricación de los aceros especiales; en cambio, sus derivados son muy utilizados. En las industrias químicas son los dicromatos los que más se emplean. El cromado electrolítico está muy generalizado y el curtido al cromo se utiliza mucho para los cueros y las pieles; las sales de cromo se emplean como mordiente para las pinturas y como colorantes.

Prácticamente es un elemento que no debe estar presente en el agua; cantidades de algunos mg de cromo son consideradas como útiles para el equilibrio del metabolismo de la glucosa; ciertos autores indican que este metal tendría un efecto protector contra la arterioesclerosis.

Los mecanismos que intervienen en la absorción y translocación en las plantas no son bien conocidos debido, en gran medida, al desconocimiento de las formas iónicas presentes en los diferentes sistemas.

Hay pruebas, sin embargo, de que el Cr (VI) es reducido a Cr (III) entre las superficies de la raíz y parte aérea y que, independientemente de la forma en que se aplique, la mayor parte del cromo es retenido en las raíces (Wild, 1992).

Cuando sus compuestos se ingieren por largo tiempo causan irritaciones, úlceras, hepatitis, nefritis, erosión y color amarillo de los dientes. Al igual que otros metales se une a las proteínas y en las células del túbulo proximal del riñón y altera la filtración de proteínas. El 80% de los compuestos de cromo se eliminan por la orina y el resto por las heces, cabello, uñas y leche (Albert, 1988).

Ya que no es posible evitar su uso, es importante tomar en consideración la salud de los hombres que trabajan con los compuestos de éste y preocuparse por saber a dónde van a parar los desechos y a quién y a cuantos individuos podría afectar.

Una solución sería reducir su uso así como también exigir que las industrias se preocupen por tratar sus residuos antes de desecharlos al ambiente, así como proteger a los trabajadores (Albert, 1995).

2.4.16 Grasas y Aceites: es una determinación cualitativa de un grupo de sustancias con características físicas similares sobre la base de su solubilidad común en un disolvente, como los lípidos biológicos e hidrocarburos minerales. La presencia de estos contaminantes en cantidades excesivas pueden interferir en los procesos biológicos aerobios y anaerobios y reducen la eficiencia del tratamiento de las aguas residuales (APHA, 1992).

Son sustancias flotantes no miscibles o parcialmente miscibles que originan una reducción de la capacidad de reaeración al formar películas de superficie que impiden el contacto aire-agua y crean una demanda importante de oxígeno en su degradación. Muchas veces quedan retenidos por las plantas y algas en el propio terreno de las orillas del río ocasionando una mayor acumulación de sedimentos, a este fenómeno se le conoce como depósitos de borde de playa, los remansos colaboran con esta acción (Hernández, 1994).

La mayoría de estos productos son insolubles en el agua, pero pueden existir en forma emulsionada o saponificada. Según su mezcla con los hidrocarburos, dan un aspecto irisado al agua, así como un sabor y olor particulares (Rodier, 1990).

Ciertos componentes medidos por análisis de aceites y grasas pueden influir en los sistemas de tratamiento de las aguas residuales. Si se presentan en cantidades excesivas, pueden interferir en los procesos biológicos aerobios y anaerobios y llevan a reducir su eficiencia. Cuando son arrojados a las aguas

residuales o los efluentes tratados, pueden crear películas de superficie y depósitos de borde de playa que llevan a la degradación del ambiente. Es útil conocer la cantidad de aceite y grasa presente para el diseño y el funcionamiento adecuado de los sistemas de tratamiento (APHA, 1992).

Los contenidos superiores a 500 mg/L en las aguas residuales son susceptibles de provocar un ataque de hormigón por los ácidos grasos libres y pueden perjudicar considerablemente la explotación de las estaciones de tratamiento. Los disolventes orgánicos que son algunas veces sus asociados (tetracloruro de carbono, tricloroetileno, cloroformo) pueden perturbar la depuración biológica y la digestión de lodos (Rodier, 1990).

2.4.17 Cloruros: se encuentran en todas las aguas naturales en concentraciones muy variadas. Las corrientes de la Costa del Atlántico, la zona este de la costa del Golfo y en el noreste del Pacífico, por lo general, contienen menos de 25 mg/L de cloruro, excepto en la zona de mareas o en sitios contaminados. Las corrientes de las regiones áridas o semiáridas pueden contener varios cientos de mg/L de cloruro. El agua de mar contiene más o menos 19,000 mg/L de cloruro y otras aguas salobres llegan a contener concentraciones aún mayores.

Las concentraciones de cloro inferiores a 50 mg/L no tienen efectos perjudiciales en la mayoría de las aplicaciones industriales, y los abastecimientos de agua con concentraciones mayores se utilizan sin grandes problemas.

El contenido de cloruros en las aguas son extremadamente variables y se deben principalmente a la naturaleza de los terrenos por los que ha pasado esta agua. Habitualmente, el contenido del ion cloro de las aguas naturales es inferior a 50 mg/L, pero puede sufrir variaciones provocadas en:

- las zonas áridas, por un lavado superficial en caso de lluvias fuertes.
- las zonas industriales, por la contaminación debida a las aguas residuales.
- las zonas costeras, por las infiltraciones de agua de mar en los acuíferos.

El gran inconveniente de los cloruros es el sabor desagradable que dan al agua; aunque también son susceptibles de ocasionar una corrosión en las canalizaciones y en los depósitos, en particular para los elementos de acero inoxidable, en que los riesgos aumentan a partir de 50 mg/L. Además, para uso agrícola, los contenidos en los cloruros pueden limitar el desarrollo de ciertos cultivos (Rodier, 1990).

Las aguas con un alto contenido de cloruros aceleran la corrosión en la superficie de metales, están presentes (casi siempre en forma de cloruro de sodio) prácticamente en todos los cuerpos de agua. Algunas veces el cloruro puede encontrarse en combinación con magnesio o calcio, aunque si la concentración de estas sales es elevada, indica una contaminación debida al agua de mar,

salmueras o desechos industriales. Su concentración en aguas subterráneas varía desde unos cuantos miligramos por litro o menos, hasta varios miles de miligramos por litro; en muchas aguas industriales y en los abastecimientos de agua potable, pueden tolerarse cantidades razonables de cloruros.

Aunque el ion cloruro rara vez es causa directa de la corrosión, su tamaño es pequeño, sumamente móvil y acelera las reacciones de corrosión en proporción a su concentración, debido a su capacidad para penetrar e incrementar la velocidad de disolución del hierro y a su contribución al contenido de electrólitos.

La concentración de cloruros en el agua de proceso se mantiene invariable y esta propiedad hace que su análisis sea muy útil. Los análisis comparativos de cloruros, en comparación con los análisis de nitratos, se pueden aprovechar para indicar la contaminación del agua subterránea debido a los desechos de aguas negras (ASTM, 1991).

2.4.18 Fenoles: el término fenol incluye una muestra que contiene compuestos derivados como orto, meta y para, que se encuentran sustituidos por halógenos o por un grupo alquílico, aldehído, nitroso bencilo y ácido sulfónico.

El fenol se presenta como componente natural de las aguas residuales de las industrias del petróleo, gas, alumbrado de plantas de coque y procesos que comprenden el uso del fenol como materia prima, además de ser ampliamente usado como desinfectante. La presencia de estos compuestos en abastecimientos de agua para la industria alimenticia y de bebidas es indeseable, debido a los problemas de sabor y olor resultantes, además estos compuestos son tóxicos en altas concentraciones.

El fenol y sus compuestos se oxidan difícilmente, se adsorben poco y filtran fácilmente; la descomposición de los productos vegetales, como la lignina; así como las aguas residuales industriales de celulosa, pueden conducir a la emisión de productos fenólicos. Estas sustancias también pueden aparecer por degradación de los pesticidas, fungicidas, herbicidas; además de un modo más limitado, puede tratarse de contaminación humana; la cantidad de los derivados hidroxilados vertidos diariamente por el organismo humano se evalúan en 200 a 300 mg (Rodier, 1990).

En la mayoría de los casos solo se tienen valores traza y serían de pocas consecuencias, pero en el agua potable que se somete a cloración incluso cantidades mínimas (1 $\mu\text{g/L}$) bastan para dar origen a un sabor muy desagradable. A concentraciones de miligramos por litro, los fenoles y los fenoles clorados tienen un efecto nocivo sobre los peces y otras formas de vida acuática.

El proceso de remoción, incluye una superclorinación, tratamiento con dióxido de cloro o cloramina, ozonización y absorción con carbón activado. El límite máximo permisible de fenol como sustancia tóxica en cuerpos receptores es de 0.001 ppm.

El contexto anterior señala la gran importancia que reviste el hecho de caracterizar adecuadamente los ríos de nuestro país para resolver la problemática que presentan las corrientes hidrológicas superficiales, ya que actualmente no existen sistemas hidrológicos que no presenten algún grado de alteración y con dificultades en su aprovechamiento, situación que de no ser considerada como prioritaria, se corre el riesgo de cancelar las posibilidades de alcanzar el desarrollo sustentable.

3. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

3.1 Localización.

El Estado de Hidalgo forma parte de la zona centro del país y cuenta con una superficie de 20,905.12 km². Se localiza al Norte 21°24', al Sur 19° 36' Latitud Norte, al Este 97° 58' y al Oeste 99° 53' de Longitud Oeste.

Colinda al Norte con Querétaro Arteaga, San Luis Potosí y Veracruz-Llave, al Este con Veracruz-Llave y Puebla, al Sur con Puebla, Tlaxcala y México, y al Oeste con México y Querétaro de Arteaga (INEGI, 1997).

Hidalgo esta integrado por 84 municipios, entre los cuales se encuentra el municipio de Tizayuca, ubicado entre los 19°50' de Latitud Norte y 98°59' de Longitud Oeste, a una altitud de 2,260 msnm, contando con una superficie de 75.05 km². Corresponde al Distrito de Desarrollo Rural de Pachuca 064 (figura 1).

3.2 Topografía

El territorio estatal está constituido por cadenas montañosas, lomerios y llanuras, aunque también hay algunos valles, mesetas y cañones; la Sierra Madre Oriental comprende toda la porción boreal de la entidad, en ella se encuentra la Huasteca Hidalguense con suelos fértiles propicios para actividades agropecuarias, existe el paisaje semiárido del flanco occidental de la sierra pasando por bosques templados de las partes altas y selvas perennifolias de las laderas orientales. La Sierra Madre es surcada por los profundos cañones de los ríos Moctezuma y Amajac.

La Zona Austral forma parte del Eje Neovolcánico y está integrada por llanuras y lomerios semiáridos con algunas sierras diseminadas, destacando la de Pachuca, como una de las más importantes, ya que en ella se localizan los principales yacimientos de plata, oro, plomo, cobre y zinc.

El municipio de Tizayuca, pertenece a la provincia del Eje Neovolcánico en la subprovincia de lagos y volcanes del Anahuac con topografía de llanuras y lomeríos. En las llanuras la escasa precipitación no ha sido un obstáculo para la agricultura debido a la existencia de pozos o ríos, a partir de los cuales se obtiene agua para los cultivos, como el Río Papalotes, que es utilizado para el riego en la zona de estudio (INEGI, 1994).

3.3 Clima

De acuerdo con la clasificación climática de Köppen modificada por García, prevalece un clima semiseco-semifrío (Bs1k) con temperatura media anual de 14.5 °C y una precipitación pluvial de 531.4 mm (INEGI, 1995).

3.4 Suelo

El suelo que predomina en la zona es Feozem calcárico de textura media y fase dúrica (duripan a menos de 50 cm. de profundidad), seguido de Feozem ócrico, y por último Litosol. El uso de suelo está orientado hacia la agricultura de riego y de temporal, así como pastizal inducido.

La posibilidad de uso del suelo es de agricultura mecanizadas continua, con zonas de aptitud de labranza alta y media; con desarrollo de cultivos medios y altos así como con zonas de aptitud de riego alto, medio y bajo. Tienen posibilidad de uso pecuario por alto desarrollo de especies forrajeras, y en el establecimiento de pastizal cultivado y con una movilidad alta en el área de pastoreo; la condición de la vegetación natural aprovechable es regular. Finalmente no existen posibilidades de un uso forestal (INEGI, 1994).

3.5 Hidrología

Los principales ríos de la cuenca son: el de las Avenidas de Pachuca, que se origina en la Sierra del mismo nombre y desemboca en forma artificial a la presa "El Manantial" y posteriormente continua al río "Papalotes", que se inicia en la planicie de Irolo y se une al anterior de la zona de Mogotes y continua hasta llegar a la Laguna de Zumpango.

El régimen hidrológico de los arroyos está condicionado a las características hidrogeológicas del área. Así, los arroyos que drenan rocas poco permeables traducen directamente los episodios lluviosos y se presentan caudales torrenciales de gran irregularidad, con periodos de estiaje muy marcados.

El escurrimiento que drena terrenos más permeables tiene un caudal de base más constante que desaparece lentamente al entrar a la planicie y conforme disminuye el drenaje del agua de lluvia. Posteriormente, fluye de nuevo al llegar la lluvia; el río Papalotes, en la temporada seca, es utilizado para riego, sin recibir tratamiento previo. El riego se lleva a cabo a través de canales naturales, en la estación de lluvias la mezcla del agua residual más la pluvial, fluyen en el río y en su recorrido parte del agua se infiltra o se evapora en la planicie (Investigaciones Geográficas, 1993).

Figura 1. Localización de la Zona de Estudio



4. JUSTIFICACIÓN

El hombre en su afán de desarrollo ha provocado el *desequilibrio de la naturaleza*, trayendo consigo alteraciones que han repercutido en todos los niveles ecológicos. La civilización moderna ha progresado gracias al gran avance de la ciencia y la tecnología, pero actualmente las industrias son una de las principales fuentes de contaminación en el mundo.

Hoy en día la contaminación de los cuerpos acuáticos es un problema que debe tomarse en cuenta debido a que la calidad del agua está en función de su utilización, y se define por un determinado número de parámetros cualitativos y cuantitativos.

En México se cuenta con volúmenes de agua suficientes para satisfacer las demandas de abastecimiento de todos los sectores, pero el *creciente deterioro en la calidad del recurso hídrico*, debido a la contaminación por descargas de aguas residuales sin tratar, limita sus posibilidades e incrementa sustancialmente el *riesgo de afectar la salud pública y el ambiente*. También se encuentra residuos peligrosos procedentes de las descargas industriales, plaguicidas y fertilizantes provenientes de las aguas de escurrimiento agrícola.

Aún cuando existe una reglamentación para la protección de los cuerpos acuáticos, esta no es suficiente, y a la fecha estos cuerpos se siguen contaminando y la calidad del agua continúa decreciendo en forma acelerada, aumentando los *riesgos a la salud*, ya que en el agua se encuentran presentes sustancias tóxicas y gran cantidad de microorganismos patógenos (CENAPRED, 1995).

Desafortunadamente la contaminación ha superado las medidas adoptadas por el *hombre para combatirla*, pues avanza día a día y en forma continua; este proyecto de investigación tiene como objetivo analizar el agua vertida al Río Papalotes, en el Municipio de Tizayuca, Hidalgo; el cual tiene *claramente definida la zona industrial, urbana y agrícola*, y sin embargo el deterioro en la calidad de agua destinada al uso agrícola es evidente después de que pasa por la zona urbana y posteriormente es mezclada con el agua residual de tipo industrial; a pesar de ello es empleada para el riego agrícola de diversas especies forrajeras de la zona.

Otro problema es el uso excesivo de estiércol en la zonas agrícola, lo que en algunas partes este exceso ha perjudicado la *productividad de los suelos destinados a la agricultura*.

La situación que prevalece en esta región es crítica, debido a las constantes descargas industriales; domésticas y de la cuenca lechera las cuales involucran volúmenes muy grandes de contaminantes tóxicos, lo cual repercute de una manera negativa en esta zona; impidiendo así la disponibilidad de agua de mejor calidad, lo cual ha conducido a la práctica común y extensiva de regar zonas agrícolas con ellas, sin que existan estudios previos de su calidad que evalúen el impacto que tienen en el agroecosistema. Esto suele ser muy peligroso por la acumulación existente de contaminantes en el suelo, que pueden ser incorporados a los cultivos, afectando la cadena natural suelo-planta-hombre; alterando también las propiedades del suelo y el desarrollo de las plantas (Gordillo, 1991).

5. HIPÓTESIS

Si se conoce el grado de contaminación de las aguas del río Papalotes y sus posibles fuentes contaminantes, en el transecto del Municipio de Tizayuca, Estado de Hidalgo al Municipio de Zumpango, Estado de México, será posible proponer alternativas para el mejoramiento de su calidad.

6. OBJETIVOS.

6.1 Objetivo General

Realizar la caracterización física, química y bacteriológica en cuatro estaciones de monitoreo del río Papalotes en un ciclo anual (1996-1997) en el transecto de Tizayuca, Estado de Hidalgo a Zumpango, Estado de México.

6.2 Objetivos Particulares

- ✘ Establecer las posibles fuentes de contaminación del río Papalotes.
- ✘ Cuantificar el estado actual de la concentración por Cu, Fe, Cd, Zn, Pb y Cr, Cloruros, Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM), Grasas y aceites, fenoles, DBO, DQO, coliformes totales y fecales, nitratos, nitritos, amonio, fósforo, dureza, acidez, alcalinidad, pH, temperatura, conductividad eléctrica y oxígeno disuelto, en las aguas del río Papalotes.
- ✘ Recomendar el uso de las aguas del río Papalotes de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-CCA-033-ECOL/93 y los Criterios de Calidad del Agua.
- ✘ Recomendar alternativas para la recuperación del río Papalotes.

7. METODOLOGÍA

7.1 Selección de sitios de muestreo

El muestreo se realizó en cuatro puntos diferentes, siguiendo el recorrido del Río Papalotes. Descripción de cada punto de muestreo.

1. **El Manantial:** En este sitio termina el Río de las Avenidas y prácticamente nace el río Papalotes; es una presa en la que se desarrollan actividades piscícolas y el agua se distribuye para irrigar la zona agrícola adyacente.
2. **Zapata:** Este sitio es el primero conforme se avanza en el transecto del Río Papalotes; presenta asentamientos humanos a lo largo de su cauce y cultivos de hortalizas, avena, cebada y maíz aledaños.
3. **Ladrillos:** La característica principal de este sitio de monitoreo, es que recibe todo el aporte de las aguas residuales domésticas provenientes de Tizayuca, además de la incorporación de la descarga industrial teniendo así una mezcla. A lo largo de este punto se encuentra una gran cantidad de estiércol que proviene de los establos de la región, en las zonas cercanas encontramos algunos cultivos de hortalizas y en las márgenes se observan cultivos de alfalfa y maíz principalmente.
4. **Industrial:** Este punto fue elegido por representar la descarga de las aguas residuales provenientes de Parque Industrial de Tizayuca, Hgo., que se incorpora al punto de monitoreo llamado Ladrillos, sin un tratamiento previo.

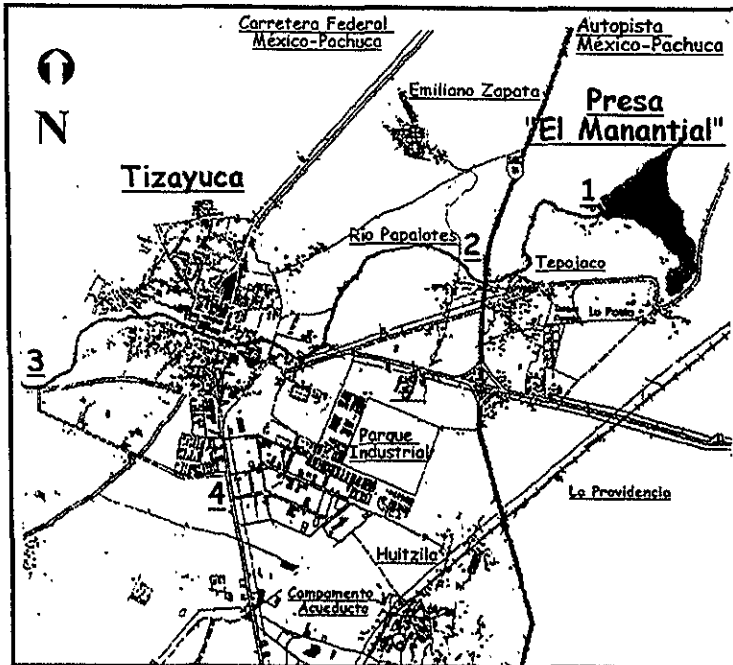


Fig. 2. Ubicación de los Puntos de Muestreo.

7.2 Monitoreo a cuerpo receptor

Para realizar el monitoreo a cuerpo receptor se consideraro la Norma Oficial Mexicana **NOM-AA-14-1980**. "Cuerpos receptores-Muestreo", que establece los lineamientos generales y recomendaciones para el muestreo en cuerpos receptores de aguas superficiales, excluyendo aguas estuarinas y marinas, a fin de determinar las características físicas, químicas y bacteriológicas.

Cuadro 5. Toma de muestra.

NORMA	PARÁMETRO
NOM-AA- 14-1980	Cuerpos receptores muestreo

De lo recomendado por esta norma se cuidaron los siguientes aspectos:

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

Los puntos de muestreo son representativos de las propiedades promedio del afluente. La muestra será tomada en el punto en que todas las componentes entraron en la línea de descarga teniendo el tiempo suficiente para mezclarse, se colectarán durante el período necesario para completar un volumen adecuado de manera que resultara representativo de la corriente en el sitio; al momento del muestreo se debe evitar la mayor parte de circunstancias aleatorias (lluvias, viento, sol y temperatura extremas).

Las muestras tomadas son simples, lo que permite conocer la concentración de los constituyentes del agua en el lugar y hora en que se toma la muestra.

La conservación de las muestras se realizó de acuerdo a lo mencionado en la Norma Oficial Mexicana recomendada para cada método.

El tipo de material que constituye el envase es de importancia capital para asegurar que la muestra no se va a contaminar con el mismo o que esté adecuadamente protegida contra contaminaciones o alteraciones externas.

Los materiales constituyentes del envase pueden contener cantidades pequeñas de impurezas y/o contaminantes para la muestra, las cuales pueden pasar a formar parte de ella por reacciones químicas, por desorción y lixiviación.

Se prefieren los envases de vidrio o los de plástico inerte como el polietileno o mejor el PTFE, politetrafluoroetileno conocido como Teflón.

Cuando se determinen constituyentes orgánicos en las aguas, no se recomienda el uso de envases de plástico; en particular, el material plástico puede ser poroso para ciertos compuestos orgánicos volátiles.

Los taponos de los envases no deben tampoco ser fuente de contaminación de la muestra. A menudo, es preciso lavar los envases con soluciones particulares para evitar la contaminación de la muestra.

Cuadro 6. Conservación de muestras (parámetros de campo)

Parámetro	Envase	Conservación	Tamaño mínimo de la muestra (mL)	Tiempo máximo de conservación recomendado / obligado
PH	P,V	Analizar inmediatamente	---	2 h / inmediato
Temperatura	P,V	Analizar inmediatamente	---	Inmediato
Conductividad eléctrica	P,V	Refrigerar	500	/ 28 d.
Oxígeno Disuelto	V, botella DBO	---	50	---

Cuadro 7. Conservación de muestras (parámetros de laboratorio).

Parámetro	Envase	Conservación	Tamaño mínimo de la muestra (mL)	Tiempo máximo de conservación Recomendado / obligado
DBO	P,V	Refrigerar	1 000	6 h / 14 d.
SAAM	P,V	Refrigerar	100	Ninguno / 28 d.
Dureza	P,V	---	100	analizar inmediatamente
Nitrato + Nitrito	P,V	Añadir H ₂ SO ₄ hasta pH < 2; refrigerar	200	Ninguno / 28 d.
Amonio	P,V	Añadir H ₂ SO ₄ hasta pH < 2; refrigerar	100	Ninguno / 28 d.
Fosfatos	V (A)	Para fosfatos disueltos, filtrar inmediatamente; refrigerar	100	48 h / N.C.
Coliformes totales y fecales	V	Analizar inmediatamente	---	inmediato
Acidez	P,V (B)	Refrigerar	100	24 h / 14 d.
Alcalinidad	P,V	Refrigerar	200	24 h / 14 d.
Fenoles	P,V	Refrigerar, añadir H ₂ SO ₄ hasta pH < 2	500	28 d.
Sólidos Totales	P,V	Refrigerar	---	7d / 2-7 d.
Metales				
Grasas y aceites	V, calibrado, de boca ancha	Refrigerar, añadir H ₂ SO ₄ hasta pH < 2	1000	28 d / 28 d.
Color	P,V	Refrigerar	500	48 h / 48 h.

Fuente: Standar Methods for the Examination of Water and Wastewater. 1992.

Para las determinaciones no señaladas en los cuadros 6 y 7, emplear envases de vidrio o plástico; refrigerar preferentemente durante su conservación y analizar lo antes posible. Refrigerar = Conservar a 4 ° C, en la oscuridad. P = plástico (polietileno o equivalente); V = vidrio; V(A) o P(A) = lavado con 1 + 1 HNO₃; V (B) = vidrio borosilicato; V(D) = vidrio, lavado, con disolventes orgánicos; N.C. = no considerado en la referencia citada, inmediato = analizar inmediatamente, conservación no permitida.

7.3 Análisis de las muestras

Los análisis de las muestras se realizaron de acuerdo a lo establecido en las siguientes Normas Oficiales Mexicanas.

Cuadro 8. Análisis de los parámetros de campo

NORMA	PARÁMETRO
NOM-AA-8-1980	Determinación del pH (potenciométrico)
NOM-AA-7-1980	Determinación de la temperatura (visual con termómetro)
NOM-AA-93-1984	Determinación de la Conductividad Eléctrica (Potenciométrico).

Cuadro 9. Análisis de los parámetros de laboratorio

NORMA	PARÁMETRO
NOM-AA-5-1980	Determinación de grasas y aceites (Extracción Soxhlet)
NOM-AA-12-1980	Determinación de Oxígeno Disuelto (Winkler-Azida)
NOM-AA-28-1980	Determinación de la Demanda Química de Oxígeno
NOM-AA-53-1980	Material Extractable con cloroformo
NOM-AA-36-1980	Determinación de alcalinidad/acidez, método Potenciométrico.
NOM-AA-39-1980.	Determinación de sustancias activas al azul de metileno. (Método colorimétrico del azul de metileno).
NOM-AA-42-1980.	Determinación del número más probable de coliformes totales y fecales (tubos múltiples de fermentación).
NOM-AA-50-1980.	Determinación de fenoles (Bipirina 4 Aminoantipirina).
METODO ESTANDAR	Determinación de cloruros (electrodo selectivo)
METODO ESTANDAR	Determinación de nitratos (ácido fenoldisulfónico).
METODO ESTANDAR	Determinación de nitritos (ácido sulfanílico)
METODO ESTANDAR	Determinación de Amonio (fenato)
METODO ESTANDAR	Determinación de fosfatos (fosfomolibdato)
METODO ESTANDAR	Determinación de Dureza Total (Complejométrico)
NOM-AA-28	Determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (incubación por dilución).
NOM-AA-12	
NOM-AA-17-1980	Determinación del color (Triestímulo)
NOM-AA-51-1980	Determinación de metales (Espectrofotometría de Absorción Atómica).

8. RESULTADOS

Cuadro 10. Estación de Muestreo "Presa El Manantial".

MESES DE MUESTREO, 1996

PARÁMETROS	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura (°C)	17.8	19.0	21.2	21.5	18.9	29.9	21.5	18.2	20.2
pH (Unidades de pH)	7.2	8.1	8.8	8.3	7.8	7.5	8.7	9.2	8.6
Alcalinidad (mg/L)	293.0	306.0	305.0	340.0	80.0	99.0	230.0	200.0	215.0
Acidez (mg/L)	10.0	7.0	7.0	8.0	17.0	15.7	88.0	250.0	300
Dureza (mg/L)	152.75	287.12	252.93	231.53	244.66	220.22	184.00	277.01	228.48
Conductividad Eléctrica (mS/cm)	0.04	0.01	0.04	12.000	7.500	7.580	5.480	5.340	7.400
Sólidos Totales (mg/L)	1,400	1,800	2,860	814	1,800	600	700	716	800
Sólidos Sedimentables (mL/L)	menos de 0.1	menos de 0.1	0.1	menos de 0.1	menos de 0.1	0.5	menos de 0.1	0.2	menos de 0.1
DBO ₅ (mg/L)	24.1	14.5	53.5	48.9	16.5	24.0	46.8	46.4	17.3
DQO (mg/L)	88.3	32.0	121.4	106.0	48.0	76.0	108.0	87.0	120.0
Fenoles (mg/L)	0.0436	0.0275	0.3659	0.0297	0.1617	NC	NC	NC	NC
Oxígeno Disuelto (mg/L)	5.52	6.99	0.73	9.93	7.29	8.0	12.55	5.59	7.69
Grasas y Aceites (mg/L)	2.2	6.8	5.6	1.2	2.5	2.1	2.0	2.5	2.5
SAAM (mg/L)	NC	0.02	ND	NC	0.1107	0.0484	0.1384	0.06923	NC
Hierro (mg/L)	0.1012	0.009	0.009	0.1488	0.1498	0.1488	NC	NC	NC
Cadmio (mg/L)	0.0016	ND	ND	ND	ND	0.0088	NC	NC	NC
Zinc (mg/L)	0.0052	0.0055	0.0055	0.0308	0.0308	0.0308	NC	NC	NC
Cromo (mg/L)	0.016	0.0048	0.0048	0.0048	ND	0.0048	NC	NC	NC
Cobre (mg/L)	0.0296	0.0280	0.0120	0.0156	ND	ND	NC	NC	NC
Plomo (mg/L)	0.0128	0.0152	0.0200	0.0308	0.332	0.0128	NC	NC	NC
Coliformes Totales (NMP/100 mL)	8,900	24,000	4,400	24,000	9,300	24,000	NC	NC	NC
Coliformes Fecales (NMP/100 mL)	100	710	280	200	300	110	NC	NC	NC
Nitratos (mg/L)	0.1465	NC	0.255	0.4395	0.5023	0.1779	0.2302	0.2511	0.0418
Nitritos (mg/L)	0.0098	0.0094	0.0007	NC	0.0133	0.0093	0.0035	0.0217	0.0115
Fósforo (mg/L)	NC	NC	0.091	0.2625	0.0487	0.5062	0.045	0.045	0.6
Amonio (mg/L)	14.23	ND	34.16	9.95	39.20	28.0	28.56	NC	NC
Cloruros (mg/L)	NC	84.22	89.49	115.81	NC	NC	100.0	109.49	115.8

- * = Rebase LMP NOM-CCA-031-ECOL/93.
- ** = Rebase LMP NOM-CCA-032-ECOL/93.
- *** = Rebase LMP de ambas normas.
- **** = Rebase LMP NOM-CCA-033-ECOL/93.

NC = No Considerado, ND = No Detectado.

Cuadro 11. Estación de muestreo "Zapata" en el Río Papalotes.

MESES DE MUESTREO, 1996

PARÁMETROS	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura (°C)	25.8	26.1	20.3	17.6	18.3	16.7	17.6	16.3	21.5
pH (Unidades de pH)	7.05	7.7	7.3	7.0	7.19	6.53	8.28	7.49	7.35
Alcalinidad (mg/L)	319.0	320.0	312.0	480.0	100.0	78.0	294.0	186.0	326.0
Acidez (mg/L)	29	10	49	38	45	66	30	75	80
Dureza (mg/L)	272.97	299.25	240.80	268.78	242.04	260.26	192.09	339.69	355.87
Conductividad Eléctrica (mS/cm)	0.03	0.08	0.03	14.810	8.010	11.230	7.090	7.730	9.540
Sólidos Totales (mg/L)	1,000	1,200	4,208	882	1,000	800	780	752	800
Sólidos Sedimentables (mg/L)	0.1	menos de 0.1	0.4	0.7	0.1	0.4	0.3	0.3	menos de 0.1
DBO ₅ (mg/L)	98.44	40.5	82	59.5	14.64	102	72.8	22.17	25.18
DQO (mg/L)	200.0	184.0	220.8	117.76	69.6	204	200	42	120
Fenoles (mg/L)	0.0118	0.0458	0.4271	0.0054	0.03533	NC	NC	NC	NC
Oxígeno Disuelto (mg/L)	1.104	0.735	ND	ND	6.88	ND	6.48	6.48	4.05
Grasas y Aceites (mg/L)	2.4	3.0	5.7	1.9	2.7	2.8	2.5	2.2	2.0
SAAM (mg/L)	NC	0.027	0.06	NC	0.0415	0.5053	0.2076	0.18	NC
Hierro (mg/mL)	0.1888	0.1999	0.1999	0.04325	0.04557	0.4679	NC	NC	NC
Cadmio (mg/L)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	NC	NC	NC
Zinc (mg/L)	0.009	0.0010	0.0010	0.0031	0.0028	0.0035	NC	NC	NC
Cromo (mg/L)	0.0048	0.016	ND	0.0048	ND	ND	NC	NC	NC
Cobre (mg/L)	0.0324	0.0408	0.0024	0.0296	0.0084	0.0024	NC	NC	NC
Plomo (mg/L)	0.0128	0.0064	0.028	0.0244	0.0332	0.022	NC	NC	NC
Coliformes Totales (NMP/100 mL)	8,900	24,000	3,800	24,000	4,700	24,000	NC	NC	NC
Coliformes Fecales (NMP/100 mL)	100	1,500	300	110	280	300	NC	NC	NC
Nitratos (mg/L)	0.1674	NC	0.1046	0.1151	0.3139	0.1883	0.3720	0.1883	0.0523
Nitritos (mg/L)	0.0012	0.0001	0.0035	NC	0.0150	0.0066	0.0007	0.056	0.0064
Fósforo (mg/L)	NC	NC	0.086	0.3	0.067	0.4125	0.0431	0.045	0.06375
Amonio (mg/L)	21.59	ND	49.28	35.2	52.92	36.96	30.24	NC	NC
Cloruros (mg/L)	NC	98.49	94.75	193.72	NC	NC	113.7	121.07	125.2

* = Rebasa LMP NOM-CCA-031-ECOL/93

** = Rebasa LMP NOM-CCA-032-ECOL/93.

*** = Rebasa LMP de ambas normas.

**** = Rebasa LMP NOM-CCA-033-ECOL/93.

NC = No Considerado, ND = No Detectado.

Cuadro 12. Estación de muestreo "Ladrillos" en el Río Papalotes.

MESES DE MUESTREO, 1996

PARÁMETROS	Marzo	Abnl	Mayo	Junio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura (°C)	23.5	24.2	26.3	22.6	20.9	22.9	16.6	18.6	22.6
pH (Unidades de pH)	7.52	6.5	7.36	7.4	7.6	7.3	8.83	8.3	6.58
Alcalinidad (mg/L)	1084	350	748	1120	400	392	977	900	759
Acidez (mg/L)	9	376	20	70	57	111	90	NC	172
Dureza (mg/L)	438.7	2,497.1	420.7	429.4	428.6	434.4	279.0	398.3	495.3
Conductividad Eléctrica (mS/cm)	20,4000 ***	0.07	12,900 ***	29,900 ***	30,200 ***	2,980 ***	13,620 ***	18,000 ***	28,200 ***
Sólidos Totales (mg/L)	2,000 **	8,400 **	10,410 **	1,750 **	3,200 **	3,000 **	2,402 **	2,714 **	2,400 **
Sólidos Sedimentables (mL/L)	5.5 .	40 .	39.0 .	13.5 .	10 .	14 .	13 .	12 .	8 .
DBO ₅ (mg/L)	1,290 **	280 **	756 **	964 **	574.6 **	210 **	895 **	813.5 **	810.4 **
DQO (mg/L)	2,484	600	1,564	1,932	1,230	1,200	1,200	1,800	1,840
Fenoles (mg/L)	2.291	29.1233	15.5324	7.7652	15.5324	NC	NC	NC	NC
Oxígeno Disuelto (mg/L)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Grasas y Aceites (mg/L)	5.6	6.7	9.6	7.6	7.3	7.2	7.2	6.8	6.5
SAAM (mg/L)	NC	0.12	0.116	NC	0.3323	0.36	0.5538	0.4153	NC
Hierro (mg/L)	0.2331	0.2221	0.2420	0.1453	0.1488	0.1498	NC	NC	NC
Cadmio (mg/L)	0.0032	ND	ND	ND	ND	ND	NC	NC	NC
Zinc (mg/L)	0.2987	0.2999	0.2768	0.0053	0.0062	0.0057	NC	NC	NC
Cromo (mg/L)	0.0104	0.0048	0.0104	ND	ND	ND	NC	NC	NC
Cobre (mg/L)	0.082	0.0280	0.0204	0.0296	0.0084	0.0028	NC	NC	NC
Plomo (mg/L)	0.02	0.0244	0.0308	0.0332	0.0088	0.0152	NC	NC	NC
Coliformes Totales (NMP/100 mL)	24,000 ****	24,000 ****	24,000 ****	24,000 ****	15,000 ****	24,000 ****	NC	NC	NC
Coliformes Fecales (NMP/100 mL)	1,100	4,800	2,400	2,400	1,500	2,400	NC	NC	NC
Nitratos (mg/L)	0.8790	NC	0.3244	0.1255	1.2558	0.3139	0.1444	1.4651	0.3139
Nitritos (mg/L)	0.0216	0.0049	0.0084	NC	0.0318	0.028	0.0073	0.028	0.252
Fósforo (mg/L)	NC	NC	0.375	0.610	0.080	0.4687	0.069	0.0543	0.75
Amonio (mg/L)	279.44	195.3	176.68	228.7	176.4	102.2	35	NC	NC
Cloruros (mg/L)	NC	160.03	171.61	227.4	NC	NC	303.2	341.12	357.79

* = Rebase LMP NOM-CCA-031-ECOL/93.

** = Rebase LMP NOM-CCA-032-ECOL/93.

*** = Rebase LMP de ambas normas.

**** = Rebase LMP NOM-CCA-033-ECOL/93.

NC = No Considerado, ND = No Detectado.

Cuadro 13. Estación de muestreo "Industrial" en el Río Papalotes.

MESES DE MUESTREO, 1996

PARÁMETROS	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura (°C)	21.9	23.1	31.0	22.6	21.8	20.0	23.7	20.6	24.2
pH (Unidades de pH)	7.2	6.5	8.74	8.8	8.9	6.67	9.13	8.33	7.8
Alcalinidad (mg/L)	525	470	442	724	300	181	775	1,090	1,398
Acidez (mg/L)	278	670	24	101	157	77	27	55	52
Dureza (mg/L)	382.1	2,950.1	309.5	398.5	562.1	340.3	380.1	424.6	410.4
Conductividad Eléctrica (mS/cm)	0.02	0.01	0.02	38.100	65,800	5,850	3,030	0.02	22,500
Sólidos Totales (mg/L)	2,600	10,600	25,500	2,474	7,600	7,000	6,922	2,264	3,080
Sólidos Sedimentables (mL/L)	12	25	32	14.5	17.5	24	16.5	14	15
DBO ₅ (mg/L)	1,584	650	1,190	506	568.6	408	1,795	206.07	1,216.2
DQO (mg/L)	2,906.9	1,300	4,284	1,012	1,530	3,400	7,000	2,200	2,480
Fenoles (mg/L)	155.3	26.21	0.3567	8.5428	22.52	NC	NC	NC	NC
Oxígeno Disuelto (mg/L)	0.736	ND	ND	ND	ND	2.4	0.8102	ND	ND
Grasas y Aceites (mg/L)	18.4	7.1	10	12.5	14.2	13.5	13.1	10.1	10.3
SAAM (mg/L)	NC	0.04	0.09	NC	1.1769	1.8	1.5230	0.6369	NC
Hierro (mg/L)	0.1707	0.1609	0.1728	0.222	0.2528	0.2499	NC	NC	NC
Cadmio (mg/L)	ND	0.0032	0.022	ND	ND	ND	NC	NC	NC
Zinc (mg/L)	0.1989	0.1532	0.1803	0.0065	0.0065	0.0052	NC	NC	NC
Cromo (mg/L)	0.0104	0.0104	0.016	ND	ND	0.0048	NC	NC	NC
Cobre (mg/L)	0.0440	0.448	0.0164	0.0028	0.0068	0.0028	NC	NC	NC
Plomo (mg/L)	0.0128	0.0308	0.0524	0.08	0.01	0.0432	NC	NC	NC
Coliformes Totales (NMP/100 mL)	24,000	11,000	24,000	24,000	7,100	24,000	NC	NC	NC
Coliformes Fecales (NMP/100 mL)	300	1,500	24,000	2,000	1,100	1,500	NC	NC	NC
Nitratos (mg/L)	2.51	NC	0.083	0.3767	2.9302	0.6906	0.9418	1.0465	0.3767
Nitritos (mg/L)	0.0021	0.0052	0.0385	NC	0.0262	0.0416	0.035	0.0087	0.035
Fósforo (mg/L)	NC	NC	0.206	0.6375	0.862	0.525	0.0487	0.0337	0.825
Amonio (mg/L)	165.2	53.2	41.44	103.3	60.76	36.4	66.64	NC	NC
Cloruros (mg/L)	NC	215.8	247.4	307.4	NC	NC	306.3	322.1	324.5

- * = Rebasa LMP NOM-CCA-031-ECOL/93.
- ** = Rebasa LMP NOM-CCA-032-ECOL/93.
- *** = Rebasa LMP de ambas normas.
- **** = Rebasa LMP NOM-CCA-033-ECOL/93.

NC = No Considerado, ND = No Detectado.

9. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para determinar la calidad del agua del Río Papalotes y las distintas modificaciones a lo largo de su cauce, se seleccionaron y ubicaron cuatro puntos de muestreo denominados:

- Estación 1 "Manantial".
- Estación 2 "Zapata".
- Estación 3 "Ladrillos".
- Estación 4 "Industrial".

El monitoreo se dividió en dos etapas época seca y de lluvia; los resultados obtenidos se analizan y discuten a continuación:

Temperatura

Época seca:

La gráfica 1 muestra las variaciones de temperatura entre las cuatro estaciones de monitoreo, en donde la variación es de 1 a 2 °C durante esta época. Los valores suelen ser más altos en época seca, debido a que no hay factor de dilución y con las temperaturas extremas que se presentan en la zona, el agua presenta una temperatura elevada. La mayor se registro en la Presa El Manantial, con un valor de 24.2 °C que acelera las reacciones químicas y biológicas y así disminuye el contenido de oxígeno disuelto, afectando la autodepuración de este cuerpo de agua. La temperatura más baja se presenta en la estación Zapata con 22 °C.

En la estación Ladrillos una temperatura elevada (23 °C) se acompaña de una modificación de la densidad (esta decrece cuando aumenta la temperatura), reduciendo la viscosidad, y hay un aumento de la tensión de vapor saturante en la superficie (evaporación), y una disminución de la solubilidad de los gases (oxígeno); debido a lo anterior en este punto de muestreo el oxígeno disuelto no se detectó y se encontró un número elevado de organismos patógenos como respuesta a la elevada temperatura; debido al ambiente favorable que se crea.

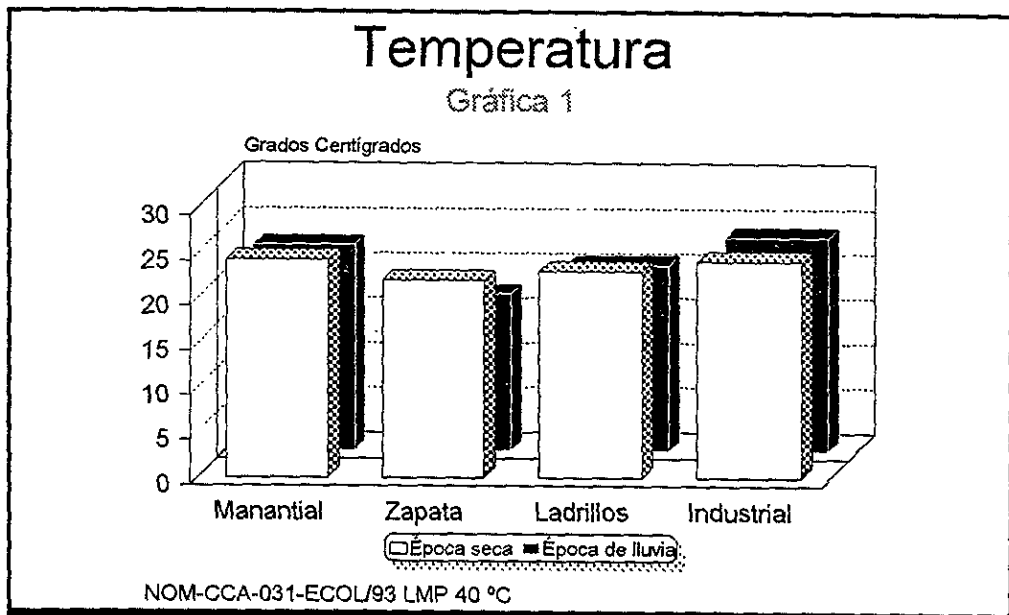
Época de lluvias:

La temperatura más alta durante este período se presenta en la estación Industrial, con 23.9 °C, esto se debe a que la cantidad de agua en esta estación es menor que en las demás, ya que se trata de una descarga que posteriormente se incorpora al río y la temperatura menor ocurre en la estación Zapata con un valor promedio de 17.5 °C.

Durante esta época la temperatura disminuye considerablemente de 3 a 5 °C en todas las estaciones, asociando el factor de dilución ya que al estarse incorporando agua de lluvia en los diferentes sitios de muestreo hay un descenso en la temperatura por la dinámica del mismo cuerpo de agua y las reacciones cinéticas.

Cabe resaltar que en ningún momento se rebasa el Límite Máximo Permissible (LMP) establecido por la NOM-CCA-031-ECOL/1993 que es de 40 °C.

Se considera importante la determinación de la temperatura debido a que influye en las estratificaciones térmicas, disminución de la solubilidad de los gases en el agua, aceleración de reacciones químicas y puede afectar la tolerancia de los microorganismos acelerando o disminuyendo su metabolismo (Stoker, 1981).



pH

Época seca:

Los valores de las estaciones Zapata (7.3) y Ladrillos (7.2) no se alejan de la neutralidad, le sigue la estación Industrial con valor de 7.7 la cual presenta un ascenso en el pH y por último en El Manantial con 8.3 donde el valor presente es alcalino; sin embargo estos valores de pH son compatibles con la vida de los peces ya que algunas especies pueden subsistir dentro de un intervalo de pH entre 5 y 9.

El valor superior a 8.0 que se encontró en época seca se debe a que en la Presa El Manantial el volumen del agua no logra un efecto de dilución llegando a rebasar en dos ocasiones el LMP de la NOM-CCA-032-ECOL/1993 con un valor que va de 6.5 a 8.5 y solo una vez es rebasado el LMP de la NOM-CCA-031-ECOL/1993 que presenta un rango de 6.0 a 9.0.

Época de lluvia:

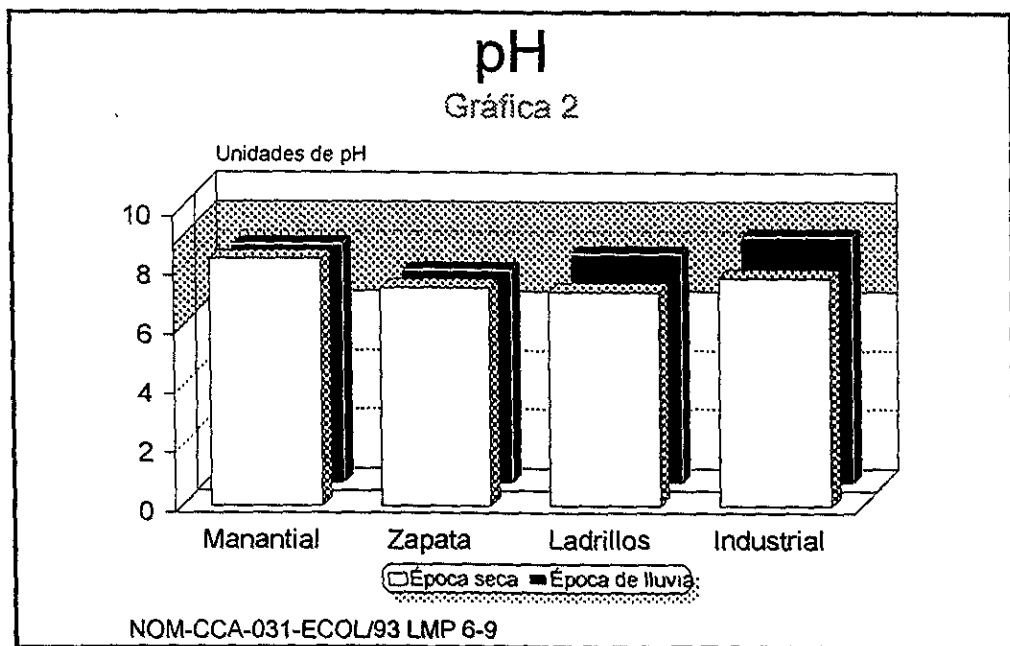
El pH se ve disminuido para El Manantial con un valor promedio de 8.1 y Zapata con un valor de 7.2, esto es por el gran efecto de dilución presente en estos puntos.

Por el contrario en la estación Ladrillos (7.7) e Industrial (8.3) el pH aumentó considerablemente por las descargas domésticas e industriales; está última se caracteriza por ser alcalina, llegando a rebasar el LMP de la NOM-CCA-032-ECOL/1993 (6.5-8.5).

Es importante vigilar el pH en el cuerpo de agua ya que su variación determina la disponibilidad de los nutrientes, afectando los mecanismos de adsorción y especiación de los metales en el suelo.

Por otro lado para que exista depuración biológica se necesita una adecuada actividad de enzimas de los organismos que habitan el agua, las cuales son activas en un rango muy estrecho de pH.

El pH compatible con la vida de los peces esta comprendido entre 5 y 9, los niveles letales se encuentran de 3.2 a 3.6 y de más de 9.8. El efecto más importante de los cambios de pH es sobre la toxicidad de algunos compuestos que no definen su grado de disociación y algunos metales contenidos en los sedimentos que se solubilizan y se convierten en compuestos tóxicos (De la Lanza Espino, 1990).



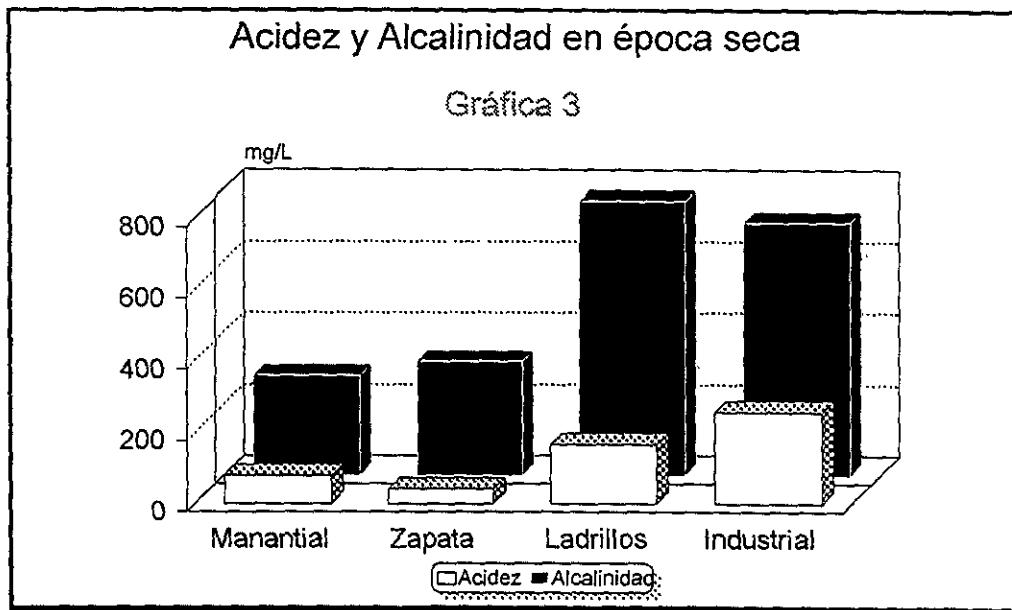
Acidez y Alcalinidad.

Respecto a estos parámetros no existen LMP reportados en las Normas Oficiales Mexicanas, ya que estos no están considerados. Pero es importante evaluarlos debido a que reflejan la capacidad de amortiguamiento que tiene una corriente de agua para soportar cambios bruscos de pH (Tebutt, 1990).

Época seca:

Los valores de alcalinidad y acidez se comportan de manera ascendente conforme se avanza en el transecto del Río, siendo los valores de alcalinidad los que sobresalen, manteniéndose la estación El Manantial y Zapata con diferencias entre sí, pero sin sobrepasar los 500 mg/L. Esta alcalinidad refleja las descargas provenientes de los poblados circundantes a estas zonas.

El valor más alto se presenta en la estación Ladrillos, la cuál recibe una descarga mezclada (aguas residuales domésticas e industriales) y la estación Industrial tiene una descarga netamente industrial proveniente de la producción de alimentos, caracterizadas por ser alcalinas.

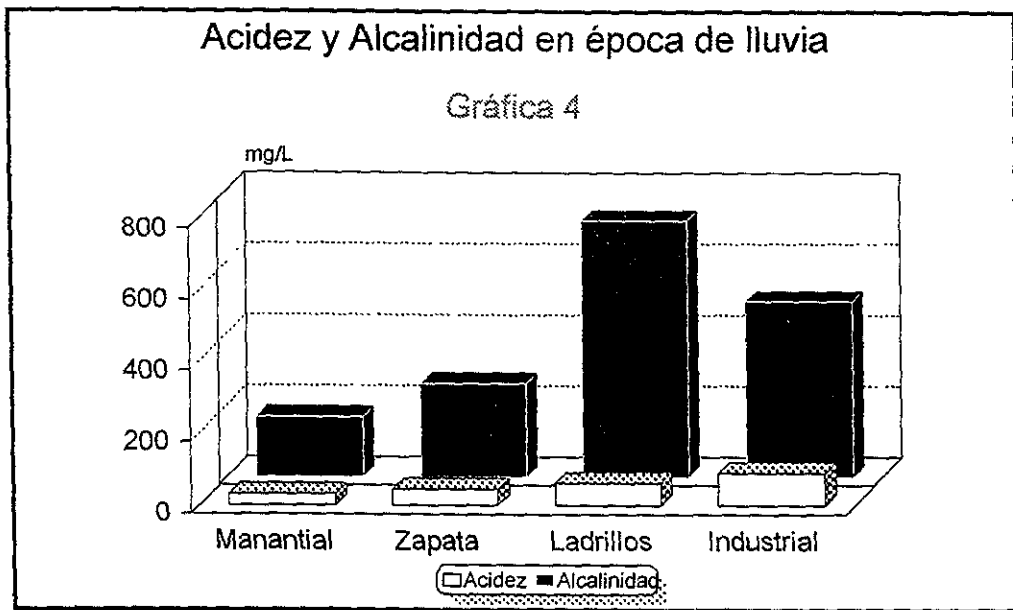


Época de lluvia:

La alcalinidad disminuye en las dos primeras estaciones, debido al efecto de dilución y al movimiento del agua; por lo cual las sales reaccionan con otros elementos que forman compuestos menos solubles y precipitan, pasando a formar parte de los sedimentos.

La acidez disminuye también de una manera considerable para las estaciones y en especial para las dos últimas; teniendo una mayor acidez la descarga industrial. El monitoreo de estos parámetros reflejan, de cierta forma, la cantidad de sales que se incorporan con el riego a las zonas de cultivo y que pueden modificar las propiedades del suelo.

Por otro lado los altos valores de alcalinidad alcanzados para ambas épocas sugieren que la capacidad de amortiguamiento de este río se está perdiendo debido al exceso de compuestos alcalinos provenientes de las descargas industriales.



Dureza

Época seca:

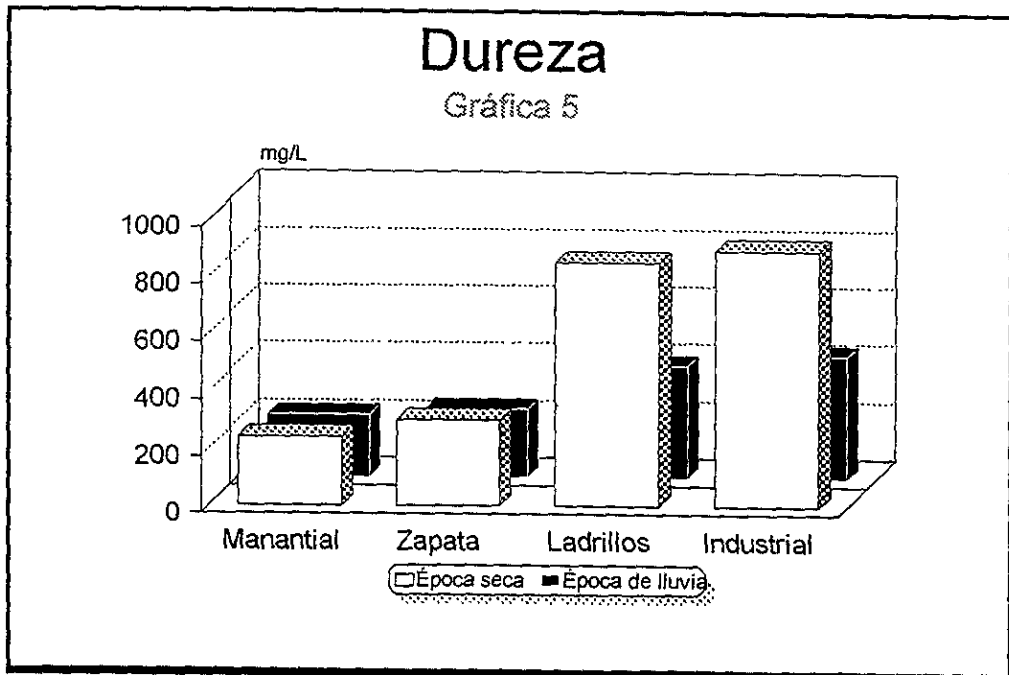
La concentración aumenta conforme se avanza en el recorrido del Río; la menor se presenta en El Manantial con un valor de 239.6 mg/L y la mayor para la estación Industrial con un valor de 895.3 mg/L, por lo que el agua de esta última estación y de Ladrillos no es apropiada para el uso ordinario.

Época de lluvia:

La concentración disminuye considerablemente en las estaciones El Manantial y Zapata se presenta un valor menor a 240 mg/L, en tanto que las estaciones Ladrillos e Industrial disminuyen su concentración drásticamente casi a la mitad del valor de la

época seca, alcanzando la estación Industrial un valor de 438.7 mg/L, lo que se debe al efecto de dilución.

En el transecto del Río Papalotes el agua presenta una dureza moderada en las estaciones El Manantial y Zapata, la cual se presenta ya muy dura para las estaciones Ladrillos e Industrial. Esto es un problema ya que se encuentran incrustaciones en forma de costras a lo largo del cauce del Río, lo que impide una completa remoción de sedimentos (Rigola, 1989).



Conductividad Eléctrica

Época seca:

La conductividad eléctrica en la época seca es menor a la reportada para la temporada de lluvia. De las cuatro estaciones monitoreadas El Manantial es el que presenta un valor menor de 2,548.0 mS/cm y el valor más alto es de 15,900.0 mS/cm que corresponde a Ladrillos; donde se presenta una enorme cantidad de sólidos presentes, que a su vez favorece la alta conductividad eléctrica.

La estación El Manantial, Zapata e Industrial rebasan los LMP de la NOM-CCA-032-ECOL/1993 la cual presenta un valor de 2,000 mS/cm.

Época de lluvia:

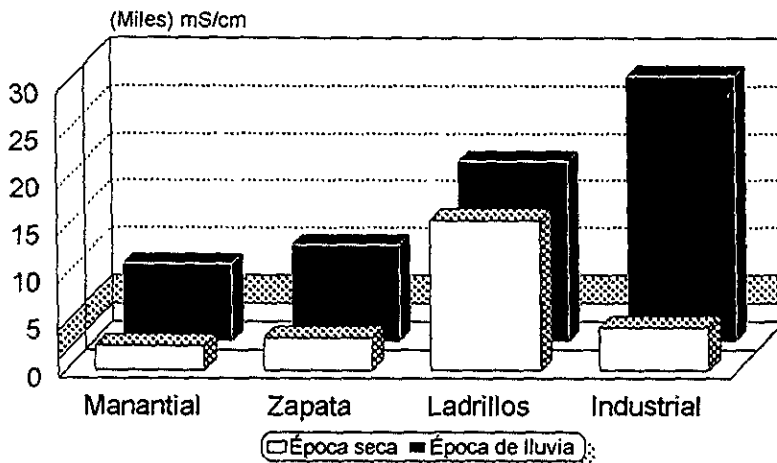
Los valores durante esta época se incrementan drásticamente en todas las estaciones, debido al tipo de actividad que se desarrolla en los sitios aledaños, que vierten sus desechos al cauce del río, o que son arrastrados por acción de los vientos y de las lluvias; destaca el desagüe de excretas de las letrinas y de los animales pastoreados en esta zona, que como característica principal de los organismos mamíferos es la eliminación de grandes cantidades de sales producto de su metabolismo natural, así mismo el lavado superficial del suelo por la acción de las lluvias arrastrando cantidades diversas de fertilizantes utilizados en los cultivos.

Las dos últimas estaciones presentan los valores más altos con 19,175.0 y 28,195.0 mS/cm, respectivamente. De esta forma las estaciones El Manantial, Zapata e Industrial en época de lluvia y la estación Ladrillos en ambas épocas, están rebasando el LMP de la NOM-CCA-031-ECOL/1993, cuyo valor es 5,000 mS/cm.

La C.E. del agua depende en gran parte de la cantidad de sólidos presentes, en particular los sólidos disueltos, de forma que cuanto mayor sea el contenido de sólidos mayor será la conductividad eléctrica. Las estaciones donde se presentan valores altos de acidez y alcalinidad también se asocian a valores altos de C.E. La elevada conductividad eléctrica que prevalece a lo largo del río sugiere que hay una gran cantidad de minerales disueltos, por lo que la calidad de esta agua a partir de la estación Ladrillos no se considera apta para el riego agrícola; sobre todo por el riesgo de salinización del suelo, durante la aplicación repetida de este tipo de agua.

Conductividad Eléctrica

Gráfica 6



NOM-CCA-031-ECOL/93 LMP 5,000 NOM-CCA-032-ECOL/93 LMP 2,000

Sólidos sedimentables y totales

Sólidos sedimentables en época seca :

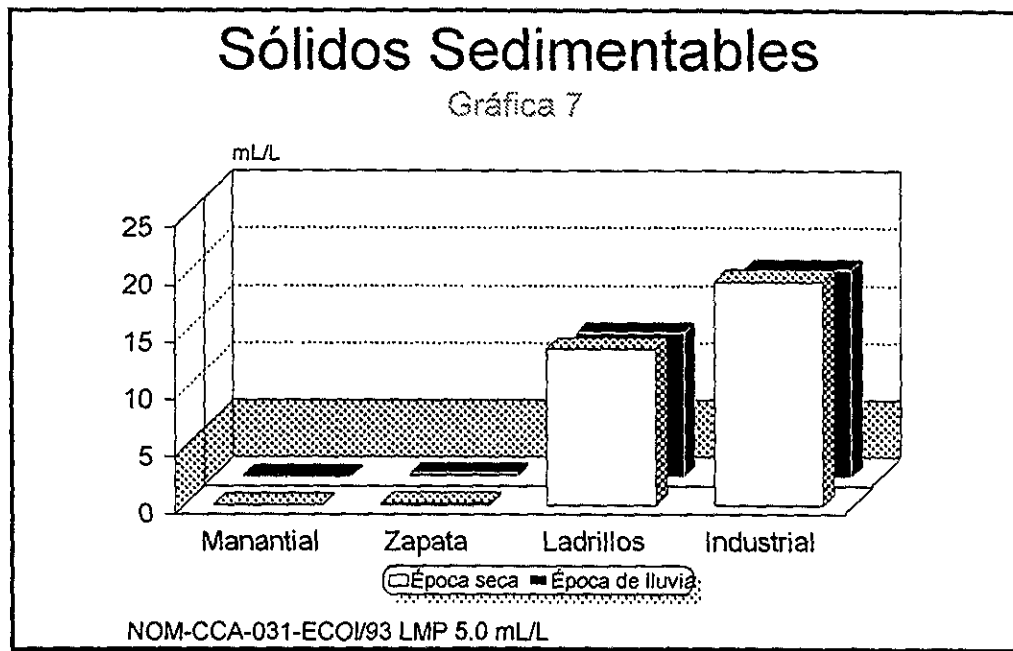
La estación El Manantial y Zapata (0.12 y 0.20 mL/L, respectivamente) se encuentran dentro de los LMP ya que presentan valores bajos de sólidos sedimentables, debido al efecto de dilución y a una concentración suficiente de oxígeno. El problema de contaminación por sólidos sedimentables no se manifiesta siempre y cuando el nivel de la Presa no impida la capacidad de soporte adecuada.

En cuanto a las estaciones Ladrillos e Industrial los valores se incrementan a 13.7 y 19.6 mL/L, que rebasan la NOM-CCA-031-ECOL/1993 cuyo LMP es de 5 mL/L.

Sólidos sedimentables en época de lluvia:

Durante esta época los valores de las estaciones El Manantial y Zapata aumentan ligeramente. Con respecto a la estación Ladrillos e Industrial los valores disminuyen pero siguen rebasando el LMP establecido por la NOM-CCA-031-ECOL/1993 debido a la gran cantidad de materia orgánica incorporada al río.

Los valores en las dos últimas estaciones son elevados para ambas épocas del año, lo que indica que hay un problema en sedimentos que impide el flujo en el Río, lo que limita la capacidad su purificación.



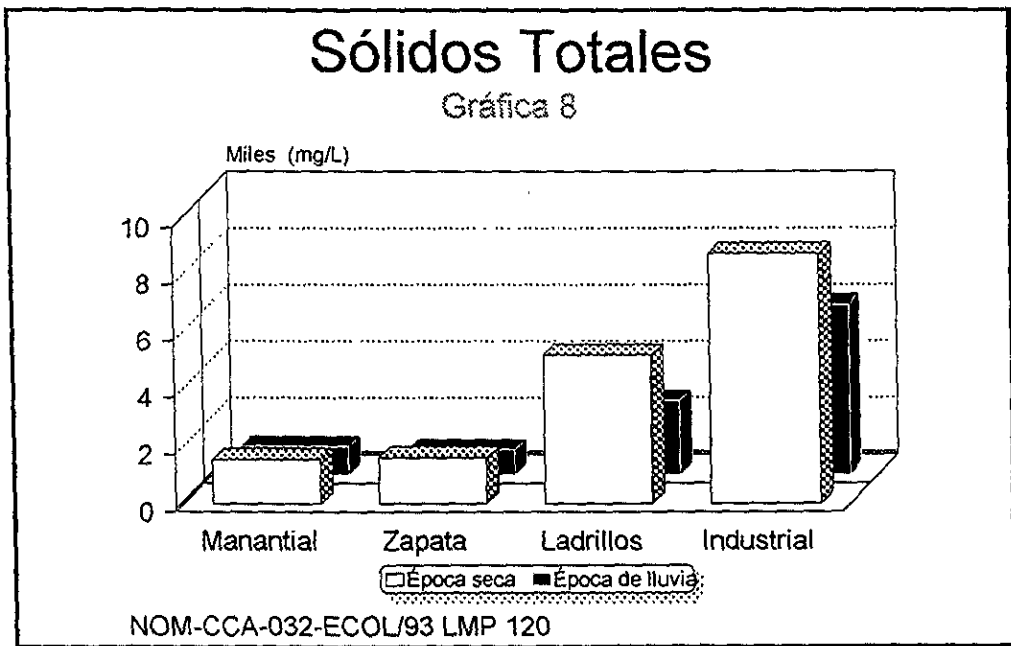
Sólidos totales en época seca:

Los valores para las cuatro estaciones se incrementan con respecto a la época de lluvia; estos tienden a aumentar conforme se avanza en el transecto del río el menor valor de 1,515.2 mg/L en la estación El Manantial y el mayor 8,808.8 mg/L en la estación Industrial; lo que se debe al gran aporte de materia orgánica al que esta sometido el río en este punto.

Sólidos totales en época de lluvia:

Los sólidos totales rebasan para las cuatro estaciones en ambas épocas los LMP de la NOM-CCA-032-ECOL/1993, la cual tiene un valor de 120 mg/L, cuya alta concentración denota que existe mayor cantidad de sólidos disueltos de origen industrial y del rastro ubicado a un costado del río.

La presencia de sólidos debe cuidarse en especial en las estaciones Ladrillos e Industrial, donde la presencia de sólidos flotantes muchas veces se acumulan en las orillas reteniendo otro tipo de sólidos y materia orgánica, obstruyendo y reduciendo el cauce del río, o existen sólidos de gran tamaño que se depositan en el fondo y ejercen el mismo efecto, evitando el adecuado intercambio de oxígeno y provocando condiciones anóxicas. En consecuencia, se esta provocando una eutroficación acelerada del río.



Oxígeno Disuelto (O.D.)

La determinación de Oxígeno Disuelto es importante en el control de la calidad del agua, ya que el efecto de una descarga de desechos en un río determina principalmente el balance de oxígeno en el sistema, generalmente una masa de agua se considera contaminada cuando la concentración de O.D. desciende del nivel necesario para mantener una biota normal, aproximadamente 4-5 ppm (Tebbutt, 1990).

Época seca

En la gráfica 9 se refleja el comportamiento de la concentración de Oxígeno Disuelto, el cual presenta una tendencia a disminuir al avanzar en el transecto, de la primera estación a la última. Durante los diferentes monitoreos realizados en la estación El manantial se obtuvieron grandes concentraciones de oxígeno disuelto durante esta época de 0.7 a 7.6 ppm, esta variación se atribuye a que el nivel del agua de la Presa disminuye y los aportes de materia orgánica se incrementan. Por lo tanto la capacidad de soporte de la Presa también disminuye, demandando así una mayor concentración de oxígeno. A pesar de los valores reportados, se encuentra en la literatura que los niveles óptimos para la crianza de peces ordinarios es de 2 mg/L de oxígeno (Tebbut, 1990), por lo que se considera posible el desarrollo de la acuicultura en la Presa.

En la estación Zapata se observa una concentración promedio de 3 ppm, lo que indica que no es posible mantener una biota normal; además de que se observó una gruesa capa de fitoplancton en este punto, por lo que es de suponer que es casi nulo el intercambio entre las fases agua-aire y esto hace una marcada eutrofización, por las altas cantidades de nutrimentos. En la estación Ladrillos el oxígeno disuelto no se detectó (ND), ya que en este punto ocurre una disminución del caudal del río y la presencia de una gran cantidad de materia orgánica proveniente de la cuenca lechera, demanda una gran cantidad de oxígeno e impidiendo el flujo en el río, sedimentándose y ocasionando una descomposición anaeróbica indeseable, debido a la generación de compuestos que por su naturaleza son más difíciles de degradar y provocan olores desagradables. La estación Industrial presenta 0.1 ppm de O.D.; que es bajo e indica que no hay depuración en este tramo del río debido a las descargas industriales.

Los niveles de O.D. en aguas naturales y residuales dependen de la actividad fisicoquímica y bioquímica del sistema. Su disponibilidad es el factor clave que limita la capacidad de autopurificación de una corriente, que es consumida por los organismos aerobios cuando utilizan los nutrimentos orgánicos; si existe una tasa mayor de organismos que O.D, este se gasta más rápido de lo que se puede reponer, por lo que el oxígeno disminuye considerablemente (Margalef; 1990), esto ocurre en la estación Ladrillos donde existe un mayor aporte de nutrimentos.

Época de lluvia:

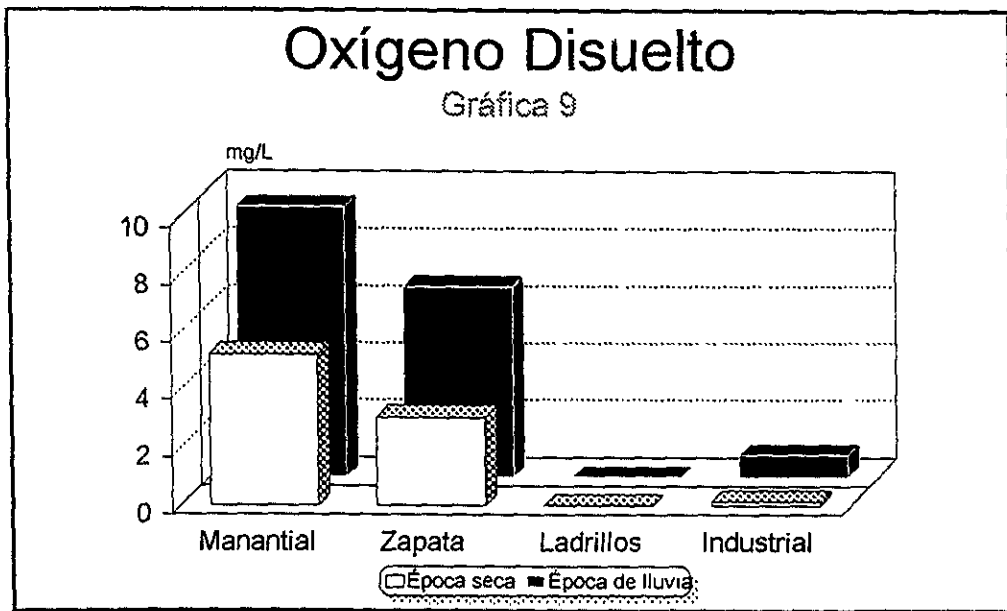
El promedio en la estación El Manantial es mayor de 9 ppm debido a la incorporación de una mayor cantidad de agua y por lo tanto una disminución en la temperatura, por lo

que el valor obtenido indica que las aguas superficiales están saturadas con O.D. y hay una buena autodepuración.

En la estación Zapata se observa una concentración promedio de 6.4 ppm, este valor aumenta conforme a la época seca; esto se debe a que existe una reoxigenación en el cauce del Río; ya que al encontrarse completamente llena la Presa El Manantial y salir el agua desde la compuerta, aumenta el caudal y la velocidad de flujo, incrementando la cantidad de O.D. en este punto. En la estación Ladrillos a pesar de presentar un mayor caudal que en la época seca, el O.D. no se detecta y su abatimiento se debe a la presencia de una alta carga orgánica necesaria de degradación, grandes cantidades de oxígeno lo utilizan las bacterias en su metabolismo y en reacciones oxidativas.

El valor de 0.8 ppm de O.D. de la estación Industrial, aumenta con respecto a la época seca, pero aún con este incremento no es suficiente para las funciones vitales de los organismos, los compuestos biodegradables lo utilizan para los procesos de oxidación es por eso que la concentración limita tanto la adaptación y desarrollo de peces como la sobrevivencia de otros organismos.

Conforme se avanza en el transecto del río a partir de la estación Ladrillos se presenta una elevada carga de residuos y por lo tanto los procesos anaerobios sustituyen a los aerobios, que dan origen a sustancias inestables tales como ácidos orgánicos, obteniéndose así una corriente maloliente y totalmente contaminada.



Grasas y aceites

Época seca:

Los valores obtenidos no rebasan los LMP de la NOM-CCA-031-ECOL/1993 que es de 60 mg/L.

En los meses más secos las estaciones El Manantial y Zapata obtuvieron un valor de 4.2 y 3.2 mg/L, respectivamente, menores a los reportados para las estaciones restantes. La presencia de grasas y aceites en la estación El Manantial se debe a que estas son arrastradas por la corriente del río de Las Avenidas de Pachuca, incrementado por el aporte de las actividades pecuarias que ahí se desarrollan.

En cuanto a la estación Zapata las grasas y aceites contenidas en sus aguas se favorecen por las actividades domésticas y de servicios del poblado de Tepojaco. La estación Ladrillos presenta un valor de 7.1 mg/L el cual se asocia a la incorporación de desechos de origen vacuno y residuos municipales de Tizayuca y del Parque Industrial.

Los 11.4 mg/L promedio reportados para la estación Industrial se deben a las descargas industriales que se vierten directamente al río sin pasar por un tratamiento previo o por trampas de grasas y aceites. Cabe mencionar que aquí se presenta el valor más alto obtenido durante esta época.

Época de lluvia:

Las dos primeras estaciones presentan un valor menor al reportado en época seca. En cuanto a las dos últimas estaciones, la tercera no tuvo un aumento considerable pero se deben vigilar los aportes de grasas y aceites, debido a que el agua del río se usa en los cultivos; lo cual puede afectar la respiración de las raíces y organismos del suelo, y en consecuencia una reducción en la provisión de agua y oxígeno para el crecimiento de las plantas, provocando un desarrollo limitado en la raíz y modificación en su morfología radicular.

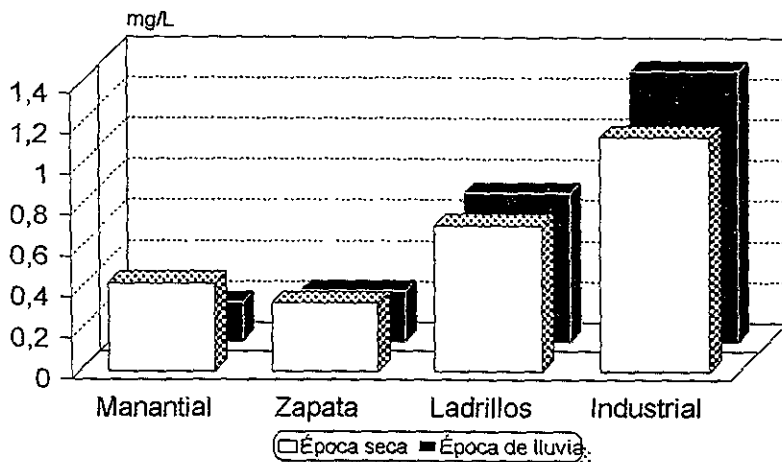
En la estación Industrial se registro 13.3 mg/L de grasas, que se debe a que el curso del río es más lento reduciendo y favoreciendo la acumulación de grasas y aceites y agotando el oxígeno disuelto existente.

Las altas concentraciones originan una reducción de la capacidad de oxigenación al formar películas en la superficie que impiden el contacto aire-agua y crean una demanda importante de oxígeno para la degradación de las grasas y aceites de origen animal y mineral. En cantidades excesivas, pueden interferir en los procesos biológicos aerobios y anaerobios, que llevan a reducir la eficiencia del tratamiento de las aguas residuales.

Las grasas y aceites se incrementan en el último punto del recorrido del río, provienen de los desechos de las industrias alimenticia, principalmente; en cuanto a las demás estaciones no se presenta ningún problema, considerándose relativamente bajos los valores, por lo que se puede hablar de una buena degradación.

Grasas y Aceites

Gráfica 10



NOM-CCA-031-ECOL/93 LMP 60 mg/L

Sustancias activas al azul de metileno (SAAM)

La prueba de SAAM no es específica para determinar sustancias tensoactivas, por que interfieren todos los compuestos solubles en cloroformo, capaces de formar una unión con el átomo de nitrógeno del azul de Metileno (sulfonatos, sulfatos orgánicos, carboxilatos, fosfatos y fenoles), sin embargo, representa de cierta forma la cantidad de detergentes presentes en la corriente, en especial los compuestos aniónicos.

Época seca:

Las concentraciones reportadas para este parámetro indican valores relativamente bajos para las cuatro estaciones; encontrándose un valor menor en la estación El Manantial con 0.0297 mg/L y un valor mayor con respecto a la estación Industrial de 0.2556 mg/L. Como se observa en la gráfica 11 los valores van ascendiendo conforme se avanza en el transecto del río, los aportes de estas sustancias en la estación El Manantial y Zapata son relativamente valores bajos, lo cual indica que en estos dos puntos hay un contacto aire-agua, por lo tanto una buena oxigenación, lo que permite que disminuyan las concentraciones de SAAM.

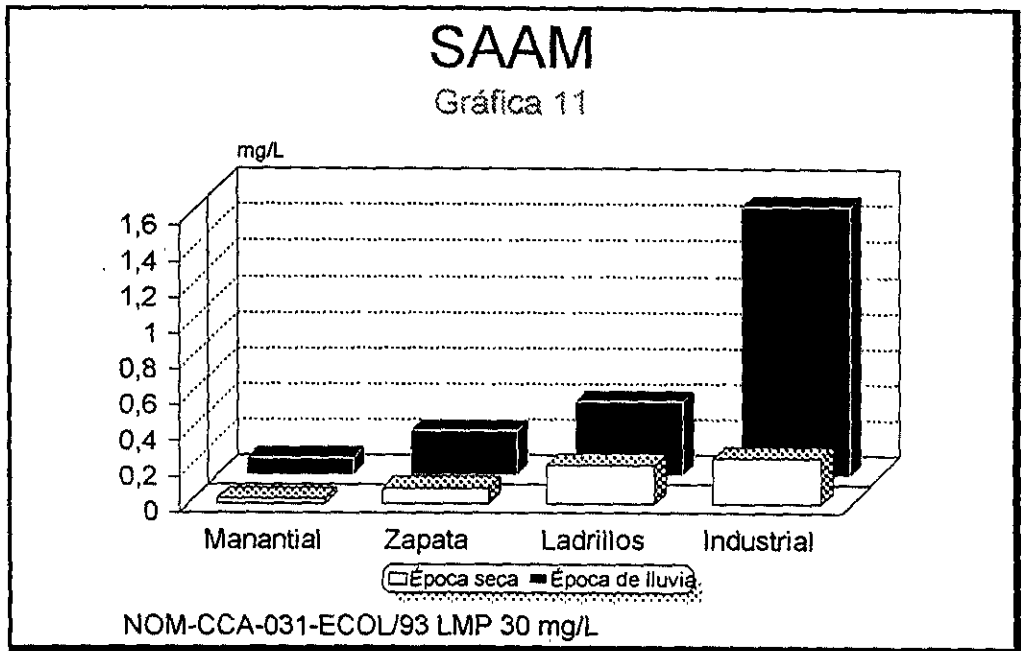
Época de lluvia:

Las concentraciones en todas las estaciones se elevan; los valores son más altos que en época seca ya que con la lluvia la corriente se enturbia por los escurrimientos y remoción de los sedimento donde son depositados.

La estación Industrial presenta el valor más elevado debido a que las grasas en presencia de sales alcalinas forman glicerinas y ácidos grasos, que al reaccionar con los álcalis forman sales alcalinas de los ácidos grasos, conocidas como jabones; estas sustancias formadas contribuyen en gran parte al problema de la formación de espuma, en particular de está estación, mismas que impiden el contacto aire-agua y por lo tanto no hay una buena oxigenación, en consecuencia facilita la disolución de sustancias que anteriormente no eran muy solubles, de esta forma se aumenta la sensibilidad del cuerpo receptor a ser contaminado.

Respecto a los resultados las concentraciones de SAAM en todas las estaciones no rebasan el LMP establecido en la NOM-CCA-031-ECOL/1993 cuyo valor es de 30 mg/L.

El uso de detergentes es cada vez mayor, ya que su concentración aumenta día con día en aguas superficiales. En sistemas acuáticos el daño radica en la adición de compuestos fosforados, produciendo un enriquecimiento de este nutrimento y consecuentemente una proliferación de especies nocivas, así como la modificación del equilibrio en la interfase agua-atmósfera (De La Lanza Espino, 1990).



Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

La DQO y la DBO₅ no tienen LMP establecido, sin embargo, están consideradas como condiciones particulares de descarga dentro de la Normatividad vigente, en este estudio son evaluados por ser indicadores importantes del grado de contaminación en los cuerpos receptores. Las aguas superficiales limpias normalmente están saturadas con Oxígeno Disuelto, pero el requerimiento por los desechos orgánicos puede consumirlo rápidamente.

La indicación del contenido orgánico de un desecho, se obtiene al medir la cantidad de oxígeno que se requiere para su estabilización (para la obtención de productos como CO₂, NO₃ y H₂O), con este fin, la DBO₅ indica la cantidad de oxígeno requerido para la respiración de los microorganismos responsables de la estabilización (oxidación) de la materia orgánica a través de su actividad metabólica en medio aerobio. Representa indirectamente una medida de la concentración de materia orgánica biodegradable contenida en el agua. Como consecuencia de una actividad biológica, la DBO₅ esta influenciada, principalmente por los factores tiempo y temperatura (Rivas, 1988).

La DQO refleja la cantidad de oxígeno que se requiere para degradar el contenido orgánico de un residuo, sea o no biodegradable, esto se debe a que muchos compuestos orgánicos oxidados por el dicromato no son oxidados bioquímicamente y que ciertos iones inorgánicos sulfuros (SO₂²⁻), sulfatos (S₂O₃²⁻), sulfitos (SO₂²⁻), nitritos (NO₂) y el ion ferroso (Fe²⁺), son oxidados en la reacción, lo cual significa que son valorados en DQO y sin embargo no son detectados en el ensayo de la DBO₅.

Esta prueba se basa en el hecho de que todos los compuestos orgánicos pueden ser oxidados a dióxido de carbono y agua mediante la reacción, en medio ácido, de agentes fuertemente oxidantes. Por esto, los valores de la DQO son mayores a los correspondientes de la DBO₅ de la muestra, y están en proporción a la mayor o menor cantidad de materia orgánica biológicamente resistente a ser oxidada (Rivas, 1988).

Época seca:

El Manantial presenta una DBO₅ de 31.2 mg/L que en realidad es un valor bajo, lo que indica que no se recibe ningún tipo de descarga doméstica ni industrial; por lo que este valor sugiere que el principal problema es de tipo orgánico y el O.D. presente en este punto logra una degradación importante de la carga orgánica.

La estación Zapata tiene un valor de 58.8 mg/L y también muestra la existencia de un problema orgánico pequeño que se debe al aporte de material vegetal de los cultivos aledaños, de la degradación de las plantas acuáticas presentes en este sitio y por los procesos de putrefacción de residuos animales.

La Estación Ladrillos presenta un valor de 789.9 mg/L, que se considera relativamente alto, como consecuencia de los problemas de contaminación que representa la materia

orgánica, cuyos niveles son tan grandes que el oxígeno presente en el agua no alcanza para oxidarla totalmente, lo cual provoca un mayor incremento.

En la Estación Industrial se presenta el valor más alto con respecto a las demás estaciones, con 952.2 mg/L, que indica que el problema en este sitio es de tipo inorgánico. En esta última estación existe una menor cantidad de carga orgánica en relación con la inorgánica, que sólo puede ser detectada en el ensayo de la DQO; la materia inorgánica (aportada principalmente por descargas industriales) incrementa sus valores, especialmente en la época de verano, donde el curso del río disminuye, propiciando una concentración de los desechos, tanto inorgánicos como orgánicos.

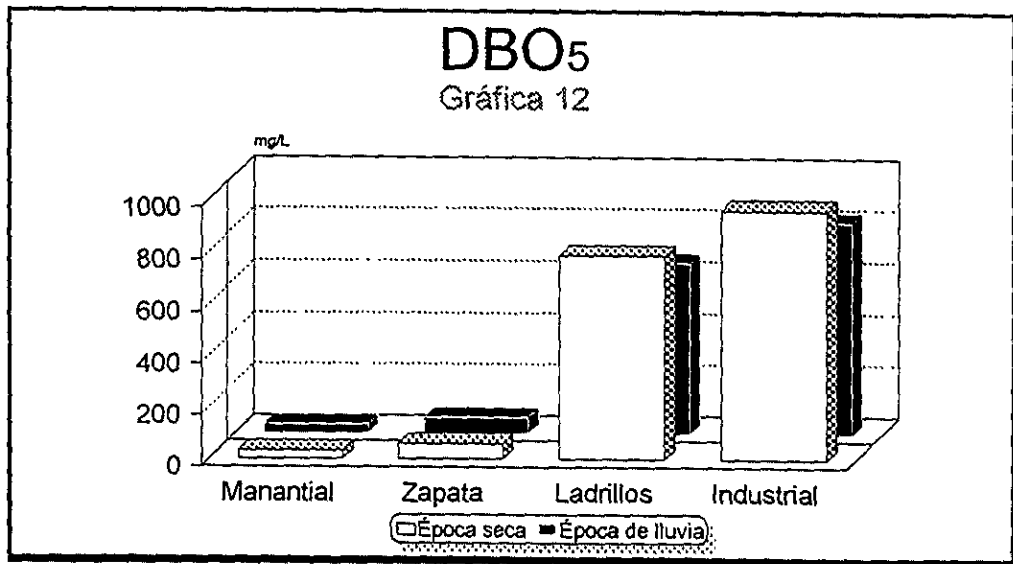
Época de lluvia:

En El Manantial el valor de 34.0 mg/L es más elevado que en época seca, debido al mayor aporte de restos orgánicos, asociado a un aumento en el caudal del Río Las Avenidas que arrastra hasta este punto la materia orgánica.

La estación Zapata presenta el problema de la presencia de una gruesa capa de fitoplancton en la superficie del río; lo que ocasiona un decremento en el nivel del oxígeno y por lo tanto una menor capacidad de degradación de la materia orgánica.

Las Estaciones Ladrillo e Industrial presentan valores menores con respecto a los encontrados en época seca de 660.9 y 819.4 mg/L. que se debe a un aumento en el caudal y un ligero incremento de oxígeno, que permite la degradación de la M.O.

Los valores obtenidos muestran que en este río la cantidad de oxígeno que se requiere para estabilizar la materia orgánica es muy elevado.



Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Época seca:

La Estación Manantial presenta un valor promedio de 89.7 mg/L, lo que indica que entre la DBO₅ y DQO no existe una gran diferencia, esto representa que el lugar donde nace el Río Papalotes está libre de algún tipo de descarga industrial.

La Estación Zapata tiene un valor de 153.3 mg/L con respecto a esta época presenta un valor mayor que en época de lluvia, en consecuencia a una disminución del caudal que impide el intercambio agua-aire.

La Estación Ladrillos tiene una DQO alta (16,457.6 mg/L) con respecto a la DBO₅ (789.9 mg/L); esta diferencia significativa indica que en este punto de muestreo se presenta una mezcla de descargas tanto domésticas como industriales, proveniente de la estación 4. Es justamente en esta estación donde se juntan las dos descargas y se mezclan a lo largo del río.

La Estación Industrial tiene un valor de 2,734.1 mg/L, que muestra claramente que en este punto se recibe una descarga netamente industrial.

Lo anterior significa que se requiere 16,457.6 mg/L de O.D., para que de manera natural no puede llevarse a cabo, por lo tanto tenemos un caudal en condiciones completamente anaerobias.

Época de lluvia:

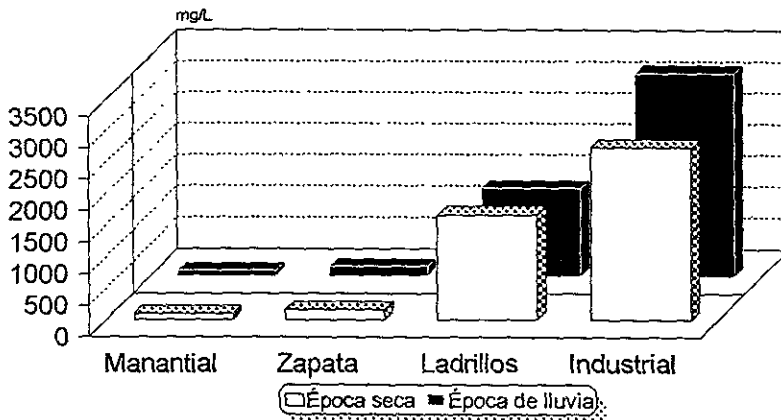
Durante esta época los valores en la estación El Manantial, Zapata y Ladrillos disminuyen en su DQO (84.5, 147.8 y 1,390.5 mg/L) a consecuencia de una mayor incorporación de agua, mayor caudal y por lo tanto una concentración de oxígeno disuelto que permite una degradación de tipo orgánico, dejando únicamente lo inorgánico.

En la última estación el valor alcanzó los 3,235.5 mg/L, más alto que en época seca, se debe a que la carga de tipo inorgánica aumenta considerablemente.

Estos resultados dan a conocer que el Río presenta una acelerada contaminación debido a las descargas de tipo doméstico y a las descargas industriales provenientes de la cabecera municipal de Tizayuca, que son vertidas sin ningún tratamiento previo (ver gráfica 13).

DQO

Gráfica 13



Fenoles

Época seca:

Las concentraciones de fenoles reportadas para esta época en las estaciones El Manantial y Zapata, son relativamente bajas con respecto a las últimas estaciones monitoreadas; ya que en áreas circundantes a ellas no se presentan industrias, además de que la descomposición de materia orgánica es mínima.

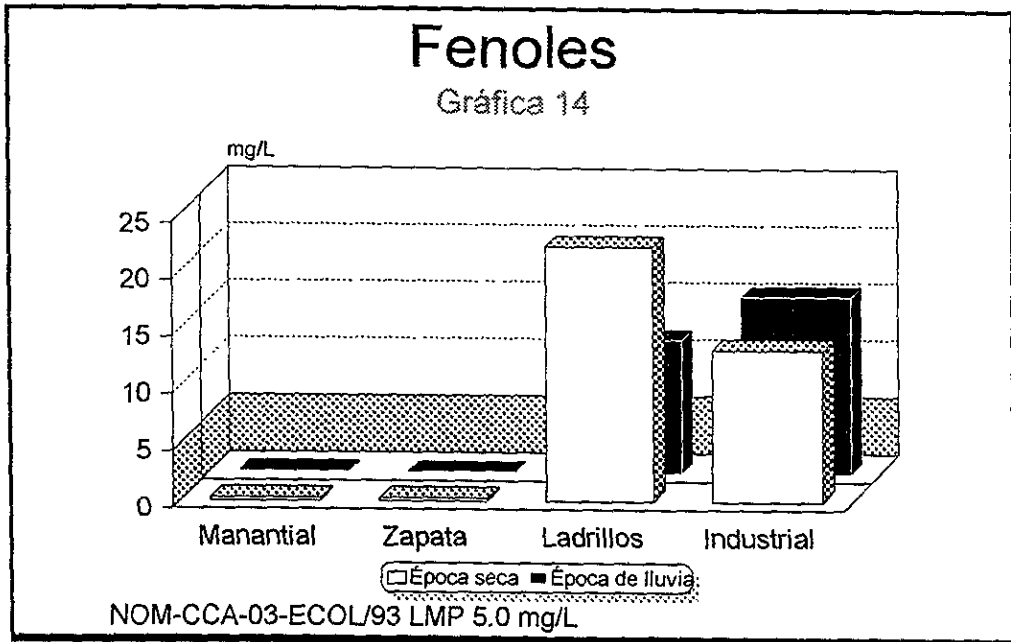
La estación Ladrillos presenta un valor de 22.3 mg/L, rebasa el LMP de la NOM-CCA-031-ECOL/1993 cuyo valor máximo es 5.0 mg/L, esto indica la presencia de altas concentraciones de materia orgánica aportada por los establecimientos ubicados cerca de esta estación, con una enorme descomposición de materia orgánica provocando una producción excesiva de fenoles.

Época de lluvia:

Las concentraciones de fenoles en las tres primeras estaciones se presentan más bajas durante esta época, disminuidas debido al factor de dilución.

La estación Industrial por el contrario aumenta en esta época, esto se da por la presencia de aguas coloridas, con olores particulares de disolventes orgánicos, entre ellos están los fenoles; provenientes de las descargas industriales de lácteos, alimentos, entre otras. Además de que el fenol causa problemas de sabor y olor, aunado a su toxicidad a altas concentraciones.

Las estaciones Ladrillos e Industrial en ambas épocas rebasan el LMP de la NOM-CCA-031-ECOL/1993; las concentraciones de fenoles en el Río Papalotes en los dos últimos puntos de muestreo son bastante elevadas, que puede estar asociado a la degradación de los pesticidas aplicados a los cultivos, además de la contaminación humana a la que esta expuesta este cuerpo de agua (Ver gráfica 14).



Cloruros

La concentración de cloruros en aguas naturales varía desde unos cuantos hasta varios miles de mg/L en aguas subterráneas.

En la Normatividad vigente no se han establecidos los valores permisibles para estos aniones, pero es importante evaluarlos debido a que resultan tóxicos a concentraciones elevadas.

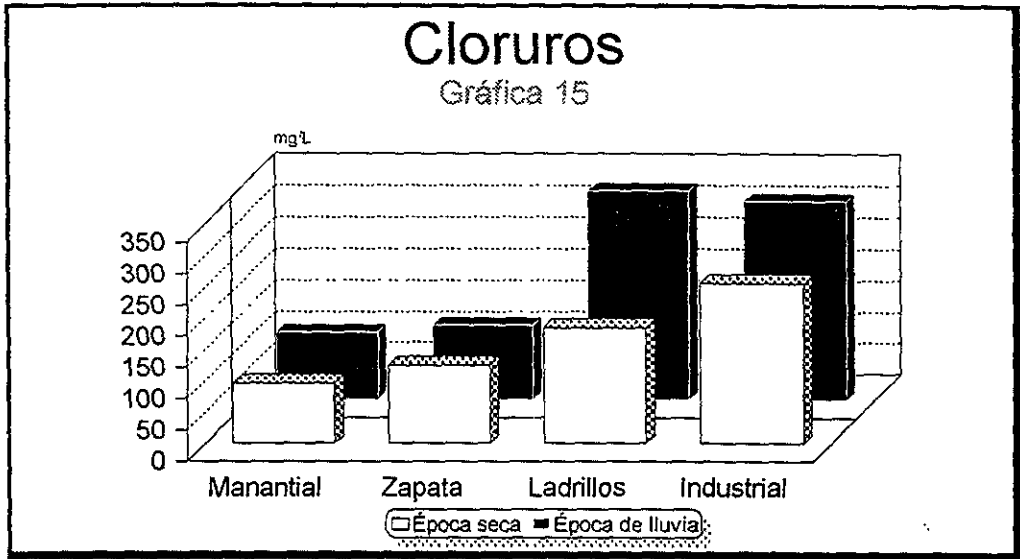
Época seca:

Durante este periodo las concentraciones de cloruros aumentan conforme al transecto alcanzando la estación industrial un valor de 256.8 mg/L; principalmente asociado a las descargas industriales aportadas a este punto.

Época de lluvia:

Aquí se observa que las concentraciones de cloruros aumentan; la menor es de 108.4 mg/L (Manantial) y la mayor presenta 317.6 mg/L (Industrial) a consecuencia del aumento del volumen del agua aumenta en esta época y provoca un efecto de dilución (ver gráfica 15).

El lavado superficial de los terrenos puede contribuir con cloruros, pero en mayor proporción se deben a una contaminación debida a las aguas residuales y esta agua rica en cloruros utilizada para el riego agrícola afecta negativamente a los cultivos ya que puede limitar su desarrollo.



Metales (Fe, Cd, Zn, Cr, Cu y Pb).

Son de las determinaciones que constituyen investigaciones más específicas debido a los efectos de contaminantes por fenómenos urbanos, industriales, petroquímicos, etc.; en donde sus elevadas concentraciones tienen efecto, y pueden poner en peligro a la biota acuática. Normalmente se encuentran los contenidos más altos en los sedimentos que en el agua, debido a los procesos de floculación con la materia orgánica y que son disueltos por cambios en el pH (De La Lanza Espino, 1990).

Época seca:

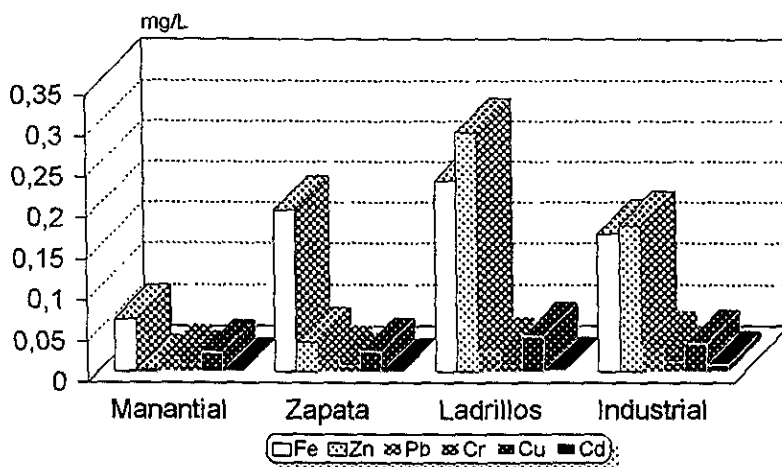
Durante esta época la mayor concentración de metales pesados se obtuvo para Plomo, que se encuentra en mayor abundancia en las estaciones Ladrillos e Industrial pero sin llegar a rebasar el LMP de la NOM-CCA-032-ECOL/93.

El Cobre, Hierro Zinc y Cromo son metales que están por debajo de los máximos permisibles, se consideran como metales traza o esenciales ya que este término indica la abundancia natural en la corteza terrestre en proporciones del 0.1% y se sitúan en esta categoría.

El Cadmio en la mayoría de las estaciones no se detectó; en el caso de la estación El Manantial sólo se presenta en el mes marzo de la época seca y es un elemento que se encuentra en muy bajas concentraciones en aguas dulces y quizás también debido a que tiene una extensiva renovación durante los procesos de mezclado de un cuerpo de agua.

Metales Pesados en época seca

Gráfica 14



Época de lluvia:

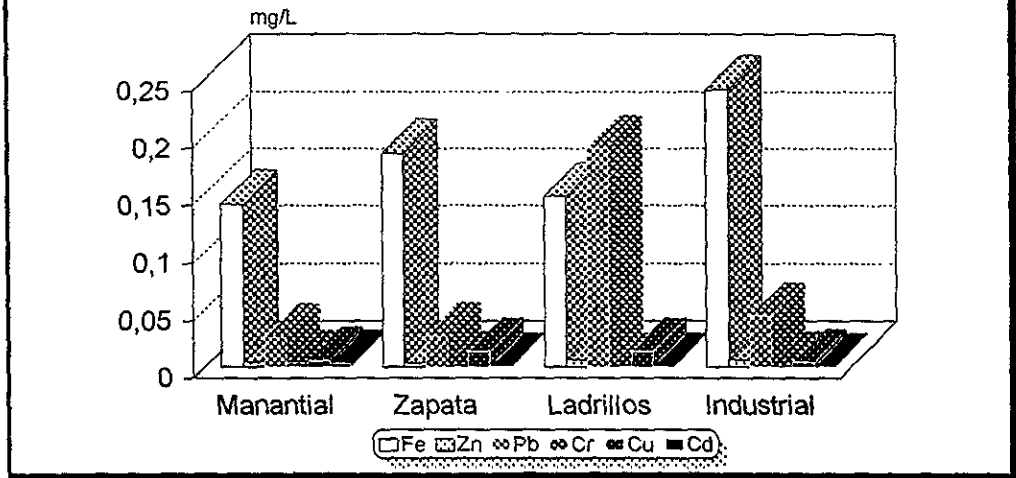
Durante la época de lluvias, en general, la concentración disminuye con respecto a la época de secas, debido a que existe una gran cantidad de materia orgánica que se sedimenta en la sequía provocando condiciones ácidas permitiendo la liberación de los metales.

Todas las concentraciones de metales disminuyen; siendo el Hierro el que se encuentra en mayor concentración a lo largo del transecto recorrido siendo la estación Industrial la que presenta la concentración más elevada; esto puede tener origen por lixiviación de los terrenos atravesados por esta agua o por la contaminación industrial.

Uno de los problemas que presentan las aguas del Río Papalotes es que con ellas se riegan los cultivos de alfalfa, avena y maíz principalmente provocando que haya una magnificación biológica en los niveles tróficos, donde la concentración de metales en los miembros superiores del nivel pueden alcanzar valores muchas veces más altos a los que se encuentran en aire o agua. Ello induce a que muchas plantas o animales constituyan un peligro para la salud al destinarse para la alimentación humana.

Metales Pesados en época de lluvia

Gráfica 16



Coliformes

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

Época seca:

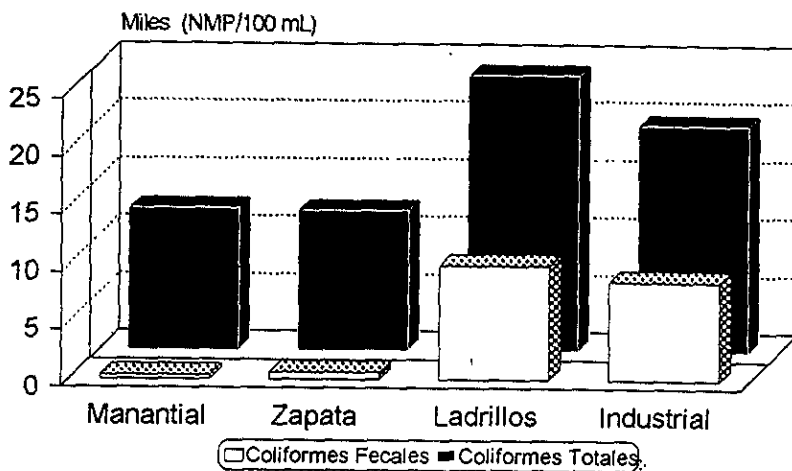
En los resultados obtenidos se observa que la población de Coliformes Totales no decae a lo largo de la corriente del Río, por lo que se observan mayores poblaciones en la estación Ladrillos, donde la mayoría de Coliformes presentes son organismos anaerobios debido a que no se detectó la presencia de O.D., asociado a una gran descomposición de la M.O. y el oxígeno es abatido y los procesos se convierten en anaerobios, en tanto que en El Manantial 1 la presencia de Coliformes se debe a los asentamientos humanos.

En la estación Zapata la presencia de Coliformes también es consecuencia de las actividades antrópicas, donde al igual que la anterior, predominan los procesos aerobios.

En la estación Ladrillos, el crecimiento se ve favorecido por el aporte de materia fecal proveniente de la descarga del rastro, cercana a dicha estación, esto muestra un incremento en la época seca por el aumento de la temperatura, la disminución de la corriente y la acumulación de la materia orgánica (ver gráfica 17).

Coliformes Totales y Fecales en época seca

Gráfica 17

**Época de lluvia:**

En la época lluviosa se presenta un incremento de Coliformes totales, debido a que hay una mayor oxigenación del cuerpo de agua provocando que haya tanto organismos aerobios como anaerobios (ver gráfica 18).

En la estación El Manantial y Zapata, se observan procesos aerobios, gracias a la presencia de O.D., en los procesos aerobios predominan bacterias heterótrofas, cuyo metabolismo depende de la transformación de la materia orgánica, utilizando oxígeno en grandes cantidades y dando como productos CO₂ y H₂O.

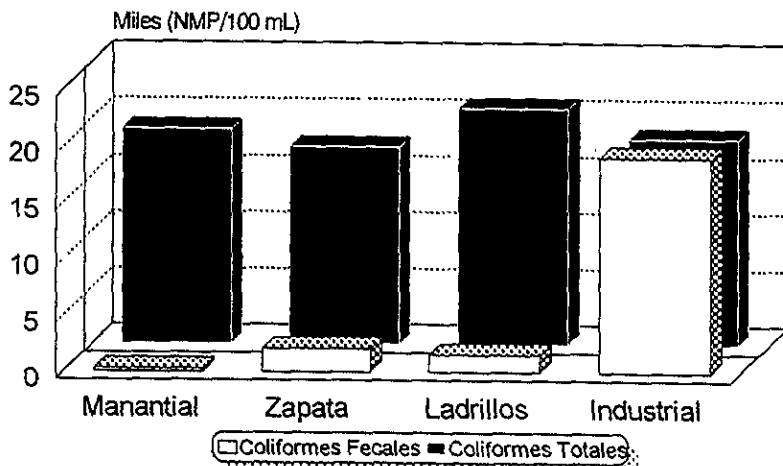
En las estaciones Ladrillos e Industrial predominan procesos netamente anaerobios por la ausencia total de oxígeno, abundan las bacterias autótrofas que no utilizan materia orgánica como fuente de energía, utilizan elementos inorgánicos como NH₃, NO₂, compuestos sulfurados y el ion hierro, generando productos como CO₂, H₂O, CH₄, H₂S, ácidos orgánicos, mercaptanos y alcoholes.

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

El problema que se presenta con respecto a este parámetro es que las Coliformes Fecales están presentes en estas aguas y la irrigación de las cosechas que se consumen crudas puede transmitir cualquiera de las lombrices intestinales comunes, así como la irrigación de los pastizales pueden infectar al ganado y, a través de este, al hombre.

Coliformes Totales y Fecales en época de lluvia

Gráfica 18



Nitratos (NO_3) y Nitritos (NO_2)

Un producto obtenido por la completa oxidación de NH_4 (Amonio) son los NO_3 . Los iones nitrito son producidos en el medio a partir de NH_4 por algunos microorganismos presentes en el suelo y agua residual; esto se considera como un producto intermedio de los procesos de nitrificación; esta, es la conversión de NH_3 a NO_3 , es conducida por bacterias nitrificantes cuando existe gran cantidad de materia orgánica; debido a que todas las estaciones monitoreadas presentan un incremento en la concentración de nitritos.

Época seca:

Las concentraciones de nitratos permanecen por debajo de 0.2 mg/L en las estaciones El Manantial y Zapata; en Ladrillos e Industrial aumentan considerablemente llegando a 1.0 mg/L, el valor obtenido se debe al uso excesivo de fertilizantes. En cuanto a los nitritos la estación Zapata es la que presenta el valor más bajo (0.01 mg/L) y El Manantial es la que reportó una mayor concentración (0.03 mg/L), por el efecto de dilución que se presenta en este punto.

Época de lluvia:

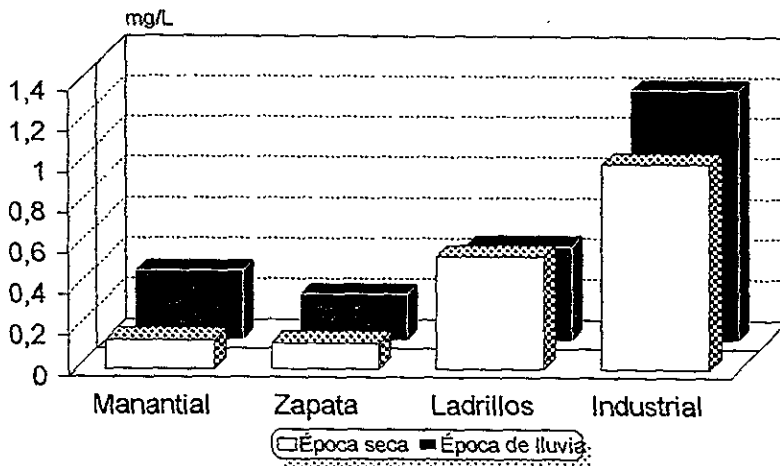
La mayor concentración de nitratos para las cuatro estaciones se registró en época de lluvia en la cual debido a un aumento en el movimiento del agua hay un incremento del caudal y así mayor cantidad de oxígeno y por lo tanto una gran solubilidad de estos; pero la mayor concentración de nitratos se dispara en la estación Industrial, debido a que los nitratos principalmente provienen de las industrias productoras de lácteos.

Los nitritos durante esta época aumentan considerablemente conforme al cauce del Río; siendo las estaciones Ladrillos e Industrial las que presentan los valores más elevados (0.031 y 0.039 mg/L respectivamente), lo cual se debe a la oxidación bacteriana incompleta del nitrógeno que se lleva a cabo por las condiciones de baja oxigenación; además del aporte de nitritos por aguas residuales domésticas e industriales, así como desechos de animales (García, 1994).

En algunas circunstancias, el ion nitrato puede ser convertido a nitrito en el tracto intestinal produciendo una reacción con la sangre y causando metahemoglobinemia en los infantes. La causa más común de esta enfermedad la constituyen los niveles excesivos de nitratos que hay en el agua potable y en reconstitución de alimentos para bebés e ingestión de legumbres con altos contenidos de nitratos (Pacheco, 1991) (ver gráficas 19 y 20).

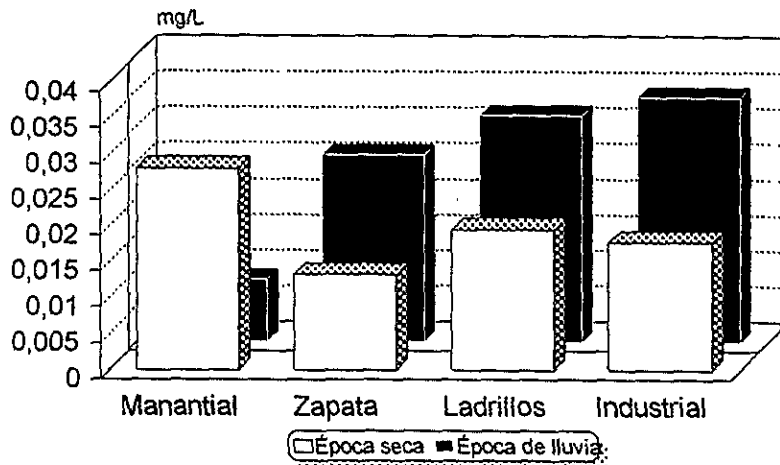
Nitratos

Gráfica 19



Nitritos

Gráfica 20



Amonio (NH₄)

El amonio como iones amonio o amoniaco libre, es el contaminante nitrogenado que se encuentra con mayor frecuencia, es altamente soluble en agua y es frecuentemente encontrado como producto de la degradación de desechos industriales (Winkler, 1986). Cuando el amonio se solubiliza en agua reacciona y forma iones amonio estableciéndose un equilibrio entre el NH₃ (amoniaco) y el NH₄ (amonio).

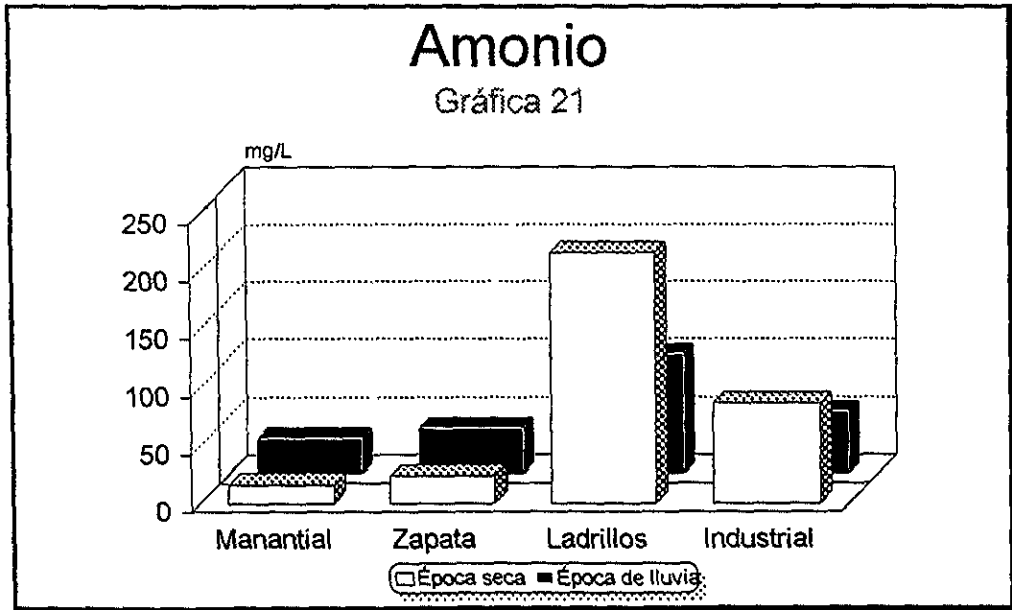
Época seca:

La concentración de amonio en Manantial y Zapata es menor de 25 mg/L incrementándose drásticamente en la estación Ladrillos donde se observa una concentración de 217.1 mg/L esto se debe a que el amonio es el principal producto final de la descomposición de la materia orgánica, lo cual abunda en este punto y por lo tanto la cantidad de Oxígeno no es suficiente para degradarla.

Época de lluvia:

Las concentraciones de amonio en las estaciones El Manantial y Zapata sufren un decremento con respecto a las estaciones Ladrillos e Industrial, esto se debe a que hay un mayor aporte de oxígeno, que favorece una mayor degradación de materia orgánica.

El amonio se encuentra en este cuerpo de agua debido a varias razones; equilibrio con la atmósfera, desechos urbanos e industriales y degradación de la materia orgánica (De la Lanza Espino, 1990); la cual se encuentra en grandes cantidades.



Fósforo

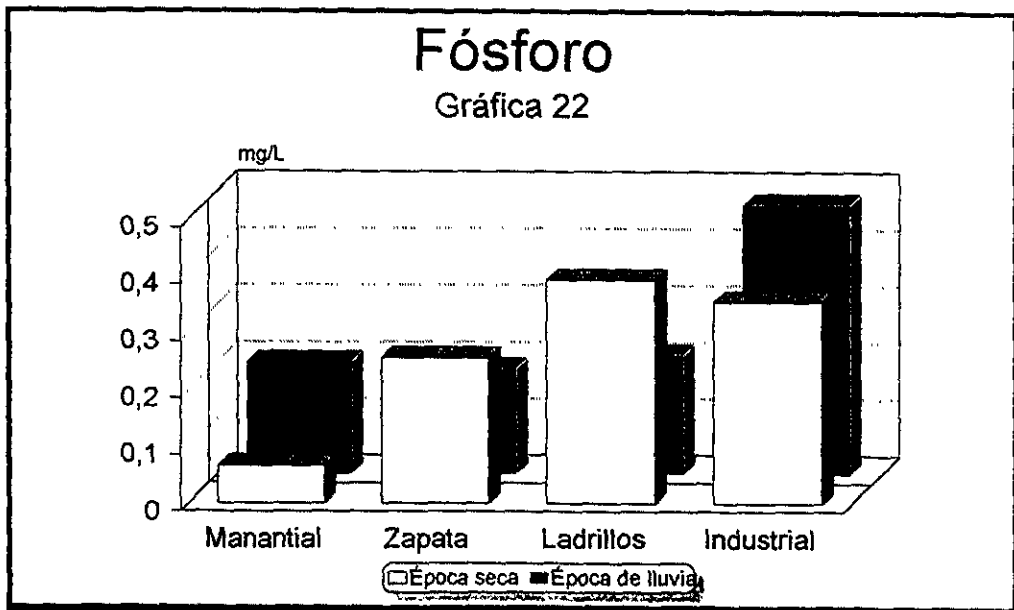
Las concentraciones máximas permitidas del fósforo están en función de su presencia como compuestos que puedan producir un crecimiento acelerado y abundante de plantas acuáticas, tanto inferiores como superiores de modo que tal crecimiento lleve al cuerpo de agua a condiciones de eutroficación (Barroin, 1990).

Época seca:

La concentración se incrementa conforme avanza el Río, en la estación El Manantial la concentración de fosfatos es relativamente baja; esto se debe que el fósforo proviene del lavado de las tierras de cultivo que contienen los abonos fosfatados o tratados con ciertos pesticidas aunado a los contenidos de detergentes; por otro lado se incrementan en la estación Zapata debido al fitoplancton existente. En la estación Ladrillos el aumento se debe a la presencia de los organismos vivos en la descarga procedente de la cuenca lechera.

Época de lluvia:

Durante esta época se presenta un incremento en la estación Industrial, pero no sobrepasa los 0.5 mg/L, lo cual nos indica que esta concentración se atribuye al efecto de dilución de los detergentes contenidos en las aguas residuales provenientes de las industrias cercanas. En general el fósforo se atribuye a que se vierte en forma de detergentes sintéticos duros cuya espuma reduce la fotosíntesis e inhibe la oxigenación del agua a concentraciones menores a 1 ppm inhibe la captación de Oxígeno por los organismos; además de que los fosfatos que proceden de escurrimientos, erosionan las tierras adyacentes (Simmons, 1982).



10. CONCLUSIONES

A partir del análisis y discusión de los resultados se obtuvieron las siguientes conclusiones:

1. En la estación "Ladrillos", los coliformes totales y fecales rebasan los LMP de la NOM-CCA-033-ECOL/93, representando un alto riesgo sanitario a la población (Anexo 6).
2. En la estación "Ladrillos" la gran cantidad de Materia Orgánica y Sólidos Totales, favorecen el abatimiento del O.D., provocando una reducción del caudal y por tanto su rápida eutroficación.
3. De acuerdo a los resultados obtenidos para DQO y DBO₅, se observó que en las estaciones El Manantial y Zapata predominan las descargas de tipo doméstico, mientras que en la estación Ladrillos se observa una mezcla de aguas de tipo municipal e industrial, finalmente en la estación Industrial se tiene una descarga netamente industrial.
4. La autodepuración insuficiente es consecuencia del gran aporte de Materia Orgánica al Río Papalotes, ocasionando el abatimiento total de Oxígeno, propiciando la predominancia de un proceso de tipo anaerobio.
5. No existe autodepuración en el "Río Papalotes", por lo que este no se puede recuperar y por lo tanto su calidad no se modifica, a menos que se controlen las descargas vertidas en su cauce
6. Por la gran cantidad de Materia Orgánica, Sólidos y Fenoles el agua no debe ser vertida a la Laguna de Zumpango, en el Estado de México sin tratamiento previo.
7. El Río Papalotes presenta un severo deterioro en su calidad, como consecuencia del aporte de dos fuentes perfectamente identificadas: el parque industrial y la cuenca lechera.
8. La calidad del agua del "Río Papalotes" de las estaciones Ladrillos e Industrial no se considera apta para riego agrícola ya que no cumple los requerimientos señalados en la NOM-CCA-033-ECOL/1993 y con los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua (Anexo 6 y 7).
9. La calidad, cantidad y composición de descargas líquidas, aunadas a los escasos estudios en la zona de estudio, limitan el poder establecer indicadores de calidad del agua del "Río Papalotes".

11. RECOMENDACIONES

1. Es necesario realizar estudios de compuestos orgánicos volátiles ya que las características organolépticas de las diferentes descargas industriales, indican la presencia de una gran cantidad de ellos.
2. Establecer restricciones estrictas basadas en la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente y en la Ley de Aguas Nacionales para que no se viertan aguas residuales sin tratamiento previo, tanto de la cuenca lechera como de la Zona Industrial.
3. Establecer un programa de manejo de los residuos agroindustriales de la cuenca lechera, a fin de evitar la contaminación del Río Papalotes y favorecer el aprovechamiento integral del estiércol en las actividades agrícolas, esta actividad corresponde a los sectores involucrados.
4. Es necesario incorporar sistemas de tratamiento de las aguas residuales, a fin de minimizar la carga orgánica presente en el cauce del Río
5. Las industrias deben de separar los drenajes de las aguas residuales de proceso, pluviales y de servicios de acuerdo al giro industrial antes de su descarga.
6. La existencia de drenajes separados, facilita la operación de los procesos de tratamiento, ya que las descargas domésticas implican bajos costos y en su composición no tienen sustancias tóxicas difíciles de eliminar, a diferencia del agua residual industrial, que requiere de procesos de depuración más sofisticados.
7. Una opción benéfica para el tratamiento de las aguas residuales estudiadas desde el punto de vista técnico y económico, son las lagunas de estabilización, donde ya existen experiencias en América Latina apoyadas por el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS), en Lima Perú, donde las ventajas del reuso de las aguas tratadas por este sistema son las siguientes:
 - Disminución de incidencia de enfermedades entéricas.
 - Ventajas económicas de aprovechar los nutrimentos de las aguas residuales en reemplazo de fertilizantes comerciales.
 - Mayor rendimiento de la producción agrícola.
 - Producción rentable de peces aptos para el consumo humano.
 - Uso eficiente del agua.

8. La laguna de estabilización de tipo anaerobio que se recomienda es aquella que tiene como finalidad obtener un efluente de características definidas (DBO, DQO, O.D; Sólidos sedimentables, algas, nutrientes, parásitos, bacterias y protozoarios patógenos, entre otros) de acuerdo a su reuso en la medida de lo posible, hacia fines que sean compatibles con la calidad del agua que resulte del tratamiento:
 - Riego de cultivos, inclusive legumbres en zonas aledañas.
 - Reposición de niveles de agua mediante su almacenamiento para iniciar las medidas.
 - Corrección de los desequilibrios hidrológicos actuales.

9. Se sugiere comparar los valores que se obtuvieron para los diferentes parámetros en este trabajo de investigación, ya que actualmente se cuenta con la NOM-001-ECOL/97 (en vigor a partir del 1 de Enero del 2000) que establece los Límites Máximos Permisibles de contaminantes que pueden ser vertidos a cuerpo receptor, como es el Río Papalotes.

12. BIBLIOGRAFÍA

1. Albert, A. 1988. **"Curso Básico de Toxicología ambiental"**. 2a ed. Ed. Noriega, México; pp. 101-183.
2. Alvarez G.A. y Silva M.S. 1993. **"Aguas Residuales"**. Boletín II E, 17(2), México; pp. 88-93.
3. Alloway, B. 1990. **"Heavy Metals in Soils"**. Blackie London, USA; pp. 19-28, 100-117, 268.
4. American Society for Testing and Materials. 1991. Philadelphia, Pennsylvania. **"Manual de aguas"**. 3ra ed, Ed. Limusa, México; pp. 235-238, 242-249, 256-258, 263-266, 270-287.
5. APHA; AWWA; WPCF; 1992. **"Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater"**. (Métodos Normalizados para el Análisis del agua y aguas residuales), 18va ed, E.U.A; pp.1.32-1.47, 2.63-2.64, 2.78-2.79, 2.88, 2.33, 2.38, 3.1, 4.106, 4.168-4.170, 5.2.5.3, 5.12-5.13, 5.52-5.53, 5.69-5.70.
6. AQEIC. 1993. **Boletín Técnico**. Ed. Barnagrafic, S.A. Barcelona, España; pp. 130-150.
7. Ayanegui, J. 1988. **"Uso o abuso del agua"** Rev. Agua Potable. 4(48), pp. 34-38
8. Barceló, J. y C. Poschenrieder. 1989. **"Estrés Vegetal Inducido por Metales Pesados"**. Investigación y Ciencia. No. 154; pp. 54-62.
9. Barroin, G. 1990. **"La contaminación del agua por fosfatos"**. Mundo Científico. 10(104), pp. 790-796.
10. Bébin, J. 1988. **"La depuración biológica del agua"**. Mundo Científico. 8(78), pp. 276-282.
11. Boletín del Instituto de Geografía. 1993. **"Investigaciones Geográficas"**. UNAM. No. 27, México; pp. 1, 99- 109.
12. Boon, Y. and Soltanour, N. 1992. **"Lead, Cadmium and Zinc Contamination of Aspen Garden Soils and Vegetation"**. J. Environ. Qual. 2(21), pp. 82-86.
13. Carson, B; Harry, V; and Joy, L. 1986. **"Toxicology and Biological Monitoring of Metals in Human"** Including Feasibilidad and Need Lewis Publishers. Inc Michigan, USA; pp. 51-297.
14. CENAPRED. 1995. **"Contaminación de cuerpos Acuáticos"**. Residuos Peligrosos. Secretaria de gobernación. Sistema Nacional de Protección Civil, Vol. 9; pp. 5-7.
15. CEPIS, 1995. **"Tratamiento y uso de aguas residuales en las actividades agropecuarias"**. Oficina Regional de la Organización Mundial de la salud, Lima; pp. 1-14.
16. Comisión Nacional del Agua, 1994. **"Manual de diseño de agua potable, alcantarillado y saneamiento"**. Libro II Proyecto 3a. sección: Potabilización y tratamiento. Ed. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, México; pp 13-21.
17. Cuaderno Estadístico Municipal. 1995. **"Tizayuca Estado de Hidalgo"**. INEGI. México; pp. 3-11.
18. Cheneval, J. 1993. **"La toxicidad de los detergentes"**. Mundo Científico. 13(133), pp. 216-223.

19. De La Lanza Espino. 1990. **"La acuicultura en México: de los conceptos a la producción"**. Ed. Limusa, México; pp. 181-199.
20. Diario Oficial de la Federación 1980. **Norma Oficial Mexicana NOM-AA-30-1980**. Determinación de la demanda química de oxígeno; Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial, Dirección General de Normas.
21. Diario Oficial de la Federación 1980. **Norma Oficial Mexicana NOM-AA-36-1980**. Determinación de la alcalinidad y acidez; Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial, Dirección General de Normas.
22. Diario Oficial de la Federación 1980. **Norma Oficial Mexicana NOM-AA-39-1980**. Determinación de sustancias activas al azul de metileno (detergentes); Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial, Dirección General de Normas.
23. Diario Oficial de la Federación 1980. **Norma Oficial Mexicana NOM-AA-42-1980**. Determinación del número más probable de coliformes fecales; Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial, Dirección General de Normas.
24. Diario Oficial de la Federación 1980. **Norma Oficial Mexicana NOM-AA-51-1990**. Determinación de metales pesados; Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial, Dirección General de Normas.
25. Diario Oficial de la Federación 1980. **Norma Oficial Mexicana NOM-AA-53-1980**. Determinación de la materia extractable con cloroformo; Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial, Dirección General de Normas.
26. Diario Oficial de la Federación 1980. **Norma Oficial Mexicana NOM-AA-7-1980**. Determinación de Temperatura; Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial, Dirección General de Normas.
27. Diario Oficial de la Federación 1980. **Norma Oficial Mexicana NOM-AA-8-1980**. Determinación de pH; Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial, Dirección General de Normas.
28. Diario Oficial de la Federación 1980. **Norma Oficial Mexicana. NOM-AA-34-1980**. Determinación de Sólidos; Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial, Dirección General de Normas.
29. Diario Oficial de la Federación 1984. **Norma Oficial Mexicana NOM-AA-93-1984**. Determinación de la conductividad eléctrica; Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial, Dirección General de Normas.
30. Diario Oficial de la Federación, 1980. **Norma Oficial Mexicana NOM-AA-14-1980**. Cuerpos receptores Muestreo; Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial, Dirección General de Normas. Norma Oficial Mexicana
31. Diario Oficial de la Federación, 1980. **Norma Oficial Mexicana NOM-AA-28-1980**. Determinación de la demanda bioquímica de oxígeno; Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial, Dirección General de Normas.
32. Diario Oficial de la Federación, 1980. **Norma Oficial Mexicana NOM-AA-12-1980**. Determinación de oxígeno disuelto; Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial, Dirección General de Normas.
33. Diario Oficial de la Federación, 1980. **Norma Oficial Mexicana NOM-AA-3-1980**. Aguas Residuales Muestreo; Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial, Dirección General de Normas.

34. Diario Oficial de la Federación, 1993 **NOM-CCA-031-ECOL/93**. Aguas residuales provenientes de la industria agroindustrial de servicios y el tratamiento de aguas residuales a los sistemas de drenaje y alcantarillado urbano y municipal.
35. Diario Oficial de la Federación, 1993. **NOM-CCA-032-ECOL/93**. Aguas residuales de origen urbano o municipal para su disposición mediante riego agrícola.
36. Diario Oficial de la Federación, 1993. **NOM-CCA-033-ECOL/93**. Aguas residuales de origen urbano o municipal de la mezcla de estas con la de cuerpos de agua, en el riego de hortalizas.
37. Diario Oficial de la Federación, 1996. "**Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente**"; México; pp. 33-39.
38. Diario Oficial de la Federación, 1997. **NOM-001-ECOL/96**. Límites Máximos Permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.
39. Duffus, J. 1983. "**Toxicología Ambiental**" Ed. Omega, España; pp. 24-94.
40. Ezcurra, E. 1991. "**De las Chinampas a la Megalopolis**". El Ambiente en la Cuenca de México, 2a ed. Fondo de Cultura Económica, México; pp. 62-70.
41. Fernández, F.R. 1994. "**La química en la sociedad. Importantes repercusiones sociales de la química**". UNAM; Facultad de Química. México; pp. 34-47.
42. GESAMP. 1982. "**The Health of the Oceans.**" Report and Studies No. 16. UNESCO. Press: París; pp. 116-123.
43. Gordillo A. 1993. "**Evaluación de metales pesados en tierras de cultivo del distrito de riego 063 Mixquiahuala, Hidalgo**". Revista Internacional de Contaminación Ambiental, Vol. 9, México; pp. 54.
44. Gordon, M. 1987. "**Ingeniería Sanitaria y de Aguas Residuales**". Ed. Limusa. México; pp. 270-276, 285, 305,306.
45. Guagnelli, L.M. 1988. "**Opciones para el reuso del agua en México**". Ciencia y Desarrollo, Año XIV; No. 79, pp. 41-50.
46. Hernández Muñoz, A. 1992. "**Saneamiento y alcantarillado**". 3ra ed. Colección Seignor, No. 7, España; pp. 25-29, 81-89, 97-100.
47. Hernández Muñoz, A. 1993. "**Abastecimiento y distribución de agua**". 3ra ed. Colección Seignor, No. 6, España, pp. 83-89, 236.
48. Hernández Muñoz, A. 1994. "**Depuración de Aguas Residuales**". 2a ed. Colección Seignor, No. 9, España, pp. 97-101.
49. Herrera R.; Cortés, S.A. 1989. "**El sistema acuífero de la Cuenca de México**". Ingeniería hidráulica en México. México; pp. 60-66.
50. Hilleboe, H. 1986. "**Manual de tratamiento de aguas**". Ed. Limusa, México; pp. 15-24, 33-34.
51. Instituto Nacional de Ecología, 1994. "**Estadísticas del Medio Ambiente**". INEGI. México; pp. 92-98.
52. Jiménez, J.R. 1989. "**Agua de mayor calidad**". Rev. Agua Potable 4(51), pp. 34-41.

53. Manahan, S.E. 1993. **"Fundamentals of Environmental Chemistry"**. Editorial Lewis Publishers. U.S.A; pp. 221-234.
54. Margalef, R. 1983. **"Limnología"**. Ed. Omega; Barcelona, España; pp. 68, 208, 276, 638, 656, 839.
55. Mason, C.F. 1984. **"Biología de la contaminación del agua dulce"**. Ed. Alhambra. España; pp. 45-49.
56. Merch. 1992. **"Origen de algunos contaminantes químicos en el agua"**. Ed. Blume, España; pp. 54-60.
57. Mestre, D.J.E. 1989. **"Ordenamiento de los aprovechamientos hidráulicos y saneamiento de la cuenca Lerma-Chapala"**. Rev. Agua potable, 5(62), pp. 34-37.
58. Metcalf-Eddy. 1981. **"Tratamiento y depuración de las aguas residuales"**. 2a ed. Ed. Labor; pp. 34-37, 244-280, 698-794.
59. Meybeck, M. 1990. **"La contaminación de los ríos"**. Ciencia y Tecnología. 10(104), pp. 790-799.
60. Morvedt, J. 1983. **"Micronutrientes en Agricultura"**. Edit. AGT, México; pp. 203-206, 448, 602-608, 682-687.
61. Ramalho R.S. 1991. **"Tratamiento de aguas residuales"**. Ed. Reverte, España; pp. 28-42, 71, 281.
62. Rigola, M. 1989. **"Tratamiento de aguas industriales: Aguas de proceso y residuales"**. Ed. Marcombo, España; pp. 28-31.
63. Rivas, M. 1988. **"Tratamiento de aguas residuales"**. 2a ed, Ed. Vega, Madrid; pp. 16-25.
64. Rivero, B.I. 1983. **"Estudio preliminar de contaminación por Cd, Cr, Hg y Pb del suelo expuesto anteriormente a riego con aguas de desechos industriales, así como, su efecto sobre los cultivos presentes en Xochitecatitla, Tlaxcala"**. ENEP IZTACALA. UNAM; pp.12-16.
65. Rodier, J. 1990. **"Análisis de las aguas"**. Omega S.A. España; pp. 809-823, 833-861.
66. Rodríguez, S. y Botello V.A. 1987. **"Contaminación enterobacteriana en la red de agua potable y en algunos sistemas acuáticos del Sureste de México"**. Contaminación Ambiental. Vol. 3; pp: 37-53.
67. Sahab, H.E. 1989. **"El recurso agua y su aprovechamiento"**, Rev. Agua Potable, 4(51), pp. 6-11,16.
68. Sánchez Martín, J. and Sánchez- Camazano, L. 1993. **"Adsorption and Movility of Cadmium in Natural Uncultivated Soils"**. J. Environ. Qual. No. 22; pp. 737-742.
69. SARH. 1983. **"Manual del curso estudio de calidad del agua y prevención de la contaminación"**. Departamento de entrenamiento. México; pp 12.
70. Secretaría de Desarrollo Social. 1993. **"Informe de la situación general en materia de equilibrio ecológico y protección al ambiente (1993-1994)"**, México; pp. 112-114.
71. Sheppard T.P. 1987. **"Acondicionamiento de las aguas para la industria"**. Ed. Limusa, Vol. 4, México; 223-235.

72. Simmons, G. 1982. Conservación de Recursos Naturales. "Ecología de los Recursos Naturales". Ed. Omega, Barcelona; pp. 312-317.
73. Stoker S.H. y L. S. Spencer. 1981. "Química ambiental. Contaminación del aire y del agua" Ed. Blume, España; pp. 19-27, 36, 63-73, 76-84.
74. Tebbutt, T.H.Y, 1990. "Fundamentos de control de la calidad del agua". Ed. Limusa. México; pp. 19-27, 36, 63-73, 76-84.
75. Toledo, A. y Botello V.A. 1989. "La contaminación en la región del río Coatzacoalcos". Ciencia y Desarrollo. 15(86), pp. 27-29.
76. Wetzel G.R. 1981. "Limnología". Ed. Omega, España; pp. 10-12, 177-179.
77. Wild, A. 1992. "Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russel". Ed. Mundi-prensa, España; pp. 534-539.
78. Winkler, A.M. 1986. "Tratamientos biológicos de las aguas de desecho". Ed. Limusa, México; pp. 28-43, 258-263.

Anexo 1. Composición típica de descargas de agua domestica sin tratamiento.

CONCENTRACIÓN				
Contaminantes	Unidades	Débil	Media	Fuerte
Sólidos Totales (ST)	mg/L	350	720	1,200
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 Suspendedos (STS)	mg/L	100	220	350
Sólidos Suspendedos Fijos (SSF)	mg/L	20	55	75
Sólidos Suspendedos Volátiles (SSV)	mg/L	80	165	275
Sólidos Sedimentables	mg/L	5	10	20
Demanda Bioquímica de Oxígeno 5-Días, 20 °C (DBO ₅ , 20 °C)	mg/L	110	220	400
Carbono Orgánico Total (COT)	mg/L	80	160	290
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	250	500	1,000
Nitrógeno Total (como N)	mg/L	20	40	85
Orgánico	mg/L	8	15	35
Amonio libre	mg/L	12	25	50
Nitritos	mg/L	0	0	0
Nitratos	mg/L	0	0	0
Fósforo Total (como P)	mg/L	4	8	15
Orgánico	mg/L	1	3	5
Inorgánico	mg/L	3	5	10
Cloruros	mg/L	30	50	100
Sulfatos	mg/L	20	30	50
Alcalinidad (como CaCO ₃)	mg/L	50	100	200
Grasas	mg/L	50	100	150
Coliformes Totales	Nº/100 mL	10 ⁶ - 10 ⁷	10 ⁷ - 10 ⁸	10 ⁷ - 10 ⁹
Compuestos Orgánicos Volátiles (VOCs)	µg/L	< 100	100-400	> 400

Fuente: Metcalf y Eddy, 1981.

Anexo 2. Compuestos comunes producidos por descargas industriales y actividades agrícolas que han sido clasificados como contaminantes prioritarios.

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

Fuente: Metcalf y Eddy, 1991

Anexo 3. Lagunas de Estabilización

Este tipo de lagunas de aguas residuales, con relación a otros sistemas convencionales, son una buena alternativa para remover patógenos (bacterias y protozoarios que pueden causar enfermedades a los humanos) y helmintos (gusanos que se desarrollan en el intestino).

En estos sistemas de tratamiento no es necesario adicionar cloro al efluente para su desinfección, lo que los hace más atractivos por la reducción de costos generados por la cloración. Además las lagunas de estabilización no necesitan partes mecánicas, reflejándose en el ahorro de los costos de adquisición, operación y mantenimiento.

Como un ejemplo de la eficacia de este tratamiento se tiene que tan sólo una laguna anaerobia puede sustituir las siguientes partes de un sistemas convencional:

- Un tanque de sedimentación primaria
- Un tanque de espesamiento de lodos
- Un tanque digestor de lodos
- Bombas, motores y material necesario para el tratamiento primario.

Los sistemas lagunares de estabilización se refieren a estanques construidos de tierra, profundidad reducida (< 5 m), diseñados para el almacenamiento de aguas residuales por medio de la interacción de la masa biológica o biomasa (algas, bacterias, protozoarios, entre otros), la materia orgánica del desecho y otros procesos naturales (mecánica del fluido y factores físicos, químicos y meteorológicos).

El término lagunas de oxidación se empleaba en el pasado para implicar la oxidación de la materia orgánica con el oxígeno producido por las algas a través de la fotosíntesis. este aspecto es muy importante pero existen otros procesos que intervienen en la descomposición de la materia orgánica como lo es la estabilización por digestión anaerobia, el cual es importante en las lagunas facultativas primarias y predominante en las lagunas anaerobias.

Laguna Anaerobia.

Se caracteriza por la presencia de bacterias que no requieren oxígeno disuelto para la descomposición de la materia orgánica. Este proceso se llama digestión anaerobia, el que presenta tres etapas:

1. Es la **hidrólisis y fermentación ácida** llevada a cabo por microorganismos formadores de ácidos que atacan las sustancias orgánicas y las transforman en ácidos orgánicos, alcoholes y dióxido de carbono. Las bacterias responsables en esta etapa pertenecen a diferentes grupos y pueden ser anaerobias, facultativas o estrictas.
2. La **homoacetogénesis** es donde los productos de fermentación producidos anteriormente son convertidos en acetato, hidrógeno y CO_2 por un grupo de bacterias denominadas "bacteria acetogénicas" productoras obligatorias de hidrógeno.
3. La **metanogénesis** es realizada por un grupo de bacterias metanogénicas que son anaerobias estrictas, oxidan los bicarbonatos y el acetato en metano y carbonatos. Estas bacterias son sensibles a variaciones de carga, pH y temperatura.

Una laguna anaerobia puede tener una profundidad de 2 a 5 metros y recibir cargas orgánicas tan altas (usualmente $> 100 \text{ g DBO/m}^3 \text{ d}$, equivalente a $> 3,000 \text{ Kg./ha d}$ para una profundidad de 3 m). Funcionan como tanques sépticos abiertos, siendo su función primaria remover DBO. Estas lagunas trabajan extremadamente bien en climas cálidos; un buen diseño deberá asegurar la remoción del 60% de la DBO a 20°C y un máximo de 75% a 25°C .

El aspecto físico de estas lagunas es de coloración gris o negro, cuando por efecto de una carga adecuada, presentan condiciones de fermentación del metano.

La laguna anaerobia se llena de lodos después de varios años. Dependiendo del período de diseño, se realiza la remoción de lodos. Generalmente hay una acumulación de 40 litros (0.04 m^3) por habitante al año. Este número es válido en un sistema desarenados.

Una desventaja de una laguna anaerobia es el olor que puede generarse en el caso de haber una alta carga orgánica, mayor que la carga de diseño y si existen dentro del influente sulfatos mayores a 500 mg/L (CNA, 1995).

Anexo 4. **NOM-CCA-031-ECOL/93**. Norma Oficial Mexicana que establece los Límites Máximos Permisibles de contaminantes en descargas de aguas residuales provenientes de la industria, actividades agroindustriales, de servicios y el tratamiento de aguas residuales a los sistemas de drenaje y alcantarillado urbano o municipal.

Límites Máximos Permisibles de la NOM-CCA-031-ECOL/93.

Parámetro	Límite Máximo Permissible	
	Promedio Diario	Promedio Instantáneo
Temperatura (Grados centígrados)	-	40
pH (Unidades de pH)	6.0 a 9.0	6.0 a 9.0
Sólidos Sedimentables (mL/L)	5.0	10
Grasas y Aceites (mg/L)	60	100
Conductividad Eléctrica (mS/cm)	5,000	8,000
Aluminio (mg/L)	10	20
Arsénico (mg/L)	0.5	1.0
Cadmio (mg/L)	0.5	1.0
Cianuro (mg/L)	1.0	2.0
Cobre (mg/L)	5.0	10
Cromo hexavalente (mg/L)	0.5	1.0
Cromo Total (mg/L)	2.5	5.0
Fluoruros (mg/L)	3.0	6.0
Mercurio (mg/L)	0.01	0.02
Níquel (mg/L)	4.0	8.0
Plata (mg/L)	1.0	2.0
Plomo (mg/L)	1.0	2.0
Zinc (mg/L)	6.0	12
Fenoles (mg/L)	5.0	10
Sustancias Activas al Azul de Metileno (mg/L)	30	60

Fuente: Diario Oficial de la Federación, 1993.

Anexo 5. **NOM-CCA-032-ECOL/93**. Norma Oficial Mexicana que establece los Límites Máximos Permisibles de contaminantes en las aguas residuales de origen urbano o municipal para su disposición mediante riego agrícola.

Límites Máximos Permisibles de la NOM-CCA-032-ECOL/93.

Parámetros	Límite Máximo Permissible
pH (Unidades de pH)	6.5 a 9.5
Conductividad Eléctrica (mS/cm)	2,000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	120
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	120
Aluminio (mg/L)	5.0
Arsénico (mg/L)	0.1
Boro (mg/L)	1.5
Cadmio (mg/L)	0.01
Cianuros (mg/L)	0.02
Cobre (mg/L)	0.2
Cromo Total (mg/L)	0.1
Hierro (mg/L)	5.0
Fluoruros (mg/L)	3.0
Manganeso (mg/L)	0.2
Níquel (mg/L)	0.2
Plomo (mg/L)	5.0
Selenio (mg/L)	0.02
Zinc (mg/L)	2.0

Fuente: Diario Oficial de la Federación, 1993.

Anexo 6. **NOM-CCA-033-ECOL/93**. Norma Oficial Mexicana que establece las condiciones para el uso de las aguas residuales de origen urbano o municipal o de la mezcla de éstas con la de los cuerpos de agua en el riego agrícola.

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

I Tipo 1. La que contenga menos de 1,000 coliformes totales por cada 100 mL, y ningún huevo de helminto viable por litro de agua.

II Tipo 2. La que contiene de 1 a 1,000 coliformes fecales por cada 100 mL, y cuando más un huevo de helminto viable por litro de agua.

III Tipo 3. La que contiene de 1,001 a 100,000 coliformes fecales por cada 100 mL.

IV Tipo 4. La que contiene de 100,000 coliformes fecales por cada 100 mL.

Anexo 6. (Continuación) Límites Máximos Permisibles de la NOM-CCA-033-ECOL/93.

Tipo de riego	Tipo de agua	Intervalo de tiempo mínimo (días) entre el último riego y la cosecha	Cultivos no permitidos
I N	I	20	<p>Hortalizas. Acelga, ajo, apio, berro, betabél, brócoli, cebolla, cilantro, col, coliflor, epazote, espinaca, hongo, lechuga, pápalo, perejil, queiite, quintonil, rábano, hierbabuena, zanahoria, pepino, calabacita, jitomate, tomatillo y tomate verde o de cáscara, con excepción de las cinco últimas cuando se siembre con espaldera. Se equiparan a las hortalizas los siguientes frutos: fresa, jicama, melón, sandía y zarzamora.</p> <p>Excepto: ajo, pepino, jicama, melón y sandía.</p>
U N D	II	20	<p>Hortalizas. Acelga, ajo, apio, berro, betabél, brócoli, cebolla, cilantro, col, coliflor, epazote, espinaca, hongo, lechuga, pápalo, perejil, quelite, quintonil, rábano, hierbabuena, zanahoria, pepino, calabacita, jitomate, tomatillo y tomate verde o de cáscara, con excepción de las cinco últimas cuando se siembre con espaldera. Se equiparan a las hortalizas los siguientes frutos: fresa, jicama, melón, sandía y zarzamora.</p> <p>Excepto: ajo, pepino, jicama, melón y sandía.</p>
A C I	III	20	<p>Hortalizas. Acelga, ajo, apio, berro, betabél, brócoli, cebolla, cilantro, col, coliflor, epazote, espinaca, hongo, lechuga, pápalo, perejil, quelite, quintonil, rábano, hierbabuena, zanahoria, pepino, calabacita, jitomate, tomatillo y tomate verde o de cáscara, con excepción de las cinco últimas cuando se siembre con espaldera. Se equiparan a las hortalizas los siguientes frutos: fresa, jicama, melón, sandía y zarzamora.</p> <p>Excepto: ajo, pepino, jicama, melón y sandía.</p>
Ó N	IV	20	<p>Hortofructícolas. Acelga, ajo, apio, berro, betabél, brócoli, cebolla, cilantro, col, coliflor, epazote, espinaca, hongo, lechuga, pápalo, perejil, quelite, quintonil, rábano, hierbabuena, zanahoria, pepino, calabacita, jitomate, tomatillo y tomate verde o de cáscara, con excepción de las cinco últimas cuando se siembre con espaldera. Se equiparan a las hortalizas los siguientes frutos: fresa, jicama, melón, sandía y zarzamora, y todas las demás hortalizas y frutos en general.</p>

Anexo 6. (Continuación)

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

Anexo 6. (Continuación)

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

Fuente: Diario Oficial de la Federación, 1993.

Anexo 7. CCE-CCA-001/89. Criterios Ecológicos de Calidad del Agua.

Parámetro	Fuente de abastecimiento de agua potable	Riego agrícola
Alcalinidad (mg/L)	400	N.C.
Extractable en cloroformo (mg/L)	3.0	N.C.
Coliformes Fecales (NMP/100)	1,000	1,000
Conductividad Eléctrica (mS/cm)(IV)	N.C.	1,000
Grasas y Aceites (mg/L)	Ausente	N.C.
Oxígeno Disuelto (mgO ₂ /L) (II)	4.0	N.C.
Potencial de Hidrógeno (pH) (Unidades de pH) (III)	5.0 a 9.0	4.5 a 9.0
Sólidos Totales (mg/L)	1,000	N.C.
Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM)	0.5	N.C.
Temperatura (°C)	Condiciones naturales +2.5	N.C.
Cadmio (mg/L) (I)	0.01	0.01
Cobre (mg/L)	1.0	0.20
Hierro (mg/L)	0.3	5.0
Plomo (mg/L)	0.05	5.0
Zinc (mg/L)	5.0	2.0

I. La sustancia es persistente, bioacumulación o riesgo de cáncer, por lo que se 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.

Fuente: Diario Oficial de la Federación, 1989.

Nota: Este criterio se deroga en cuanto entre en vigor la NOM-001-ECOL/96.

Anexo 8. NOM-001-ECOL/96. Norma Oficial Mexicana que establece los Límites Máximos Permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA CONTAMINANTES BÁSICOS

Parámetros	RÍOS						EMBALSES NATURALES Y ARTIFICIALES						AGUAS COSTERAS				SUELO			
	Uso en riego agrícola (A)		Uso público urbano (B)		Protección de la vida acuática (C)		Uso en riego agrícola (B)		Uso público urbano (C)		Explotación pesquera, navegación y otros usos (A)		Recreación (B)		Estuarios (B)		Uso en riego agrícola (A)		Humedades naturales (B)	
	PM	PD	PM	PD	PM	PD	PM	PD	PM	PD	PM	PD	PM	PD	PM	PD	PM	PD	PM	PD
Temperatura (°C) (1)	NA	NA	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	NA	NA	40	40
Grasas y Aceites (mg/L) (2)	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25
Materia Flotante (3)	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ
Sólidos Sedimentables (mL/L)	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	NA	NA	1	2
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	150	200	75	125	40	60	75	125	40	60	150	200	75	125	75	150	NA	NA	75	125
Demanda Bioquímica de Oxígeno s (mg/L)	150	200	75	150	30	60	75	150	30	60	150	200	75	150	75	150	NA	NA	75	150
Nitrógeno Total (mg/L)	40	60	40	60	15	25	40	60	15	25	NA	NA	NA	NA	5	10	NA	NA	NA	NA
Fósforo Total (mg/L)	20	30	20	30	5	10	20	30	5	10	NA	NA	NA	NA	5	10	NA	NA	NA	NA

P.D. = Promedio Diario P.M = Promedio Mensual NA = No es aplicable
 (A), (B) y (C): Tipo de cuerpo receptor según la Ley Federal de Desechos.
 (1) Instantáneo. (2) Muestra simple Promedio Ponderado.
 (3) Ausencia según el método de prueba definido en la NMX-AA-006.

Δ = Ausente

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA METALES PESADOS Y CIANUROS

Parámetros	RÍOS						EMBALSES NATURALES Y ARTIFICIALES						AGUAS COSTERAS				SUELO							
	Uso en riego agrícola (A)		Uso público urbano (B)		Protección de la vida acuática (C)		Uso en riego agrícola (B)		Uso público urbano (C)		Explotación pesquera, navegación y otros usos (A)		Recreación (B)		Estuarios (B)		Uso en riego agrícola (A)		Humedades naturales (B)					
	PM	PD	PM	PD	PM	PD	PM	PD	PM	PD	PM	PD	PM	PD	PM	PD	PM	PD	PM	PD	PM	PD		
Arsénico (mg/L)	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2
Cadmio (mg/L)	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.05	0.1	0.1	0.2	0.05	0.1	0.1	0.2
Cianuros (mg/L)	1.0	3.0	1.0	2.0	1.0	2.0	2.0	3.0	1.0	2.0	2.0	2.0	2.0	3.0	1.0	2.0	2.0	3.0	1.0	2.0	2.0	3.0	1.0	2.0
Cobre (mg/L)	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0
Cromo (mg/L)	1.0	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0	1.0	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0	1.0	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0	0.5	1.0	0.5	1.0	0.5	1.0
Mercurio (mg/L)	0.01	0.02	0.005	0.01	0.005	0.01	0.01	0.02	0.005	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.005	0.01	0.005	0.01	0.005	0.01	0.005	0.01
Níquel (mg/L)	2.0	4.0	2.0	4.0	2.0	4.0	2.0	4.0	2.0	4.0	2.0	4.0	2.0	4.0	2.0	4.0	2.0	4.0	2.0	4.0	2.0	4.0	2.0	4.0
Plomo (mg/L)	0.5	1.0	0.2	0.4	0.2	0.4	0.5	1.0	0.2	0.4	0.2	0.4	0.5	1.0	0.2	0.4	5.0	10	0.2	0.4	5.0	10	0.2	0.4
Zinc (mg/L)	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20

P.D. = Promedio Diario P.M = Promedio Mensual NA = No es aplicable
 (A), (B) y (C): Tipo de cuerpo receptor según la Ley Federal de Desechos.

Fuente: Diario Oficial de la Federación, 1997.