



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

Facultad de Estudios Superiores
CUAUTITLÁN



FALLA DE ORIGEN

"CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LAS AGUAS
RESIDUALES DEL INTERCEPTOR PONIENTE"

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO QUÍMICO

P R E S E N T A:

RODRIGO OSORIO RAMÍREZ

ASESOR:

I.Q. MARGARITA ALONSO ESPINOZA



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 está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

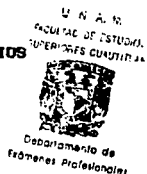
El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS



DR. JAIME KELLER TORRES
DIRECTOR DE LA FES-CUAUTITLAN
P R E S E N T E .


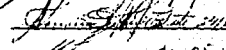
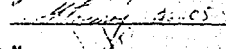
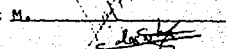
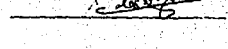
AT'N: Ing. Rafael Rodriguez Ceballos
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la F.E.S. - C.

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS TITULADA:
"Caracterización fisicoquímica de las aguas residuales
del Interceptor Poniente"

que presenta el pasante: Rodrigo Osorio Ramirez
con número de cuenta: 7907046-1 para obtener el TITULO de:
Ingeniero Químico

Considerando que dicha tesis reúne los requisitos necesarios para ser discutida en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

A T E N T A M E N T E .
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cuautilán Izcalli, Edo. de Méx., a 17 de mayo de 1994

PRESIDENTE	<u>Q. Ma. Luisa Arias M.</u>	
VOCAL	<u>Q. Florencia Gutiérrez E.</u>	
SECRETARIO	<u>I.Q. Margarita Alonso E.</u>	
PRIMER SUPLENTE	<u>I.A. Rosa Maribel Rodriguez M.</u>	
SEGUNDO SUPLENTE	<u>Q. Celestino Silva E.</u>	

Mi más sincero agradecimiento para todas aquellas personas que han contribuido a mi formación escolar y profesional.

A mis padres por su incansable apoyo y consejo.

En especial a mi esposa Guadalupe, por su apoyo y comprensión.

A los tres grandes milagros espirituales que el cielo me ha dado;

Mayeli, Laura e Isaac R.

I N D I C E

		página
1.0	Resumen.	1
2.0	Introducción.	3
3.0	Localización del área de estudio.	7
3.1	Ubicación de estaciones de muestreo.	9
3.2	Muestreo.	9
3.2.1	Tipo de muestras.	11
3.2.2	Método de muestreo.	11
3.2.3	Preservación de muestras.	12
3.2.4	Calendario de muestreo.	14
4.0	Factores que influyen en el reuso de aguas residuales en el riego agrícola.	15
4.1	Suelo.	15
4.1.1	Salinización de suelos.	16
4.2	Clima.	21
4.3	Cultivo.	22
5.0	Criterios de calidad para el agua de reuso en actividades agrícolas.	23
5.1	Salinidad.	24
5.1.1	Sodio.	28
5.1.2	Cloruros.	31
5.1.3	Carbonato de Sodio Residual (C.S.R.).	31
5.1.4	Calcio.	32
5.1.5	Magnesio.	32
5.1.6	Sulfatos.	33

	página	
5.1.7	Acidez y alcalinidad.	33
5.2	Nitrógeno.	34
5.3	Fósforo.	37
5.4	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).	38
5.5	Sólidos suspendidos.	43
5.6	Elementos traza (metales pesados).	43
5.6.1	Arsénico.	46
5.6.2	Cadmio.	47
5.6.3	Cobre.	48
5.6.4	Cromo hexavalente.	49
5.6.5	Mercurio.	50
5.6.6	Plomo.	52
5.6.7	Hierro.	54
5.6.8	Manganeso.	55
5.7	Organismos patógenos.	56
6.0	Determinación experimental de parámetros fisicoquímicos.	60
6.1	Métodos de análisis.	60
6.2	Resultados experimentales.	60
6.3	Análisis de resultados.	67
7.0	Conclusiones.	96
	Bibliografía.	99

1. RESUMEN

El presente estudio forma parte de un proyecto general que ha sido planteado por profesores e investigadores de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán (FES-C) en coordinación con el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT). Para determinar la factibilidad técnica para el tratamiento de las aguas residuales del canal Interceptor Poniente, así como el diseño y /ó selección del proceso de tratamiento - que permita su reuso como agua de riego en los campos experimentales de la FES-Cuautitlán.

En el proyecto general, planteado por la FES-Cuautitlán, se ha establecido un plan de trabajo, el cual consiste en cinco objetivos a alcanzar:

- 1.- Definición del problema
- 2.- Caracterización del agua residual del Interceptor Poniente
- 3.- Estudios de Tratabilidad
- 4.- Selección de alternativas
- 5.- Determinación de las características agronómicas y bioquímicas del suelo.

Para dar continuidad al referido proyecto, el estudio desarrollado en ésta tesis consistió en efectuar la caracterización fisicoquímica de las aguas residuales del Interceptor Poniente durante un año para conocer - las fluctuaciones en contaminantes y sus concentraciones.

Para lo cual, éste estudio se dividió en 7 capítulos.

En el capítulo 2 se presenta un panorama general acerca de la problemática, nacional y local, de contaminación y demanda de agua para los diversos usos.

En el capítulo 3 se realiza la delimitación del área de estudio, se establece y localiza la estación de muestreo. Se establece un calendario de muestreo y se dan lineamientos sobre la toma de muestras y su preservación.

Capítulo 4. Se realiza un estudio bibliográfico analizando los principales factores que influyen en el reuso de agua residual en actividades agrícolas.

Capítulo 5. Se presenta un estudio bibliográfico muy importante desde el punto de vista evaluación y dictamen de la calidad de agua y sus efectos en el suelo, cultivo, repercusiones sanitarias en el hombre y dificultades operacionales en el proceso de tratamiento.

Capítulo 6. Se presentan los resultados experimentales, su tratamiento estadístico y un análisis de los principales parámetros indicadores de contaminación.

Capítulo 7. A la luz del estudio bibliográfico realizado en los capítulos 2, 4 y 5 y en base a los resultados experimentales del capítulo 6; es éste apartado se concluye sobre los contaminantes que se encuentran fuera de norma y que es necesaria su depuración.

2. INTRODUCCION

El problema de abastecimiento del agua potable en el Estado de México está relacionado con el control de la contaminación y con la creciente demanda en las diversas actividades humanas.

Debido al intenso crecimiento poblacional y a la insuficiencia de fuentes superficiales para satisfacer la creciente demanda, se inició la perforación de pozos para extraer agua del manto acuífero del Valle de México. Este proceso se intensificó durante el presente siglo hasta llegar a niveles de sobreexplotación, lo cual se ha acentuado debido a la reducción de las zonas de recarga, como consecuencia del crecimiento de la mancha urbana.

Sin embargo, los pozos construidos no fueron suficientes, por lo que fué necesario acudir a otras fuentes externas al valle, primero a los acuíferos de Lerma y recientemente al río Cutzamala, de donde es necesario elevar el agua más de 1000 metros y conducirla por 127 kilómetros hasta la Ciudad de México. Esto requiere de tecnología compleja y costosa.

Por otro lado, para atender los requerimientos de agua potable de los habitantes del Valle de México, es necesario construir, operar y mantener adecuadamente la infraestructura del sistema, el cual capta fuentes superficiales y subterráneas y está formada por líneas de conducción, tanques de almacenamiento y regulación plantas de bombeo y redes prima-

rias y secundarias. (Ref. 7, 26)

Otro factor importante además de la cantidad de agua que se proporciona al usuario, es el mantener una calidad adecuada en el suministro, para lo cual debe contarse con dispositivos de control tales como plantas - potabilizadoras y laboratorios donde se evalúen los parámetros físico--químicos y bacteriológicos. (Ref. 34).

En lo que concierne a la industria nacional, la demanda de agua crece - año con año, se calcula que en el año 1980 la actividad industrial consumió 5 800 millones de metros cúbicos, cantidad en la que no se incluye el uso de agua por parte del sector hidroeléctrico, que es un usuario excepcional.

Los volúmenes de agua usados en las diferentes industrias oscilan según la actividad de cada una: la azucarera consume un 35%, la química 22%, la celulosa y papel, 8%, la petrolera 7% y las actividades textiles, de -- bebidas, siderurgia, alimentos y plantas termoeléctricas consumen en -- conjunto el 11% del agua destinada al sector industrial. (Ref. 26).

Durante el ciclo de aprovechamiento en las diversas actividades humanas el agua adquiere propiedades físicas y químicas que degradan su calidad y limitan su depuración natural.

Los contaminantes más comunes que se vierten directa o indirectamente - en las aguas, son entre otros: materia orgánica, metales pesados, pla--guicidas, fertilizantes químicos y microorganismos patógenos procedentes

de aguas negras que afectan la salud del hombre. (Ref. 13, 25)

Estos contaminantes generan una demanda de oxígeno, que los microorganismos acuáticos requieren para la digestión biológica de la materia orgánica, de tal manera que se rompe el equilibrio natural entre el volumen de oxígeno disuelto en el agua y la vida acuática. De todas estas sustancias que contaminan el agua, las más peligrosas son los metales pesados transportados por los desechos industriales, además de los microorganismos patógenos presentes en las aguas de desecho urbanas. ---- (Ref. 2,8).

Se sabe que el 90% de la contaminación del agua es causada por la actividad industrial, particularmente de las ramas azucareras, petroquímica el papel y la celulosa, textil, química y siderúrgica. El segundo lugar en aportación de contaminantes lo tiene la actividad doméstica, con sus desechos de aguas negras que aportan el 9.5% de la contaminación global. El tercer sitio le corresponde a la industria extractiva, minería y petróleo, con el 0.5% del global. (Ref. 32)

Por lo mencionado anteriormente, es necesario tratar de solucionar la problemática, optimizando el uso del agua y protegiendo de la contaminación a posibles fuentes de abastecimiento; así como buscar soluciones que permitan renovar el agua residual a tal nivel que pueda aprovecharse en las diferentes actividades con la calidad requerida.

Es práctica común que el agua residual sea normalmente descargada en cuerpos receptores superficiales y subterráneos sin ninguna norma de control real, limitando así su posterior aprovechamiento. (Ref. 11,12).

Esta problemática ha sido considerada por la Facultad de Estudios -- Superiores Cuautitlán (FES-C) , desarrollando un programa de investigación sobre la factibilidad técnica para el tratamiento de las aguas residuales del canal Interceptor Poniente, así como el diseño y /ó selección del proceso de tratamiento que permita su reuso como agua de riego en los campos experimentales de la FES-Cuautitlán, y de ésta manera -- además de evitar que dichas aguas contaminen, se evita el desperdicio del suministro municipal para éstos usos. (Ref. 6,24,29)

En base a las investigaciones y estudios ya realizados por la FES-Cuautitlán, el objetivo general de ésta tesis es efectuar la caracterización fisicoquímica de las aguas residuales del Interceptor Poniente. Para proponer la alternativa técnica aplicable a dichas aguas, se cumplirá con los siguientes objetivos específicos:

- 1.- Establecer los criterios de calidad para el agua de reuso en actividades agrícolas, en base a un estudio bibliográfico.
- 2.- Identificar los parámetros contaminantes cuya concentración sobrepasen los valores máximos permisibles, establecidos en las Normas Oficiales Mexicanas.

3.0 LOCALIZACION DEL AREA DE ESTUDIO

La Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán Campo IV, anteriormente Rancho Almaraz, se encuentra localizada dentro del área metropolitana del Estado de México, en el municipio de Cuautitlán Izcalli. Está comprendida entre $19^{\circ} 40'$ y $19^{\circ} 42'$ de latitud norte y $99^{\circ} 10'$ y $99^{\circ} 12'$ de longitud oeste del meridiano de Wreenwich. (Ref. 5):

La FES-Cuautitlán Campo IV, colinda al norte con otros predios, al sur con la avenida Jesús Jiménez Gallardo, la cual cruza al canal Interceptor Poniente por medio de un puente y comunica con la autopista México-Querétaro. Al este colinda con la avenida 20 de noviembre, la cual comunica al municipio de Cuautitlán de Romero Rubio con el municipio de Teoloyucan. Al oeste colinda con el canal Interceptor Poniente, el cual corre a todo lo largo de la zona de cultivo del Campo IV.

Las principales vías de comunicación del distrito federal a Campo IV son: la autopista México-Querétaro y la antigua carretera a Cuautitlán, que comunican con el Distrito Federal, ya sea saliendo por Naucálpan o bien por Vallejo. Y la vía Lopez Portillo que comunica a la zona de Ecatepec.

El Interceptor Poniente constituye un sistema de drenaje profundo para el desalojo de las aguas residuales del Distrito Federal. Este sistema cruza los municipios de Naucálpan, Tlalnepantla y Cuautitlán, en el Estado de México. Recorre el valle de Cuautitlán de sur a norte a través

de un canal a cielo abierto, en el que son vertidas tanto aguas residuales de origen doméstico como industrial.

A lo largo de 10 kilómetros desde el pueste de Lechería hasta el pueste que se encuentra al finalizar la zona de cultivo del Campo IV, se encuentran en el área de influencia del Interceptor Poniente, un gran número de fraccionamientos y poblaciones urbanas pertenecientes a los municipios de Cuautitlán Izcalli, Cuautitlán México y Tultitlán; así como las zonas industriales de Lechería, Cuautitlán Izcalli, Parque Industrial Cuamatla y el corredor industrial Xhala.

Dentro de éste mismo trayecto, se localizan alrededor de 20 alcantarillas que desembocan sus aguas al Interceptor Poniente. Se encontraron sólo dos industrias vertiendo sus desechos directamente al canal: El Grupo Textil Fila y Llantas y Artefactos de Hule, sin embargo es de suponerse que un gran número de industrias descarga sus efluentes residuales en el sistema de drenaje municipal, el cual finalmente se incorpora al canal Interceptor Poniente. (Ref. 12)

Dentro del área de influencia predominan 12 grandes ramas de la industria: (Reuso del Agua de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, informe no. 1. Ref. 12).

1. Fabricación de productos metálicos.
2. Fabricación de sustancias y productos químicos.
3. Fabricación de maquinaria, aparatos y accesorios eléctricos.
4. Fabricación de Textiles.
5. Manufactura de productos alimenticios.

6. Construcción, ensamble y reparación de equipos y material de transporte.
7. Industrias metálicas básicas.
8. Fabricación, ensamble y reparación de maquinaria y equipo.
9. Fabricación de otros productos minerales no metálicos.
10. Fabricación de productos de celulosa, papel y cartón.
11. Fabricación de muebles y accesorios de madera.
12. Fabricación de calzado.

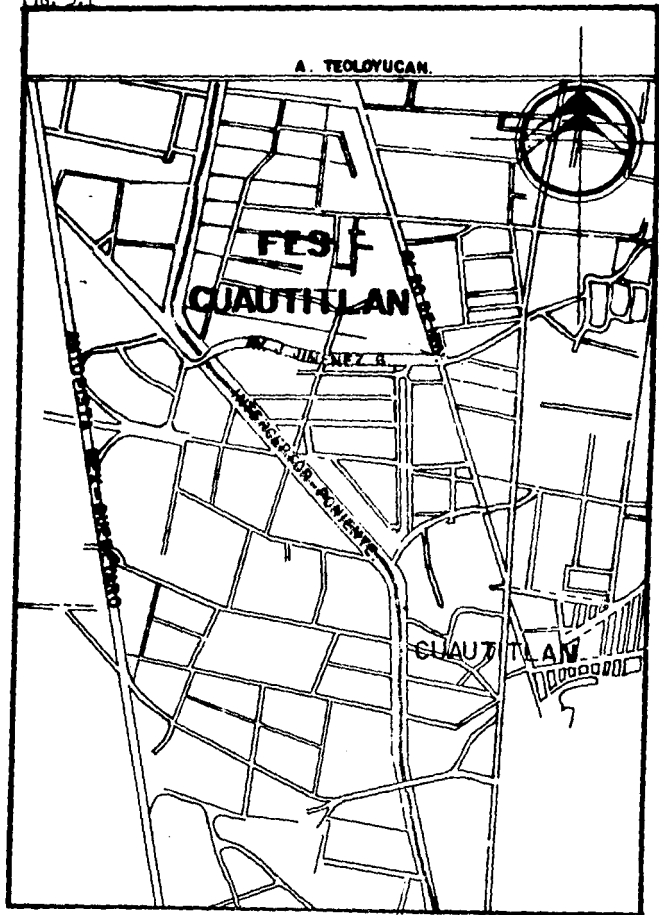
Estos datos sólo dan una idea de la pujante actividad industrial de la zona; y de la gran variedad de contaminantes que transporta en sus aguas el canal Interceptor Poniente.

3.1 UBICACION DE ESTACIONES DE MUESTREO

De acuerdo al objetivo general del proyecto, del cual forma parte ésta tesis, y que es la de dar tratamiento a una porción de las aguas residuales del Interceptor Poniente, Para su utilización como agua de riego en los campos experimentales de la FES-Cuautitlán Campo IV, se ubicó como estación de muestreo única el cruce del puente Jesús Jiménez Gallardo con el canal Interceptor Poniente. Ya que en ésta intersección se localiza el punto más idóneo para la instalación de la posible planta de tratamiento. (ver fig. 3.1).

3.2 MUESTREO

Los datos de calidad del agua son útiles sólo cuando se cumplen satisfac



toriamente las etapas de campo y laboratorio, para lo cual es necesario realizar un muestreo representativo de las condiciones que existen en el punto y hora de muestreo. Un muestreo bien realizado asegura la validez de los resultados, ya que indica las fluctuaciones reales en el tiempo y en el espacio de la calidad de agua.

Para este fin se mencionan algunos lineamientos que se han tomado en cuenta en el trabajo de muestreo del Interceptor Poniente.

3.2.1 TIPO DE MUESTRAS

En base al objetivo del estudio, características del cauce y tipo de agua, las muestras que se recolectaron fueron:

Muestra simple.- muestra individual tomada en un corto período y de forma tal que el tiempo transcurrido para completar el volumen necesario sea el tiempo empleado en su extracción.

Muestra compuesta.- La que resulta del mezclado de varias muestras simples. Se tomaron muestras simples cada hora por períodos de ocho horas.

3.2.2 METODO DE MUESTREO

Las muestras se tomaron al centro de la corriente aprovechando que en este punto el flujo es turbulento, de ésta manera se garantiza una homogeneidad en la muestra.

El recipiente muestreador atado a una cuerda se introduce en las aguas hasta una profundidad media. Se transfiere la muestra al recipiente de

plástico, de 10 litros de capacidad; debidamente etiquetada con los datos necesarios para su identificación y se transporta a la brevedad posible al laboratorio para su procesamiento.

Las muestras para análisis bacteriológico se obtienen directamente en un frasco de vidrio de boca ancha con tapón esmerilado, no menor de 125 ml. de capacidad y previamente esterilizado. La muestra debe ser preservada en refrigeración hasta su análisis. (9).

3.2.3 PRESERVACION DE MUESTRAS

Generalmente entre la colección de las muestras y su análisis en laboratorio existe un intervalo de tiempo que puede ser de horas o días. Durante éste tiempo, toman lugar reacciones físicas, químicas o bioquímicas que cambian las características reales de la calidad del agua. Para resolver éste problema, es necesario preservar las muestras con la adición de reactivos químicos o bajando la temperatura para retardar dichas reacciones. El tiempo máximo de almacenamiento y medio de preservación se encuentran tabulados en la tabla 3.2 para cada determinación.

TABLA 3.2 PRESERVACION DE MUESTRAS

PARA METRO	MEDIO DE PRESERVACION	TIEMPO MAXIMO DE ALMACENAMIENTO
ALCALINIDAD-ACIDEZ	REFRIGERACION A 4 °C	24 HORAS
DBO	REFRIGERACION A 4 °C	6 HORAS
DQO	2 ml/l DE H ₂ SO ₄ CONC.	7 DIAS
CLORUROS	NO SE REQUIERE	
COLOR	REFRIGERACION A 4 °C	24 HORAS
CIANUROS	NaOH 1 N A PH 10	24 HORAS
OXIGENO DISUELTO	A DETERMINAR IN SITU	
DUREZA	NO SE REQUIERE	
METALES TOTALES	5 ml/l HNO ₃ CONC.	6 MESES
METALES DISUELTOS	FILTRADO: 3 ml/l HNO ₃	6 MESES
NITROGENO AMONIACAL	40 mg/l HgCl ₂ . 4 °C	7 DIAS
NITROGENO ORGANICO	IDEM	INESTABLE
GRASAS Y ACEITES	2 ml/l H ₂ SO ₄ CONC. 4 °C	24 HORAS
POTENCIAL DE HIDROGENO	NINGUNO UTIL	
FENOLES	1.0 g. CuSO ₄ + H ₃ PO ₄ CONC. A PH 4.0 y 4 °C	24 HORAS
POSFORO	40 mg/l HgCl ₂ , 4 °C	7 DIAS
SOLIDOS	NINGUNO UTIL	
CONDUCTIVIDAD	NO SE REQUIERE	
TURBIDEZ	NINGUNO UTIL	

FUENTE: METCALF ENDY, TRATAMIENTO Y DEPURACION DE AGUAS RESIDUALES P.753.

3.2.4 CALENDARIO DE MUESTREO

De acuerdo a las características propias del Canal Interceptor Poniente, la variación en la calidad de las aguas residuales está en función tanto del punto de muestreo como del día, hora y época del año.

En lo que respecta a la estación de muestreo, ésta ha sido definida por el punto más probable de ubicar la obra de toma; cruce del canal con el puente Jesús Jiménez Gallardo.

A su vez el calendario de muestreo cubre un período de aproximadamente dos años ; 12 de mayo de 1991 al 4 de junio de 1993, con un total de 13 muestras de tipo compuesto recolectadas en jornadas de ocho horas cada dos horas en diferentes días de la semana. En éste período también quedan cubiertas las épocas de lluvia y estiaje que afectan a la dilución o concentración de los contaminantes.

CALENDARIO DE MUESTREO

FECHA DE MUESTREO	FECHA DE MUESTREO	MUESTRA COMPUESTA
12-05-91	15-02-93	X
09-06-91	21-03-93	X
06-10-91	29-03-93	X
20-04-92	04-06-93	X
08-06-92		X
13-11-92		X
16-11-92		X
07-02-93		X

4. FACTORES QUE INFLUYEN EN EL REUSO DE AGUAS RESIDUALES EN EL RIEGO AGRICOLA.

Existen muchos factores que, independiente o en combinación, influyen en la cantidad y calidad de agua necesaria para el desarrollo de las plantas, estos factores varían con la región, y también de un año a otro; — unos son debidos al factor humano, y otros a la naturaleza, ambos se relacionan íntimamente con las características de desarrollo, crecimiento y rendimiento de los cultivos.

El factor humano ejerce su influencia con los métodos de cultivo en todos sus aspectos, con los sistemas y métodos de riego, con la construcción y operación de las obras, etc.

Los factores naturales más importantes son el tipo de suelo, la topografía, el clima y el tipo de cultivo. De los cuales se mencionaran los aspectos más importantes relacionados con la utilización de aguas residuales en el riego agrícola. (Ref. 17).

4.1 EL SUELO

Quando se aplican aguas residuales, crudas o pretratadas, a suelos y cultivos con fines de irrigación, debe tenerse presente que se está realizando una aportación de diversos materiales, orgánicos, nutrientes, metales pesados, sales disueltas y microorganismos. Aunque la mayoría de éstos componentes forman parte de los suelos y son esenciales para el desarrollo de los cultivos, existen limitaciones en cuanto a la proporción de su presencia.

A medida que el agua se transporta por las plantas y el perfil del suelo, se remueven la mayoría de las sustancias que contiene, sin embargo, es posible que estas sustancias produzcan efectos en los suelos, en los cultivos, en las aguas receptoras, en los consumidores y en los trabajadores agrícolas. (Ref. 19).

El tipo y el grado de afectación estarán en función de la tolerancia de los cultivos a través de sus diversas etapas de desarrollo, del tipo de suelo, del clima, de la profundidad de manto acuífero y de las características fisicoquímicas y biológicas del agua residual aplicada.

4.1.1. SALINIZACION DE SUELOS

Como ya se ha mencionado, existe una acumulación de sales en el suelo que en un momento dado trae como consecuencia efectos nocivos. El efecto nocivo de las sales (sodio, calcio magnesio, carbonatos, cloruros, boro, etc.), se debe por un lado a que producen incrementos en la Presión Osmótica de la solución del suelo que está en contacto con las raíces de las plantas, y por lo tanto se reduce la cantidad de agua que pueden absorber las raíces, por otro lado, compiten por los sitios de intercambio iónico, con las partículas de suelo, desplazando a otros compuestos esenciales.

Para el desarrollo de los cultivos. Lo anterior se traduce tanto en un abatimiento del agua disponible como de los nutrientes de la rizósfera, lo que ocasiona disminución en el rendimiento de los cultivos o pérdida total de las cosechas.

Si realizamos un balance de agua y substratos en una porción de suelo -

cultivado bajo riego con aguas residuales, tendríamos, que parte del -- agua suministrada se pierde por evapotranspiración, otra parte se retiene en la masa del suelo, otra es absorbida por las plantas, y el resto se infiltra hacia los mantos subterráneos o se drena hacia las corrientes -- superficiales.

En cuanto a los substratos (materia orgánica, nutrientes, sales disueltas, metales pesados, etc.), parte de ellos son asimilados por el suelo y los cultivos, (ésto dependerá del tipo de suelo y cultivo), otra parte se infiltrará hacia mantos subterráneos por lixiviación, otra parte -- más es arrastrada por corrientes superficiales, el resto se acumula en -- el cuerpo del suelo. (Ref. 18).

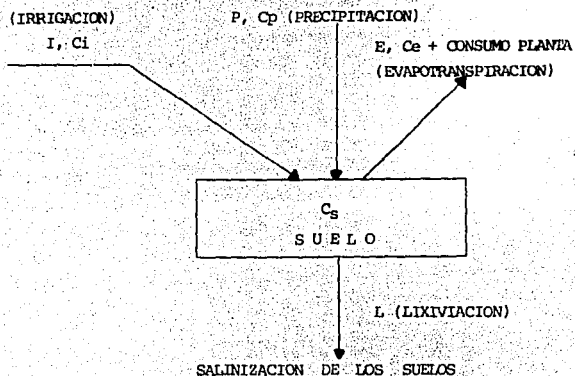
La magnitud en que el suelo puede retener o asimilar las sales, está íntimamente relacionada con su capacidad de intercambio catiónico (C.I.C.), la cual proporciona una medida de la reactividad química del suelo y depende de su contenido de arcilla, materia orgánica, óxidos de hierro e hidruros de aluminio. Los principales cationes que intervienen en este proceso son: calcio, magnesio, potasio, sodio, aluminio, hidrógeno, amonio, hierro y zinc. (Ref. 37).

De todas las reacciones de intercambio catiónico que se presentan en los suelos es de importancia especial, la del intercambio del sodio por el calcio, cuando las aguas residuales que se aplican a los suelos poseen cantidades considerables de sodio en solución, éste se acumula en el suelo y cuando alcanza concentraciones elevadas en relación con los cationes disueltos, ya sea por la acumulación del sodio o por la precipitación del calcio y del magnesio sustituye a éstos en el intercambio, produciendo un desequilibrio electrónico en las micelas del suelo en las que deja cargas negativas residuales, que hacen que las partículas se repelan y en consecuencia, el suelo se deflúcula y pierde su estructura, disminuyendo su permeabilidad al aire y al agua, y se favorece la formación de costras, todo lo cual afecta o impide el desarrollo normal de los cultivos.

Se ha desarrollado un concepto que permite establecer un criterio sobre el contenido de sales en el suelo, éste es la razón de Salinación, definida como la relación de la concentración de sales en el suelo y la concentración de sales en el agua de Irrigación.

$$R_s = \frac{C_s}{C_i}$$

PARTIENDO DE UN BALANCE DE SALES EN UNA PORCION DE SUELO, TENEMOS:



- DONDE: I = CANTIDAD DE AGUA SUMINISTRADA POR IRRIGACION.
 P = CANTIDAD DE AGUA SUMINISTRADA POR PRECIPITACION.
 E = CANTIDAD DE AGUA PERDIDA POR EVAPOTRANSPIRACION.
 L = CANTIDAD DE AGUA PERDIDA POR LIXIVIACION.
 Ci = CONCENTRACION DE SALES EN EL AGUA DE IRRIGACION.
 Cp = CONCENTRACION DE SALES EN EL AGUA DE PRECIPITACION.
 Ce = CONCENTRACION DE SALES PERDIDAS POR EVAPOTRANSPIRACION.
 Cs = CONCENTRACION DE SALES EN EL SUELO.

BALANCE DE AGUA CUANDO EL CONTENIDO DE HUMEDAD NO CAMBIA.

$$I + P - E = L \quad \text{Ec. 4.1}$$

BALANCE DE SALES.

$$(I \cdot C_i) + (P \cdot C_p) = (L \cdot C_s) + (E \cdot C_e) + \text{CONSUMO PLANTA} \quad \text{Ec. 4.2}$$

DEBIDO A QUE LAS SALES PERDIDAS POR EVAPOTRANSPIRACION SON DESPRECIABLES.

$$C_e \text{ ----- } 0$$

CONSUMO PLANTA ----- DESPRECIABLE

$$\text{SI DEFINIMOS } C_i \text{ (PROMEDIO)} = \frac{I \cdot C_i + P \cdot C_p}{(I + P)} \quad \text{Ec. 4.3}$$

$$(I + P)$$

REORDENANDO LA ECUACION 4.2 TENEMOS:

$$(I + P) C_i \text{ (PROMEDIO)} = L \cdot C_s \quad \text{Ec. 4.4}$$

$$\frac{C_s}{L} = \frac{1}{I + P} = R_s \quad \text{Ec. 4.5}$$

$$C_i \text{ (PROMEDIO)} = \frac{L \cdot R_s}{(I + P)}$$

CUANDO NO HAY PRECIPITACION:

$$\frac{C_s}{L} = \frac{1}{I} \quad \text{Ec. 4.6}$$

$$C_i = \frac{L}{I}$$

DEL ANTERIOR ANALISIS SE INFIERE QUE:

- 1.- La razón de salinización es inversamente proporcional a la lixiviación (L).
- 2.- La razón de salinización es directamente dependiente de la evapotranspiración (E), lo que ocasiona mayor concentración de sales en el suelo en lugares secos y calientes.

3.- La precipitación y la lixiviación reducen la salinización de los suelos.

Para suelos compactos la lixiviación varía entre 10 y un 20% de lo irrigado (I), es decir:

$$0.1 \leq \frac{L}{I} \leq 0.2 \quad \text{Ec. 4.7}$$

Por lo que la razón de salinización (Rs) variaría de 5 a 10, o bien $Cs = (5 \text{ a } 10) Ci$.

Para suelos muy drenados, la lixiviación varía entre un 20 y un 40% de lo irrigado (I), es decir:

$$0.2 = \frac{L}{I} = 0.4 \quad \text{Ec. 4.8}$$

Por lo que la razón de salinización (Rs) varía de 2 a 3, o bien $Cs = (2 \text{ a } 3) Ci$.

4.2. EL CLIMA

El clima es un concepto geográfico que representa toda la variedad de fenómenos meteorológicos específicos de una determinada región. Los numerosos factores que forman el clima están sujetos a fluctuaciones individuales, a saber: Temperatura, precipitación pluvial, presión atmosférica, radiación solar, los vientos, etc.

Existe indudablemente una relación entre el clima y las características de flora y fauna de cualquier población, por lo que es recomendable determinar experimentalmente en cada localidad los parámetros que forman

el clima. Estos estudios son necesarios para cualquier proyecto de irrigación, tanto de aguas superficiales blancas como de aguas residuales -- crudas o pretratadas.

4.3. CULTIVO

A partir de los estudios de los recursos hidráulicos existentes (cantidad y calidad de agua disponible), complementando con los estudios de suelos y climatología, es posible determinar los cultivos más susceptibles de establecerse en el área de proyecto.

Entre los productos que se cultivan en los campos experimentales de la FES-Cuautitlán están: avena, trigo, maíz, sorgo, lechuga, betabel y -- otras hortalizas.

5. CRITERIOS DE CALIDAD PARA EL AGUA DE REUSO EN ACTIVIDADES AGRICOLAS.

Con objeto de proteger la salud del hombre y el ambiente por los efectos ocasionados por el inadecuado reuso del agua, muchos países del mundo -- han establecido normas de calidad y niveles máximos a los que los contaminantes presentes en el agua se deban encontrar para reutilizar aguas en diferentes usos. Así la utilización de aguas residuales crudas o pretratadas se presenta como una alternativa de reuso en actividades de -- irrigación agrícola.

En realidad no pueden existir normas de calidad de agua para riego como un concepto separado, los criterios o normas tienen que definirse tomando en cuenta: el suelo, el clima, tipo de cultivo y tipo de irrigación; como ya se ha mencionado en el apartado anterior.

En virtud de que las aguas residuales contienen diversos contaminantes, entre los que se encuentran los químicos (principalmente sales disueltas, compuestos orgánicos y metales pesados) y los biológicos (organismos patógenos); es importante evaluar los efectos contaminantes en el suelo, - cultivo y finalmente en el hombre.

A continuación se presenta la evaluación de los parámetros más comunes e importantes desde el punto de vista de irrigación agrícola de aguas de reuso, incluye:

Salinidad

Sodio

Nitrógeno

Cloruros

Fósforo

Carbonatos	Demanda Bioquímica de Oxígeno
Calcio	Sólidos en Todas sus Formas
Magnesio	Elementos Traza
Sulfatos	Organismos Patógenos
Acidez y Alcalinidad	

5.1. SALINIDAD

La salinidad en las aguas residuales es debida a la presencia de sales minerales que se encuentran disueltas en forma iónica. Unos cuantos de estos iones se encuentran presentes casi siempre y su suma representa casi la totalidad de iones disueltos. Estos iones son fundamentales y sobre ellos descansará la mayor parte de los aspectos químicos e hidrogeológicos, estos iones fundamentales son: (Ref. 32).

ANIONES

Cloruros	Cl^-
Sulfato	$SO_4^{=}$
Bicarbonato	CO_3H^-

CATIONES

Sodio	Na^+
Calcio	Ca^{++}
Magnesio	Mg^{++}

El resto de iones y sustancias disueltas se encuentran por lo general en cantidades más pequeñas que las anteriores, se encuentran habitualmente formando menos de 1% del contenido iónico total.

Los iones menores más importantes son:

ANIONES

Nitratos	NO_3^-
----------	----------

CATIONES

Potasio	K^+
---------	-------

Nitritos	NO_2^-	Hierro	Fe^{++}
Carbonato	$\text{CO}_3^{=}$	Amonio	NH_4^+
Fluoruro	F^-	Estroncio	Sr^{++}

Otros iones se encuentran en menor proporción, en concentraciones entre 0.001 y 0.1 ppm.

ANIONES

Bromuro	Br^-
Sulfuro	$\text{S}^{=}$
Fosfatos	PO_4^{3-}

CATIONES

Hierro	Fe^{+++}
Manganeso	Mn^{++}
Aluminio	Al^{+++}

Si bien las aguas residuales pueden contener cantidades elevadas de elementos menores, o incluso de los que generalmente están como trazas y -- constituir verdaderos minerales de esas sustancias; pero muchas veces si guen siendo una pequeña porción del contenido total en el que generalmen te dominan los iones cloruro, sodio y calcio.

El incremento de las sales en las aguas residuales es debida al uso do- méstico, al uso industrial y por la adición de agua muy mineralizada pro cedente de pozos y aguas subterráneas.

El contenido de sales en un cuerpo de agua puede evaluarse determinando - la cantidad de sólidos disueltos totales (SDT), el cual se obtiene de la diferencia de sólidos totales (ST) y sólidos suspendidos totales (SST).

$$\text{SDT} = \text{ST} - \text{SST}$$

Ec. 5.1

La medida de la conductividad eléctrica (CE) también es un parámetro que se relaciona directamente con el contenido de sólidos disueltos y por en

de con las sales disueltas.

Para aguas residuales domésticas tenemos una correlación empírica:

$$\text{SDT (ppm)} = (0.55 - 0.9) \text{ CF (micromhos/cm)} \quad \text{Ec. 5.2}$$

En aguas residuales domésticas: $100 \leq \text{SDT} \leq 400$ (ppm).

En residuos industriales varía considerablemente.

Para aguas de irrigación agrícola, se han establecido clasificaciones según el contenido de sales, tipo de cultivo, tipo de suelo y peligro de salinidad. La siguiente clasificación se basa en estos conceptos y se relaciona con la figura 5.1. (Ref. 10).

- C-1 Agua de baja salinidad. Conductividad entre 100 y 250 micromhos/cm, a 25 °C que corresponde aproximadamente a 64 - 160 mg/l de sólidos disueltos. Puede usarse para la mayor parte de los cultivos en casi todos los suelos, con muy poco peligro de que desarrolle salinidad. Es preciso algún lavado, que se logra normalmente con el riego, excepto en suelos de muy baja permeabilidad.
- C-2 Agua de salinidad media. Conductividad entre 250 y 750 micromhos/cm a 25 °C que corresponde aproximadamente a 160 - 480 mg/l de sólidos disueltos. Puede usarse con un grado moderado de lavado. Sin excesivo control de la salinidad. Se pueden cultivar plantas moderadamente tolerantes a las sales.
- C-3 Agua altamente salina. Conductividad entre 750 y 2250 micromhos/cm a 25 °C, que corresponde aproximadamente a 480 - 1440 mg/l de sólidos disueltos. No puede usarse en suelos de drenaje deficiente. Selección de plantas muy tolerantes a las sales y posibilidad de con-

trol de salinidad del suelo, aún con drenaje adecuado.

C-4 Agua muy altamente salina. Conductividad superior a 2250 micromhos/cm a 25 °C, aproximadamente 1440 mg/l de sólidos disueltos. No es apropiada en condiciones ordinarias para el riego. Puede utilizarse con una selección de cultivos en suelos permeables, de buen drenaje y con exceso de agua para lograr un buen lavado.

En cuanto a la tolerancia de los cultivos a las sales, aunque éstas les afectan fisiológicamente, rara vez presentan síntomas evidentes de los daños excepto bajo extrema salinización. Las plantas afectadas por sales generalmente aparecen normales, aunque en muchos casos son más gruesas y jugosas, como sucede en la mayoría de las plantas herbáceas, sin embargo las especies leñosas son una excepción; en ellas la salinidad les causa quemaduras en las hojas, negrosis y defoliación.

Aunque la salinidad afecta a todas las plantas, la magnitud de los daños varía entre las especies y entre las diferentes etapas de su desarrollo, por ejemplo, el arroz es tolerante a las sales durante su germinación, luego se torna sensible durante la primera etapa de su crecimiento, y posteriormente a medida que continúa creciendo adquiere más resistencia hasta que llega a la etapa de maduración.

Si bien no existe un nivel máximo permisible de sales en el suelo y en las aguas de irrigación que no llegue a afectar a los cultivos, por las razones anteriores es recomendable que el contenido de sales (medida a través de la conductividad eléctrica) sea tal que no ocasione una disminución mayor al 10% en el rendimiento de los cultivos. (Tabla 5.1).

5.1.1. SODIO

Los efectos adversos que puede ocasionar el sodio en cultivos, depende de las concentraciones relativas de los iones sodio, calcio y magnesio (como se mencionó en el capítulo anterior, salinización de suelos). Para evaluar la cantidad de sodio intercambiable (Intercambio Cationico) se define el concepto Razón de Absorción de Sodio (RAS).

$$\text{RAS} = \frac{\text{Na}}{\sqrt{\frac{\text{Ca} + \text{Mg}}{2}}} \quad \text{Ec. 5.3}$$

Todos en meq/l.

Existe una clasificación de las aguas de irrigación propuesta por la U. S. Salinity Laboratory Staff. Esta clasificación se basa en las siguientes características: (Ref. 10).

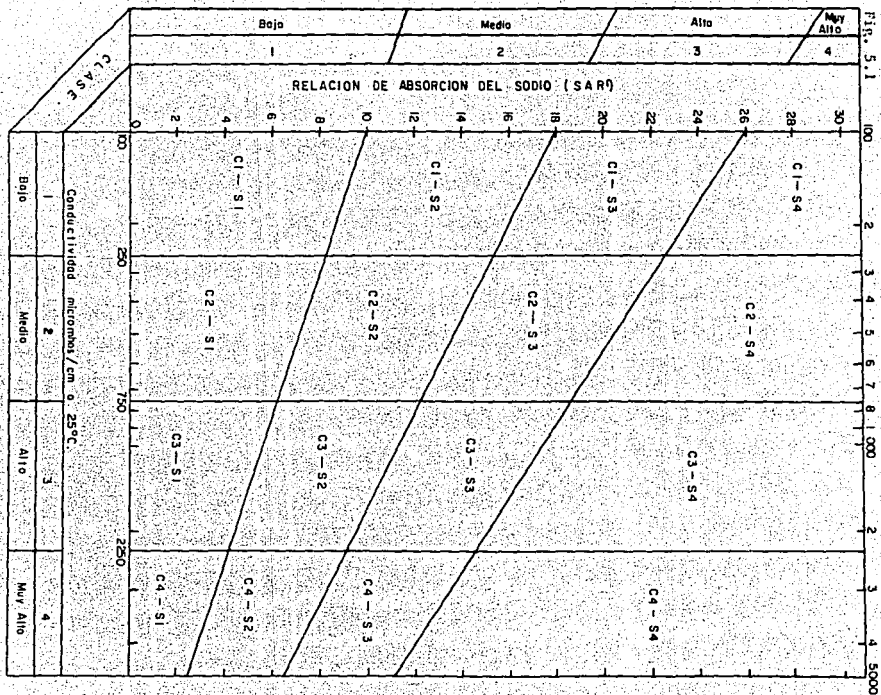
- 1) La concentración total de sales solubles expresada mediante la conductividad eléctrica en micromhos/cm a 25 °C.
- 2) La concentración relativa del sodio con respecto al calcio y al magnesio, RAS.

En la figura 5.1 pueden apreciarse las 16 categorías del agua, establecidas al relacionar la conductividad, el RAS y el peligro de alcalinización del suelo.

Según el contenido de sodio se tiene la siguiente clasificación:

- S-1 Agua baja en sodio, RAS = 0 - 10 puede usarse en la mayoría de los suelos con escasas posibilidades de alcanzar elevadas concentraciones de sodio intercambiable. Los cultivos sensibles, como los frutales de pipa, pueden acumular cantidades perjudiciales de sodio.
- S-2 Agua media en sodio. RAS = 10 - 18 puede representar un peligro en condiciones de lavado deficiente, en terrenos de textura fina con elevada capacidad de cambio catiónico, si no contienen yeso.
- S-3 Agua alta en sodio. RAS = 18 - 26 en la mayor parte de los suelos pueden alcanzarse un límite de toxicidad de sodio intercambiable, por lo que es preciso un buen drenaje, lavados intensos y adiciones de materia orgánica. En los suelos yesíferos el riesgo es menor.
- S-4 Agua muy alta en sodio. RAS = 26. En general inadecuada para riego excepto con salinidades bajas o medianas siempre que se pueda posi-

PELIGRO DE ALCALINIZACION DEL SUELO.



bilitar su empleo con la disolución de calcio del suelo, el uso de yeso o de otros elementos.

5.1.2. CLORUROS

Los cloruros, en general son sales muy solubles, muy estables en disolución y muy difícilmente precipitables; no se oxidan ni se reducen en las aguas naturales bajo condiciones normales.

En las aguas residuales de tipo doméstico la concentración varía entre 100 y 400 mg/l. Para aguas residuales industriales, varía considerablemente dependiendo del tipo de industria.

Los efectos adversos sobre el crecimiento de cultivos se presenta primero por el contenido de sales que por el contenido de cloruros en el agua. Por lo que no es necesario establecer un nivel máximo de este parámetro en aguas de irrigación.

5.1.3. CARBONATO DE SODIO RESIDUAL (CSR)

Se denomina Carbonato de Sodio Residual a la cantidad de carbonato que se encuentra formando, hipotéticamente, carbonato de sodio Na_2CO_3 o bicarbonato de sodio NaHCO_3 . Se calcula restando de la suma de los aniones carbonato y bicarbonato la de los cationes calcio y magnesio, expresados todos en meq/l. Si la diferencia es negativa no existe carbonato sodico residual. (Ref. 10).

$$\text{CSR} = (\text{CO}_3^{=} + \text{HCO}_3^{-}) - (\text{Ca} + \text{Mg}) \quad \text{en meq/l} \quad \text{Ec. 5.4}$$

En cuanto a la presencia de bicarbonato o carbonato sodico residual, aun que no se tienen demasiados datos, se puede establecer una clasificación primaria: (Ref. 10)

CSR	-	1.25		es seguro	
1.25	=	CSR	=	2.5	es regular
CSR	-	2.5		es inadecuado	

5.1.4. CALCIO

El calcio es el componente principal de la dureza en el agua y generalmente se encuentra en el rango de 5 - 500 mg/l, como CaCO_3 , (2 - 200 -- mg/l como calcio). (Ref. 20).

Como ya se ha mencionado el calcio y magnesio son capaces de precipitar en forma de carbonato de calcio y magnesio. Por lo que la dureza es un factor importante en la determinación de los criterios de calidad en -- agua de irrigación.

5.1.5. MAGNESIO

La dureza de magnesio de un agua es, por lo general, aproximadamente una tercera parte de la dureza total, siendo las dos terceras partes restantes la dureza debida al calcio. El magnesio varía en forma típica entre 10 - 50 mg/l. (aproximadamente 40 - 200 mg/l. como CaCO_3).

5.1.6. SULFATOS

Los sulfatos forman también parte de las sales disueltas que se encuentran en forma apreciable en las aguas, su rango típico varía de 5 a 200 mg/l.

5.1.7. ACIDEZ Y ALCALINIDAD

El concepto acidez en agua puede ser interpretado como la capacidad que tiene un agua para neutralizar una base.

Para la alcalinidad puede interpretarse de la misma manera, la capacidad que tiene un agua para neutralizar un ácido.

La interpretación común de acidez o alcalinidad de una solución es referida a la escala de pH; así, si $\text{pH} < 7$ la solución es ácida; si $\text{pH} > 7$ la solución es alcalina.

En la química del agua no se toma como referencia el pH 7. Se toma como referencia los puntos de equivalencia del bicarbonato ($\text{pH} = 8.3$) y el punto de equivalencia del ácido carbónico ($\text{pH} = 4.5$).

De tal forma que tenemos tres tipos de alcalinidad:

- 1).- Alcalinidad a la fenolftaleína (P)
- 2).- Alcalinidad al anaranjado de metilo (M)
- 3).- Alcalinidad total (T)

La clasificación considera que toda la alcalinidad se debe a los iones de carbonato, bicarbonato e hidróxido; suponiendo la ausencia de otros ácidos débiles de composición orgánica e inorgánica como: silícico, fosfórico y bórico. Se presupone también la incompatibilidad en una misma

muestra de las alcalinidades de bicarbonato e hidróxido. (Ref. 1.32).

Como los cálculos se hacen sobre una base estequiométrica los resultados no representan, en su estricto sentido, las concentraciones de los iones; sin embargo, son muy útiles para interpretar la mayoría de los análisis -- del agua.

El agua residual es generalmente alcalina, recibiendo su alcalinidad del agua de suministro, del agua subterránea y de las materias añadidas durante el uso doméstico o industrial. (Ref. 2).

Para la irrigación de cultivos, es recomendable mantener el valor de pH entre 6.0 y 9.0.

5.2. NITROGENO

El nitrógeno es uno de los elementos esenciales para el crecimiento de -- protistas y plantas, además de ser absolutamente básico para la síntesis de proteínas.

El nitrógeno presente en el agua residual reciente, se encuentra principalmente en la forma de urea y materia proteica. La edad del agua residual viene indicada por la cantidad relativa de amoníaco presente. -- (Ref. 16).

En un ambiente aerobio, las bacterias pueden oxidar el nitrógeno de amoníaco a nitratos y nitritos. El predominio del nitrógeno del nitrato in dica que el agua residual se ha estabilizado con respecto a la demanda -- de oxígeno. Sin embargo, los nitratos pueden ser utilizados por las algas y otras plantas acuáticas para formar proteínas vegetales que, a su vez pueden ser utilizadas por animales para formar proteínas animales. --

La muerte y descomposición de las proteínas animales y vegetales por las bacterias produce nuevo amoníaco.

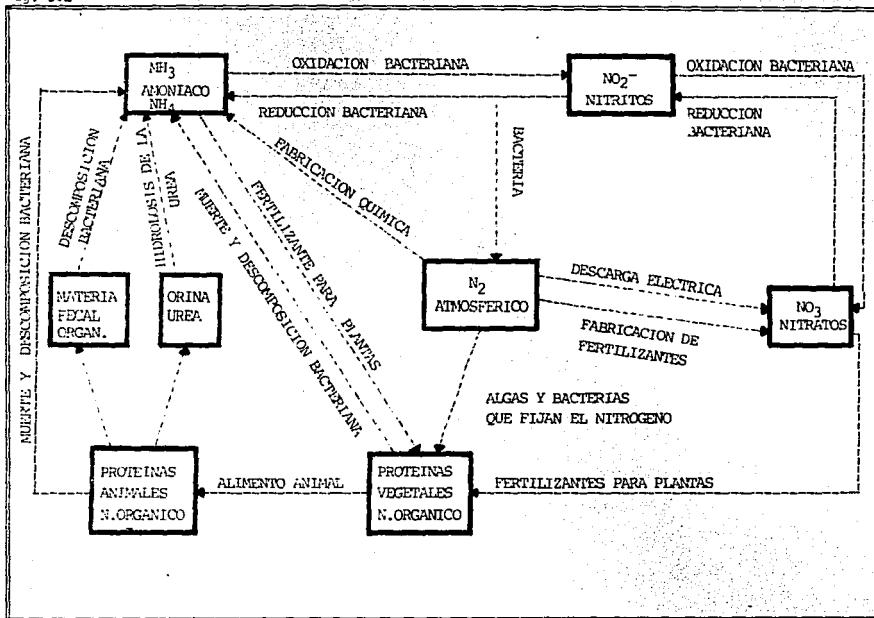
En el tratamiento de aguas residuales es necesario conocer el contenido de nitrógeno para valorar la tratabilidad de éstas aguas mediante procesos biológicos. Cuando el contenido de nitrógeno sea insuficiente se necesitará la adición del mismo para hacer tratable el agua residual. -- Cuando se requiera el control de crecimiento de algas en cuerpos receptores, es conveniente la eliminación o reducción del nitrógeno en las aguas residuales antes del vertido. (Ref. 16).

En aguas residuales que se utilicen para la irrigación no deben existir cantidades de nitrógeno tales que provoquen una hiperfertilización. -- (Ref. 33).

Los compuestos de nitrógeno se pueden eliminar de las aguas residuales por procesos de tratamiento químicos, físicos y biológicos, de los cuales el biológico es uno de los más económicos (Eckenfelder y Argaman, -- 1978).

El proceso más significativo para la remoción del amoníaco a nitritos y nitratos es la "nitrificación". La nitrificación suministra la fuente de energía para las bacterias nitrificantes aeróbicas y autotróficas. -- Los nitritos y nitratos, producidos por nitrificación o presentes en las aguas residuales originales, se pueden eliminar por reducción microbiológica a nitrógeno gaseoso. Este proceso se conoce como "desnitrificación" y ocurre en condiciones anoxicas, donde ciertos microorganismos utilizan los nitritos y nitratos como fuente optativa de oxígeno. (ver fig. 5.2). (Ref. 15, 16).

Fig. 5.2



CICLO DEL NITROGENO

La nitrificación y desnitrificación biológicas sucesivas forman así, un mecanismo para la total remoción del nitrógeno en la forma de amoníaco, nitritos y nitratos.

Los compuestos de nitrógeno orgánico se eliminan en cantidad considerable a través de los procesos biológicos aerobios convencionales.

5.3 FOSFORO

El fósforo también es un nutriente esencial para el crecimiento de algas, plantas y demás organismos biológicos.

El fósforo presente en las aguas residuales como diversas formas de fosfatos, entre ellas, ortofosfatos, polifosfatos, metafosfatos y fosfatos orgánicos; provienen del uso extendido de detergentes fosfatados, escurremientos agrícolas, desechos industriales y de los fosfatos de origen natural.

Para aguas residuales domésticas el contenido de fosfatos totales varía desde 6 hasta 20 mg/l. En aguas residuales de origen industrial su contenido es variable ya que son ampliamente utilizados como ablandadores en el acondicionamiento de agua para procesos industriales.

En aguas destinadas para irrigación no deben existir cantidades tales que provoquen una hiperfertilización.

5.4 DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO)

El análisis del contenido orgánico de un agua residual es esencial para evaluar su grado de contaminación y el impacto ambiental que ocasiona su descarga en cuerpos receptores. El número y variedad de compuestos, así como sus concentraciones, son una dificultad para cuantificarlos específicamente, por lo que se han desarrollado pruebas indirectas no específicas, tales como: la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Carbón Orgánico Total (COT) que proporcionan un índice de la cantidad de materia orgánica presente.

El parámetro indicador de contaminación más utilizado y aplicable a las aguas residuales y superficiales es la DBO a los 5 días (DBO_5), la cual cuantifica el oxígeno disuelto usado por los microorganismos en la oxidación bioquímica de la materia orgánica. La DBO es el único parámetro que provee una diferenciación entre la cantidad de materia orgánica biodegradable y no biodegradable; derivandose de éste hecho su importancia.

La determinación de la DBO_5 es una prueba empírica en la cual se han estandarizado los procedimientos de laboratorio para obtener resultados reproducibles. Se ha aceptado 5 días y una temperatura de 20 °C como condiciones estándar de incubación.

La reacción de la DBO consiste en dos fases principales tal como se ilustra en la figura 5.3 .

1) La primera fase concierne a la degradación de la materia carbonosa, en la que el material orgánico presente es oxidado.



El oxígeno requerido para completar la conversión total de materia orgánica a bióxido de carbono y agua, es definido como la demanda teórica de oxígeno (DTO). El oxígeno consumido después de un período de incubación de 20 a 30 días (teóricamente infinito), representa la DBO última (DBO_u); en éste período la oxidación se ha completado de un 95 a un 99 %; y en el período de 5 días utilizado en el ensayo de la DBO, la oxidación se ha efectuado en un 60 - 70 % .

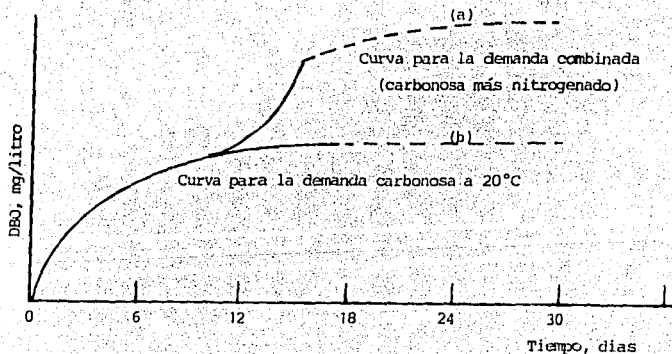


Fig. 5.3. Curva de la DBO

2) En la segunda fase, compuestos nitrogenados tales como el amoníaco y nitritos son convertidos a nitratos:



Estas reacciones son definidas como nitrificación; y la demanda de oxígeno no ejercida durante esta fase por compuestos nitrogenados se conoce como DNO. La suma de las demandas de oxígeno en ambas fases, carbonosa y de nitrificación, se conocen como la demanda última de oxígeno (DUO).

$$\text{DUO} = \text{DBO} + \text{DNO}.$$

La reacción de la DBO no es tan simple como lo ilustran las ecuaciones (5.5) y (5.6); es una compleja interacción entre muchas especies de microorganismos y un número de compuestos orgánicos y nitrogenados. El estado inicial de la descomposición orgánica involucra la hidrólisis de azúcares de alto peso molecular, proteínas, grasas y almidones; y la síntesis de los productos de estas reacciones. También se origina el crecimiento de otros microorganismos en respuesta a los productos formados en la reacción metabólica inicial, eventualmente, organismos depredadores, tales como protozoarios, amibas y ciliados; lo que constituye una auténtica cadena alimenticia a nivel microscópico.

De acuerdo a estudios realizados por Bhata y Gaudy, 1965; Gates y Ghosh, 1971; Bush, 1958; Sobre el desarrollo de la reacción de la DBO en la fase carbonosa, se distinguen dos fases importantes (figura 5.3)

La primera fase se relaciona con la utilización del sustrato soluble, -- originalmente presente en la muestra, parte es oxidado y parte es sintetizado en materia celular; ésto ocurre dentro de las primeras 24 a 48 horas de incubación. Una meseta marca el límite de una segunda fase que está asociada principalmente con la respiración endógena de las bacterias, crecimiento de organismos depredadores e hidrólisis de células microbianas. La meseta no siempre se observa, ya que las reacciones microbiológicas individuales pueden superponerse de tal manera que no es posible distinguir entre las diferentes fases metabólicas.

También ocurre una fase de retardo en el desarrollo de la reacción de la DBO cuando el número de microorganismos presentes es insuficiente. Este retardo puede ser disminuido mediante la adición de microorganismos a la muestra prueba; o bien aclimatando previamente los microorganismos a -- nuevas condiciones ambientales, tales como cambio de pH, temperatura o concentración de aguas residuales.

Las aguas residuales industriales pueden contener compuestos que resistan la descomposición biológica, o tóxicos que inhiban el crecimiento de los microorganismos; en tales casos también se requiere de la aclimatación de cultivos microbianos para utilizarlos en la prueba de la DBO.

Modelo matemático de la reacción de la DBO.

La cinética de la reacción de la DBO, por razones prácticas, se formula de acuerdo con una reacción de primer orden con respecto a la concentración de material remanente no oxidado al tiempo t (fig. 5.3)

Ecuación cinética de primer orden.

$$\frac{dl}{dt} = -kl$$

donde $L = \text{DBO}_t - \text{DBO}_t$, integrando esta ecuación y resolviendo para las condiciones límite, $L = \text{DBO}_t$ a $t = 0$ y $L = \text{DBO}_t$ a $t = t$. Y convirtiendo a logaritmos de base 10, tenemos:

$$\text{DBO}_t = \text{DBO}_t (1 - 10^{-kt})$$

donde k es el coeficiente cinético de primer orden en base 10. Para aguas residuales de tipo doméstico, k tiene un valor promedio de 0.1/día, a 20 °C de temperatura. (Ref. 16)

La ecuación de primer orden representa una descripción empírica de la reacción de la DBO, representa los efectos globales promedio de las tres reacciones biológicas principales; síntesis, respiración y nitrificación.

Como mencionamos, la DBO_5 es un indicador del contenido de materia orgánica. Desde el punto de vista de irrigación agrícola, los sólidos suspendidos orgánicos mejoran la calidad de los suelos ya que éstos quedan retenidos en la superficie. El bajo grado de cohesión y plasticidad de la materia orgánica afloja los suelos de textura fina, compensando la alta cohesión y plasticidad de la arcilla. En los suelos arenosos, además de mejorar estructura, aumenta su capacidad de retención del agua. Al mismo tiempo, la materia orgánica al ser transformada por los microorganismos del suelo, deja en condiciones aprovechables cantidades significativas de algunos macronutrientes como nitrógeno, fósforo y azufre.

5.5 SOLIDOS SUSPENDIDOS

El contenido de sólidos totales de un agua residual puede clasificarse en dos grandes grupos: sólidos orgánicos e inorgánicos, que a su vez pueden estar suspendidos o disueltos. De tal manera que en un agua residual doméstica, aproximadamente un 75% de los sólidos suspendidos y un 40% de los sólidos disueltos son de naturaleza orgánica. (Ref. 15)

Las materias en suspensión ejercen una demanda bioquímica de oxígeno, que para aguas residuales domésticas es aproximadamente de un 55 a 60 % de la DBO_5 total.

En la irrigación agrícola con aguas residuales, el contenido de materia en suspensión tiene los mismos efectos que la materia orgánica con respecto a la permeabilidad del suelo.

5.6 ELEMENTOS TRAZA (METALES PESADOS)

Los metales "pesados" se definen arbitrariamente como aquéllos metales cuya densidad es por lo menos cinco veces mayor que la del agua. dentro de éste grupo se encuentran entre otros: arsénico, bario, cadmio, cobre, cromo hexavalente, mercurio, plomo, selenio, níquel, hierro y manganeso.

Muchos de éstos elementos son indispensables para la vida, aunque sólo se encuentren en cantidades muy pequeñas en los tejidos del cuerpo; sin embargo, pueden ser tóxicos al exceder de cierta concentración. (Ref.4)

La toxicidad de un metal depende de su vía de administración y del compuesto químico al que esté ligado. La combinación de un metal con un compuesto orgánico puede aumentar o disminuir sus efectos tóxicos.

Por lo anterior, los efectos de cada metal deben de examinarse en relación con las circunstancias de cada caso: la procedencia del metal, la forma química precisa en que se presenta en el medio ambiente y las formas en que se dispersa.

En la utilización de aguas residuales crudas o pretratadas en actividades agrícolas, intervienen los siguientes factores: (Ref. 19)

- 1.- Concentración de metales pesados en aguas de reuso.
- 2.- Especies de plantas cultivadas.
- 3.- Características químicas del suelo.
 - a) pH de la solución del suelo. Los metales pesados precipitan en todos los suelos alcalinos; son adsorbidos por los hidróxidos de hierro y manganeso. Al acidificarse los suelos aumenta la movilización de algunos metales y consecuentemente aumenta la absorción por las plantas.
 - b) Tipo de suelo. La materia orgánica fija algunos metales pesados, la arcilla tiende a retener los metales.
 - c) Presencia de otras sustancias en el suelo. La presencia de fosfatos reduce la disponibilidad de metales para las plantas.

En lo que respecta a la concentración de metales pesados en aguas destinadas para irrigación, la actual legislación ecológica establece, a tra-

vés de la Norma Técnica Ecológica NTE - CCA-032/91, Los límites máximos permisibles de los parámetros contaminantes en las aguas residuales de origen urbano o municipal para su disposición mediante riego agrícola, y en la que se incluyen los siguientes metales pesados.

P A R A M E T R O	MAXIMO PERMISIBLE NTE-CCA-032/91 *
Aluminio (mg/l)	0.20
Antimonio (mg/l)	0.10
Arsénico (mg/l)	0.10
Boro (mg/l)	0.75
Cadmio (mg/l)	0.01
Cobre (mg/l)	0.20
Cromo (mg/l)	0.01
Hierro (mg/l)	5.00
Manganeso (mg/l)	0.02
Niquel (mg/l)	0.05
Plomo (mg/l)	0.50
Selenio (como selenato) (mg/l)	0.02
Zinc (mg/l)	2.00

*Fuente: Diario Oficial de la Federación del 24 de septiembre de 1991.

5.6.1. ARSENICO

El arsénico está presente en pequeñas cantidades en casi todos los suelos. También se encuentra en pequeñas cantidades variables en aguas naturales y residuales, según su ubicación y su procedencia.

La contaminación por arsénico puede ser resultado de prácticas agrícolas tales como: el empleo de agentes químicos destructores de malezas, fungicidas, baños parasiticidas para el ganado lanar, rodenticidas, insecticidas, etc. ; o bien de la industria. (Ref. 14).

El arsénico es tóxico tanto para las plantas como para los animales y -- el hombre, en estado de sal (arseniatos o arsenitos), pero parece ser menos dañino cuando forma compuestos orgánicos. El arsénico de la capa superficial del suelo está expuesto al oxígeno atmosférico y generalmente se presenta en forma pentavalente. El arsénico proveniente de residuos industriales se encuentra en forma trivalente, que es mucho más tóxica.

El arsénico puede presentarse en proporciones bajas en el agua potable, La OMS recomienda provisionalmente un límite de 0.05 mg/l. En agua para riego se ha establecido un límite de 5.00 mg/l. (Ref. 28).

En las plantas, el arsénico reduce el crecimiento de las raíces y tallos; además reduce la productividad de algunos cultivos.

El arsénico no es un elemento esencial para la fisiología del hombre, -- aunque por lo general se le encuentra en los tejidos humanos en muy pequeñas cantidades. Es un veneno protoplasmático, fuerte y acumulativo -- que inhibe a los grupos sh de las enzimas. Las sales son absorbidas fá-

cilmente en el sistema gastrointestinal, por la piel y los pulmones. La intoxicación crónica conduce a la pérdida de apetito y de peso, produce diarrea alternada con estreñimiento, trastornos gastrointestinales, neuritis periférica, conjuntivitis, hiperqueratosis y melanosis cutánea y, a veces, cáncer de la piel.

5.6.2. CADMIO

Está presente en el suelo, vegetación y los alimentos del hombre.

Las principales fuentes de contaminación ambiental antropogénicas son: la minería y la metalurgia, las industrias químicas, la transformación de chatarra metálica, galvanoplastia, los superfosfatos y plaguicidas que contiene cadmio. (Ref. 2).

Ciertamente, es el microcontaminante más estudiado en el caso de la aplicación de aguas residuales y lodos en la actividad agrícola; ya que es asimilado por las plantas y acumulado por los mamíferos y por el hombre.

El cadmio no tiene una toxicidad muy grande para las plantas pero se acumula por lo general en las partes verdes de éstas (sobre todo en las hojas), además reduce la productividad de algunas leguminosas.

El cadmio metálico es soluble en soluciones ácidas presentes en muchos productos alimenticios que contienen ácidos orgánicos.

La ingestión humana de cadmio se produce principalmente a través de la cadena alimenticia (alrededor de 40 microgramos al día). La carga total de cadmio en el cuerpo humano es, como término medio de unos 30 mg, alrededor de un tercio en los riñones y una sexta parte de hígado.

La intoxicación crónica por cadmio produce proteinuria, afecta a los túbulos proximales de los riñones y origina la formación de cálculos.

Se ha atribuido al cadmio una enfermedad específica observada en Toyama - Japón, la epidemia se relacionó con la exposición al agua y los arrozales contaminados por el cadmio procedente de una explotación minera de las cercanías. Se le conoce con el nombre de "itai-itai" (ay-ay) por los dolores tan intensos, síntomas de las fracturas múltiples producidas por la osteomalacia. Los primeros síntomas consisten en dolores lumbares y mialgia de las extremidades inferiores. Posteriormente se producen deformaciones del esqueleto, con una pronunciada disminución de la estatura. En la etapa final, cualquier esfuerzo por moderado que sea, como por -- ejemplo la tos, provoca fracturas múltiples. (Ref. 19).

5.6.3 COBRE

Está presente en las plantas de 5 a 20 mg/l, se le encuentra en el suelo bajo la forma Cu (II) formando complejos con los óxidos metálicos.

Cuando se solubiliza en proporciones importantes (más de 50 mg/l en el terreno), resulta peligroso para ciertas plantas. El consumo de forrajes con alto contenido de cobre puede ser nocivo para el ganado.

El límite máximo establecido por el reglamento para la prevención y control de la contaminación de las aguas en el uso agrícola es de 1.0 mg/l.

5.6.4. CROMO HEXAVALENTE

En condiciones naturales el cromo se presenta casi siempre en forma trivalente y prácticamente todo el cromo hexavalente que existe es generado por las actividades humanas en la industria química y minero-metalúrgica.

El contenido natural de cromo en las aguas superficiales y del agua potable es muy bajo, por lo que concentraciones mayores de cromo en el agua provienen de actividades industriales. La concentración de cromo en alimentos es variable pero en general es baja y no parece presentar problemas.

La mayor exposición ocupacional a cromo hexavalente se da en la producción de ferrocromo y manufactura de cromatos, soldadura con electrodos de cromo y níquel, en la producción de cemento y pigmentos y en curtiduría.

En la industria productora de cromatos y en la de pigmentos con cromo se ha asociado el incremento en la incidencia del cáncer broncogénico entre los trabajadores con exposición tanto a las formas solubles como a las insolubles de cromo VI. (Ref. 4).

La intoxicación aguda por ingestión de cromatos solubles produce daño al tracto gastrointestinal y shock cardiovascular. Como secuelas se observan necrosis hepática y renal y daño al sistema hematopoyético. La dosis letal oral de cromatos solubles en humanos es de 50 - 70 mg/kg de peso corporal. (Ref. 19).

La exposición prolongada al cromo por vía aérea produce efectos crónicos

en los pulmones, hígado riñones, tracto gastro intestinal y sistema circulatorio; el contacto dérmico con cromo produce irritación, alergias y úlceras en piel y mucosas. llegando a causar perforaciones del tabique nasal. (Ref. 36).

Los efectos causados al medio ambiente ecológico por cromo VI son severos; debido a la reactividad del cromo VI como oxidante fuerte.

El límite máximo permisible para la descarga de cromo hexavalente en un cuerpo receptor destinado para el uso en riego agrícola es de 5.00 mg/l.

5.6.5. MERCURIO

El mercurio se encuentra en la naturaleza en forma de metal libre o de diversos minerales de los cuales el más importante es el disulfuro de mercurio. (Ref. 21).

Además de su estado elemental, el mercurio existe en los estados 1 (mercurio I) y 2 (mercurio II). Los compuestos químicos de mercurio II son mucho más numerosos que los de mercurio (I).

Además de las sales simples, como el cloruro, el nitrato y el sulfato, el mercurio (II) forma una clase importante de compuestos organometálicos, del tipo $RHgX$ y $RHgR'$ en los cuales R y R' representan el componente orgánico.

El enlace de carbono y mercurio es químicamente estable. No se rompe en agua ni por la acción de ácidos o bases débiles.

El mercurio metálico y los compuestos inorgánicos se utilizan en la fabricación de instrumentos científicos, equipo eléctrico, lámparas de va-

por de mercurio, tubos de rayos x, etc. En la industria química se utiliza como cátodo líquido para la producción electrolítica de sosa cáustica, ácidos clorhídrico y ácido acético. Se utiliza en la manufactura -- textil, fotografía, en la elaboración de pinturas y pigmentos y en la industria farmacéutica. (Ref. 21).

Los compuestos organomercuriales tales como; fenilmercurio y los alquilmercurio, se utilizan como desinfectantes, antisépticos, fungicidas para tratamiento de semillas, herbicidas y bactericidas.

De esta manera el mercurio pasa primero a los roedores y aves que se alimentan de semillas y luego a las aves carnívoras. La acumulación de metil mercurio en las cadenas alimentarias acuáticas y terrestres representa un riesgo potencial para el hombre.

Los vapores de mercurio metálico y los derivados orgánicos del mismo -- son fácilmente absorbibles a través del parénquima pulmonar.

En el tracto gastrointestinal se absorbe menos de 0.1% del total de una dosis de mercurio líquido ingerida. En cambio, de las sales de mercurio ingeridas, se absorbe el 15% de las inorgánicas y el 80% de las orgánicas.

El mercurio y sus derivados se distribuyen en todo el organismo y se acumulan en el sistema nervioso central. Los compuestos alquilados y arilados del mercurio son altamente liposolubles, se absorben rápidamente y -- atraviesan fácilmente la barrera hemato-cerebral y la barrera placentaria. Las sales inorgánicas de mercurio se absorben y se distribuyen más lentamente. (Ref. 37).

5.6.6. PLOMO

El Plomo se encuentra en la corteza terrestre a concentraciones de aproximadamente 13 mg/kg. se presenta en diversos minerales y es producto final de la desintegración radiactiva del uranio y del torio. Aproximadamente el 80% del plomo que se encuentra en la atmósfera proviene del plomo de la gasolina. El plomo emitido por los vehículos, se encuentra como un complejo inorgánico del cloro bromuro del plomo en partículas de diámetro muy pequeño (0.1 micrometro), aún que la mayoría del plomo emitido por los vehículos se emite como partículas inorgánicas del plomo, también se emiten algunos vapores de alquilos de plomo.

Otras industrias como la de acumuladores, de cables, pinturas, cristal y química utilizan plomo en la elaboración de sus productos realizando un aporte de contaminación de este elemento. (Ref. 22)

El agua potable puede contaminarse desde las mismas fuentes por el plomo del aire y del polvo, en los sistemas de distribución que usan tuberías que contienen plomo, este puede disolverse, aún más si el agua tiene un pH ácido por debajo de 6.5. Las descargas de afluentes industriales de fundidoras y de otras industrias que utilicen algún compuesto de plomo, son otras fuentes de contaminación del agua. La Organización Mundial de la Salud ha establecido una concentración máxima de 0.05 ppm en agua potable. (Ref. 28)

La población en general está expuesta al plomo que se encuentra en el -- aire, el polvo, el agua y los alimentos. La población de áreas rurales

incorpora alrededor de 50 - 70 mg. de plomo al día, mientras que en la población urbana la incorporación diaria es de 80 - 105 mg. de plomo al día.

Una de las rutas de ingreso de plomo en el humano es a través de la ingestión de alimentos contaminados; las frutas, las legumbres y pasturas cultivadas en zonas expuestas a descargas de fundiciones, se pueden contaminar en forma significativa.

El plomo que llega a absorberse en el cuerpo, se distribuye por todo el organismo y se acumula en ciertos compartimentos. En la sangre el plomo se disuelve en el plasma y se une a la hemoglobina del glóbulo rojo, debido a que el plomo se distribuye rápidamente hacia otros tejidos. El aumento en la concentración de plomo sanguíneo indica una exposición reciente. (Ref. 4)

El plomo se acumula en los tejidos del organismo en forma de quelatos, - principalmente en el tejido óseo (huesos y dientes).

El plomo en la sangre interfiere con la síntesis del grupo hemo de la hemoglobina, creando una disminución.

Las manifestaciones severas de la intoxicación por plomo comprenden ataxia, malestar general, confusión, dolor de cabeza, convulsiones, cambios de personalidad y debilidad de las extremidades. (Ref. 38)

5.6.7 HIERRO

El hierro es el cuarto elemento más abundante en la corteza terrestre; en la naturaleza se encuentra principalmente en estado divalente Fe(II) y trivalente Fe(III).

La presencia de hierro en las aguas subterráneas se atribuye a la disolución de rocas y minerales; por lo que es muy frecuente la contaminación por hierro en este tipo de aguas. La norma establecida por la Secretaría de Salud y por otros organismos internacionales, para agua potable, es de 0.3 mg/l.

La presencia de hierro en agua para consumo, es objetable debido a las características fisicoquímicas que le confiere el Fe³⁺. Las sales ferrosas solubles son inestables en presencia del oxígeno atmosférico y precipitan como hidróxido férrico insoluble.

El hidróxido férrico formado establece una coloración rojiza como limo; tal agua es desagradable al paladar y mancha la ropa y las instalaciones de fontanería. En los sistemas de distribución reduce gradualmente el flujo de agua. También ocurre el desarrollo de "bacterias férricas". Estos microorganismos derivan su energía de la oxidación de hierro ferroso a hierro férrico, y en el proceso se deposita una capa fangosa sobre la tubería. (Ref. 20).

El hierro es un elemento esencial en la nutrición humana, está contenido en un gran número de proteínas biológicas, por ejemplo: hemoglobina, citocromos y también en algunas enzimas reductoras. Se estima que el requerimiento diario de hierro varía de 7 a 14 mg., dependiendo de la edad y sexo; las mujeres en estado pueden requerir un exceso de 15 mg por día. El promedio diario requerido es de 10 mg.

El contenido de hierro en varios alimentos principalmente: cereales (0.0295 mg/g), carnes (0.0262 mg/g), éstos principalmente constituyen la fuente dietética, la concentración de hierro en otros alimentos naturales es menor a 0.020 mg/g. (Ref. 20).

En aguas residuales de tipo doméstico, el contenido de hierro generalmente se ubica por abajo de 5.0 mg/l. En sistemas de tratamiento convencionales se obtienen importantes niveles de eficiencia de éste elemento.

5.6.8 MANGANESO

El manganeso existente en fuentes de agua naturales se presenta en dos formas: en disolución y suspendido, las aguas subterráneas anaeróbicas contienen elevados niveles de manganeso disuelto.

Los niveles altos de manganeso que en algún momento se encuentran fluyendo libremente en aguas superficiales y residuales son asociados con la contaminación industrial.

Una concentración de manganeso excedida de 0.15 mg/l confiere al agua destinada para consumo, un sabor desagradable y mancha las tuberías y la ropa. Cuando los compuestos de manganeso en solución sufren oxidación, el manganeso se precipita, originando incrustaciones en las tuberías y favoreciendo el desarrollo de microorganismos que concentran el sabor del manganeso y elevan el olor y la turbiedad del agua. (Ref. 20).

El manganeso es un elemento esencial en animales y el hombre, pero solamente el 3% del manganeso ingerido es absorbido. Este es requerido como un cofactor en un número de sistemas enzimáticos; juega un papel en la función propia de flavo proteínas y en la síntesis de mucopolisacáridos sulfatados, colesterol y hemoglobina y otros muchos procesos metabólicos importantes. (Ref. 4).

5.8 ORGANISMOS PATOGENOS

Las aguas residuales son portadoras de un gran número de organismos patógenos provenientes de excretas de humanos y animales de sangre caliente; productoras de diversas enfermedades tales como: infecciones intestinales, diarreas bacterianas, cólera, hepatitis, poliomieltis, enfermedades respiratorias, equistosomiasis etc. (Ref. 40, 25).

entre los organismos patógenos más comunes por la frecuencia en la incidencia de enfermedades se encuentran: Nematodos (ascaris, trichuris, Ancylostoma), Bacterias (salmonella, shigella, escherichia, etc.) y Virus (virus de la hepatitis, virus de la polio, adenovirus, etc.). (Ref. 40).

Para la detección de estos organismos patógenos, se requiere de una metodología sofisticada y tardada, por lo que se han buscado microorganismos o grupos de microorganismos indicadores de fácil y rápida detección. La existencia de estos microorganismos indicadores presupone la existencia de una contaminación patógena o fecal. (Ref. 23).

De forma que para controlar la calidad microbiológica del agua, se utilizan como indicadores la cuenta de bacterias coliformes totales y fecales.

Coliformes totales. Bacilos cortos gram negativos, no esporulados, fermentan la lactosa con producción de acidez y gas en 24 a 48 horas, a 35 °C.

Coliformes fecales. Bacilos cortos gram negativos, no esporulados, fermentan la lactosa con producción de acidez y gas en 24 a 48 a 44.5 °C.

La norma establecida para agua potable es menor de dos coliformes totales/100 ml y cero coliformes fecales/100 ml.

Las pautas de calidad que se han adoptado para aguas residuales destinadas a la irrigación agrícola, contenidas en la Norma Técnica Ecológica NTE--CCA-033/91, establece una clasificación de cuatro tipos de agua, de acuerdo a su nivel de contaminación.

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

TABLA 5.1 CONDICIONES ESTABLECIDAS POR LA SARH PARA LA UTILIZACION DE AGUAS RESIDUALES EN ACTIVIDADES AGRICOLAS.

Tipo de riego	Tipo de agua	Intervalo mínimo entre el último riego y la cosecha.	Cultivos no permitidos
INUNDACION	1	20	Los señalados en el artículo 3o. fracción III. excepto ajo, pepino, jícama, melón y sandía.
	2	20	Los señalados en el artículo 3o. fracción III. excepto melón y sandía.
	3	20	Los señalados en el artículo 3o. fracción III.
	4	20	Los señalados en el artículo 3o. fracción IV.
SURCO	1	15	Los señalados en el art. 3o. fracc. III. Excepto ajo, pepino, jícama, melón y sandía, así como el tomate verde o de cáscara.
		20	Libre cultivo.
	2	15	Los señalados en el art. 3o. fracc. III. Excepto ajo, pepino, jícama, melón y sandía, así como el tomate verde o de cáscara.
		20	Los señalados en el art. 3o. fracc. III Excepto melón y sandía.
4	20	Los señalados en el art. 3o. fracc. IV.	
ASPERSION	1	20	Los señalados en el art. 3o. fracc. III. Excepto ajo, pepino, jícama, melón y sandía.
	2	20	Los señalados en el art. 3o. fracc. IV.
	3		
	4		

Fuente: Diario Oficial de la Federación del 24 de octubre de 1991.

Tipo 2.- la que contiene de 1 a 1000 coliformes fecales por cada 100 ml o cuando más un huevo viable de helmineto por litro de agua.

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

Tipo 4.- La que contiene más de 100 000 coliformes fecales por cada 100 ml.

En cuanto al tipo de cultivo, los clasifica en dos grandes grupos, Hortalizas y Hortofrutícolas.

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

Hortofrutícolas: Las señaladas en el grupo anterior y todas las demás hortalizas y frutos en general.

Las condiciones sobre tipo de riego, tipo de agua, intervalo mínimo entre el último riego y la cosecha y cultivos no permitidos se relacionan en la tabla 5.1. Es sobre ésta tabla que la Secretaría de Recursos Hidráulicos basará su criterio para otorgar el permiso para la utilización de aguas residuales en actividades agrícolas.

6. DETERMINACION EXPERIMENTAL DE PARAMETROS FISICOQUIMICOS

El desarrollo del trabajo experimental para las determinaciones analíticas se efectuaron en las instalaciones del Laboratorio del Agua de la Comisión Estatal de Agua y Saneamiento, del Estado de México. Con la colaboración de las siguientes Areas:

- 1) Análisis fisicoquímico de aguas residuales
- 2) Bacteriología
- 3) Absorción Atómica
- 4) Instrumentación Analítica

6.1 METODOS DE ANALISIS

La metodología aplicada para el análisis en los aspectos fisicoquímico, bacteriológico y de metales pesados a las aguas residuales del Interceptor Poniente, se encuentra normalizada y disponible en el manual "Standard Methods For The Examination of Water" (1) . Es sobre éste manual que están basados las Normas Oficiales Mexicanas que tratan sobre éste tema. En la tabla 6.1 se enlistan las determinaciones realizadas y el nombre específico del método utilizado.

6.2 RESULTADOS EXPERIMENTALES

En la tabla 6.2 se resumen los resultados experimentales de los muestreos

realizados en el período comprendido entre mayo de 1991 y junio de 1993, siendo un total de 13 muestras.

NO. DE MUESTREO	FECHA
1	12 DE MAYO DE 1991
2	9 DE JUNIO DE 1991
3	6 DE OCTUBRE DE 1991
4	8 DE DICIEMBRE DE 1991
5	20 DE ABRIL DE 1992
6	8 DE JUNIO DE 1992
7	13 DE NOVIEMBRE DE 1992
8	16 DE NOVIEMBRE DE 1992
9	7 DE FEBRERO DE 1993
10	15 DE FEBRERO DE 1993
11	21 DE FEBRERO DE 1993
12	29 DE MARZO DE 1993
13	4 DE JUNIO DE 1993

TABLA 6.1 METODOS DE ANALISIS UTILIZADOS EN LA CARACTERIZACION DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL INTERCEPTOR PONIENTE.

DETERMINACION	METODO UTILIZADO
Temperatura	Método 2550 B
Potencial de Hidrógeno	Método potenciométrico.
Color	Método espectrofotométrico 204 B
Conductividad	Celda de conductividad 205
Sólidos en todas sus formas	Métodos gravimétricos 209 A,C,D,E.
Turbiedad	Método visual Jacson 214 B
Acidez	Método volumétrico 402
Alcalinidad	Método volumétrico 403
Boro	Método de la curcumina 404 A
Cianuros	Método colorimétrico 412 A y 412 D
Cloruros	Método Argentométrico 407 A
Detergentes	Método de azul de metileno 512 B
Fenoles	Método de extracción con cloroformo 510 A
Fosfatos T.	Método del ácido ascórbico 424-II, 424 F
Nitrógeno T.	Método Kjeldal 417 A, D y 420 A
Grasas y aceites	Método gravimétrico de extracción 503 C
Demanda química de oxígeno	Método de reflujo con dicromato 508 A
Demanda bioquímica de oxígeno	Método de dilución 507
Oxígeno disuelto	Método Winkler, azida modificado 421 A,B
Coliformes totales y fecales	Método de tubos múltiples NMP 908 A,C
Arsénico	Método espectrofotométrico de absorción atómica 302 D y 303 E

TABLA 6.1 CONTINUACION.

DETERMINACION	METODO UTILIZADO
Bario	Método espectrofotométrico de absorción atómica 302 D y 303 C.
Cadmio	Método espectrofotométrico de A.A. 303 A
Cobre	Método espectrofotométrico de A.A. 303 A
Cromo	Método espectrofotométrico de A.A. 303 A
Hierro	" " "
Mercurio	Método espectrofotométrico de A.A. 303 F
Manganeso	Método espectrofotométrico de A.A. 303 A
Niquel	" " "
Plata	" " "
Plomo	" " "
Selenio	" " "
Zinc	" " "
Calcio	" " "
Magnesio	" " "
Sodio	" " "

Fuente: APHA, AWWA, WPCF; Standar Methods for the examination of water and waste water 15 th. edition, Washington 1980.

CUADRO DE RESULTADOS DE ANALISIS DE AGUAS RESIDUALES
 FUENTE: INTECEPTOR PONIENTE
 LOC. : RANCHO ALMARAZ, MPIO. CUAUTITLAN IZCALLI

TABLA 6.2

DETERMINACION	FECHA DE MUESTREO												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
TEMPERATURA °C *	20	20	20	20	20	20	20	20	20	21	19	22	24
pH *	7.4	7.6	7.4	7.2	7.2	7.7	7.4	7.7	7.4	7.7	7.7	7.5	7.3
COLOR * (I)	A.V.	V.	V.	A.V.	A.	A.	A.M	A.V.	V.A.	A.	V.A.	A.	A.
PUREZA * (1)	20	20	10	20	20	20	14	11	14	17	12	15	10
LUMINOSIDAD * (1)	78.45	98.29	82.53	76.41	81.92	71.14	74.59	93.54	79.49	66.25	95.58	82.5	85.6
LONGITUD DE ONDA*(1)	570	500	500	570	577	580	580	570	573	580	570	570	580
SOLIDOS TOTALES	916	1602	939	1216	1082	1164	834	1170	1172	1036	1132	1170	926
SOLIDOS T. VOLATILES	276	712	298	516	302	300	350	412	502	334	348	320	260
SOLIDOS SUSPEND. T.	120	294	250	100	169	130	260	52	550	133	75	180	131
SOL. SUSPEND. VOL.	90	8.7	50	90	69	90	170	8	333	94	35	85	85
SOLIDOS SEDIMENTAB.	0.3	10	4	0.5	5.5	1.7	3	6	7.5	0.8	2.0	0.5	0.5
TURBIEDAD * UTJ	120	300	221	240	61	145	142	285	490	550	520	300	205
CONDUCTIVIDAD (2)	1100	1500	1100	1200	1000	1522	700	1000	750	1100	1000	1100	1000
ACIDEZ	0	0	10	10	5	0	15	5	20	5	5	5	5
ALCALINIDAD	385	120	280	290	340	255	330	400	270	400	420	380	360
BORO	1.7	1.21	0.00	1.48	1.2	3.65	4	3	8.2	17.6			12.4

TABLA 6.2 cont.

DETERMINACION	FECHA DE MUESTREO												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
CIANUROS	0.03	0.00	0.00	0.009	0.0004	0.001	0.00	0.00	0.04	0.05	0.00	0.00	2.6
CLORUROS	119	40	70	149	104	150	90	150	90	170	140	90	85
DETERGENTES	7.0	2.5	6.4	10.5	11.00	8.8	15	12.0	13.9	15.4	15.8	14.6	15.9
FENOLES							0.162	0.3	0.4	0.037	0.720		
FOSFATOS	0.85	0.69	2.81	1.5	3.8	3.05	4	5.0	4.8	5.7	4.9	4.5	7.1
NITROGENO	27	22	25	36	24	8	38	31	41	39	34	28	23
GRASAS Y ACEITES	50	33	20	30	71	106	36	71	94	84	64	57	53
D.Q.O.	208	192	408	360	524	584	480	674	416	456	413	463	256
D.B.O.	140	110	150	274	203	303	219	314	304	183	243	244	170
COLIF. TOT. x1000 *(3)							2'400	2'400	2'400		2'400		
COLIF. FEC. x1000 *(3)							2'400	2'400	1'100		1'100		
ARSENICO	0.004	0.068	0.008	0.013	0.0025	0.21			0.01	0.001	0.001	0.032	0.001
BARIO	0.000	0.070	0.050	0.063	0.020	0.270			0.33	0.06	0.14	0.001	0.001
CADMIO	0.012	0.004	0.007	0.008	0.002	0.013			0.006	0.004	0.006	0.010	0.011
COBRE	0.02	0.008	0.038	0.040	0.050	0.026	0.039		0.09	0.078	0.129	0.094	0.095
CROMO	0.052	0.290	0.083	0.090	0.075	0.141			0.12	0.094	0.048	0.063	0.100
FIERRO	0.708	1.584	3.931	4.025	2.586	0.054	4.02		4.2	3.6		6.0	
MERCURIO	0.000	0.000	0.000	0.002	0.001	0.0002			0.001	0.0001	0.0001	0.015	0.023
MANGANESO	0.102	0.211	0.209	0.190	0.781	0.336	0.23		0.234	0.389	0.670	0.906	0.482
NIQUEL	0.137	0.038	0.059	0.062	0.210	0.129			0.254	0.110	0.107	0.143	0.151

TABLA 6.2 cont.

DETERMINACIONES	FECHA DE MUESTREO												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
PLATA	0.010	0.007	0.008	0.008	0.013	0.001	0.006		0.012	0.002	0.014	0.011	0.020
PLOMO	0.146	0.075	0.066	0.070	0.003	0.348			0.123	0.125	0.129	0.109	0.087
SELENIO	0.000	0.000	0.000	0.001	0.014	0.020			0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
ZINC	0.020	0.072	0.284	0.100	0.448	0.363	0.243		0.588	0.236	0.171	0.298	0.180
CALCIO	28.00	9.4	6.8	9.500	29.71	26.80			8.4	22.6	19.4	211	53.8
MAGNESIO	125.6	5.9	4.8	6.200	109.6	23.60			16.8	21.8	14.4	121	29.2
SODIO		62.3	107.1	90.4	311.10	337.1			97.2	163.4	107	780	170
RAS * (4)		3.89	7.6	5.5	5.86		1.13						
CLASIFICACION * (5)													

NOTA: Todos los parámetros están reportados en mg/L excepto *

(1).- Realizado por método espectrofotométrico.

(2).- Conductividad expresado en Micromhos/cm.

(3).- Número más probable de colonias en 100 mililitros.

(4).- Calculado. $RAS = \frac{Na}{Ca+Mg}$; todos en mEq/L.

(5).- Clasificación de la U.S. Salinity Laboratory Staff.

6.3 ANALISIS DE RESULTADOS

Para una mejor interpretación de los resultados experimentales y un mayor conocimiento de las características de las aguas residuales del Interceptor Poniente, los resultados son presentados por medio de las siguientes gráficas y cálculos estadísticos.

- 1) Representación gráfica de la concentración y su variación respecto a las diferentes fechas de muestreo; para los parámetros más importantes.
- 2) Correlación estadística de la distribución acumulativa de frecuencias de los parámetros más importantes. Este método estadístico nos provee de una correlación lineal de probabilidad de ocurrencia de un valor dado y por tanto nos permite su predicción. El valor del 50 % de probabilidad es aproximadamente igual a la media. El cálculo estadístico se describe a continuación:
 - a) Arreglar los datos en orden de magnitud creciente.
 - b) Asignar un número "m" a la serie de datos de 1 hasta n, donde n es el número total de valores.
 - c) La posición a graficar en el eje X, (% P), representa el porciento de probabilidad de ocurrencia del valor correspondiente.

Se determina:

$$\%P = \frac{100}{n} + \text{probabilidad previa}$$

Para el primer valor, $\%P = \frac{100}{2n}$

- d) Realizar la regresión lineal para éstos parámetros.

FIG. 6.1 SOLIDOS DISUELTOS

P.P.M.

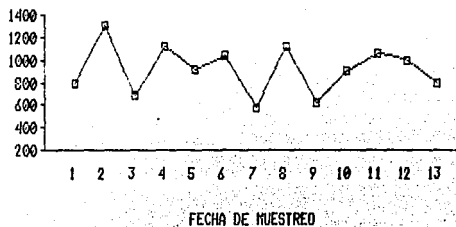
□
796

FIG. 6.2 CONDUCTIVIDAD

P.P.M.

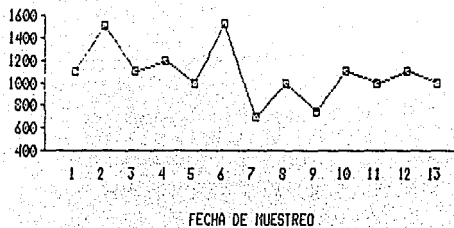
□
1100

FIG. 6.3 RAS

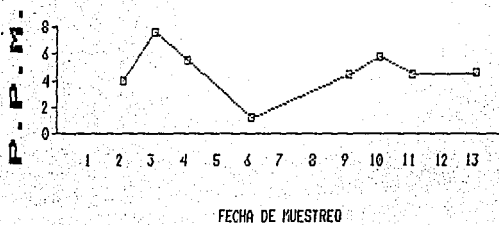


FIG. 6.4 SOLIDOS SEDIMENTABLES

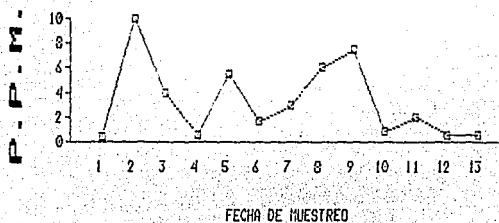


FIG. 6.5 SOLIDOS SUSPENDIDOS T.

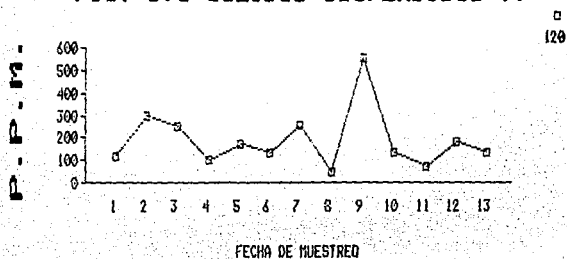


FIG. 6.6 SOLIDOS SUSPENDIDOS VOL.

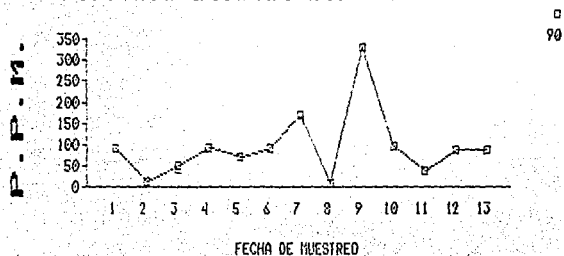


FIG. 6.7 DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO

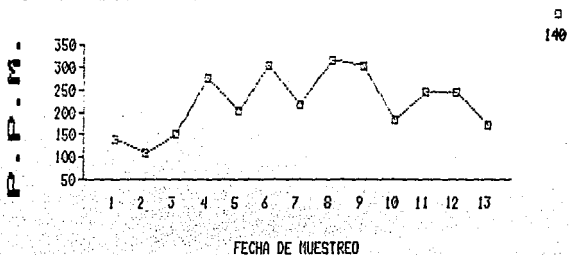


FIG. 6.8 DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO

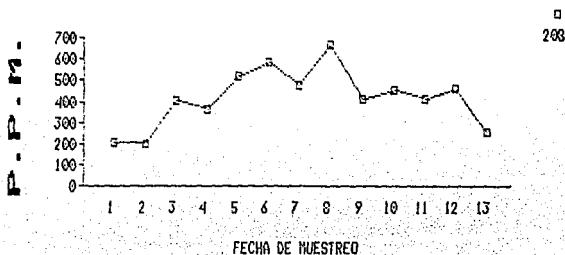


FIG. 6.9 NITROGENO

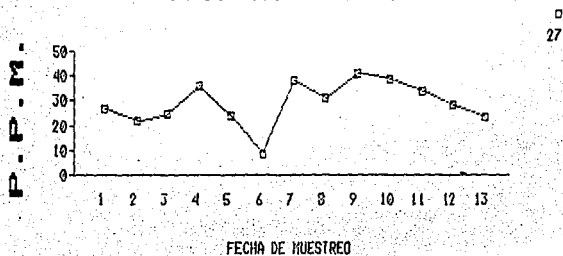


FIG. 6.10 FOSFATOS

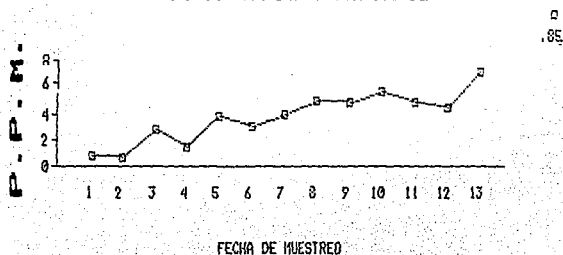


FIG. 6.11 DETERGENTES

P.P.M.

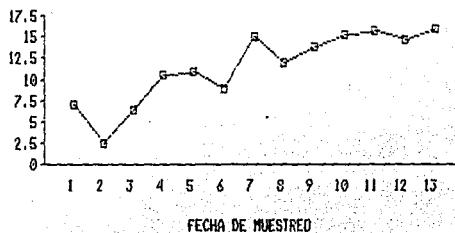
□
7

FIG. 6.12 GRASAS Y ACEITES

P.P.M.

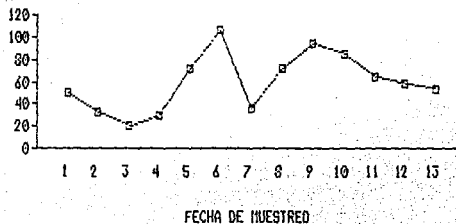
□
50

FIG. 6.13 HIERRO Y MANGANESO

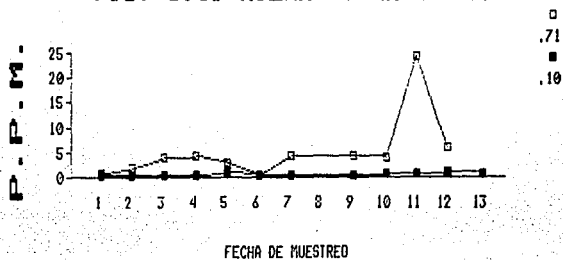


FIG. 6.14 NIQUEL

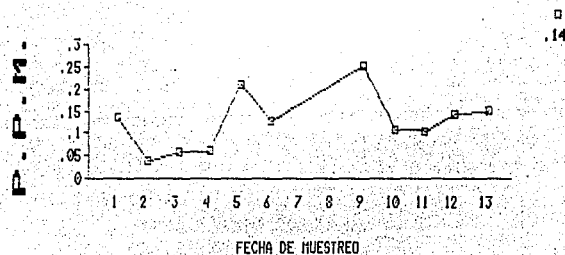


FIG. 6.15 ARSENICO

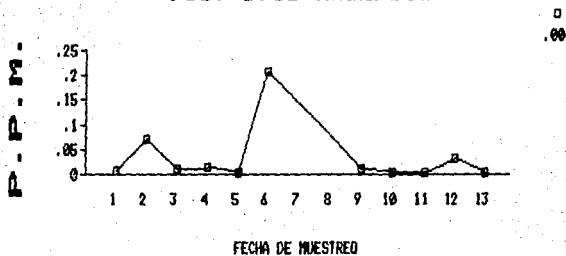


FIG. 6.16 CADMIO

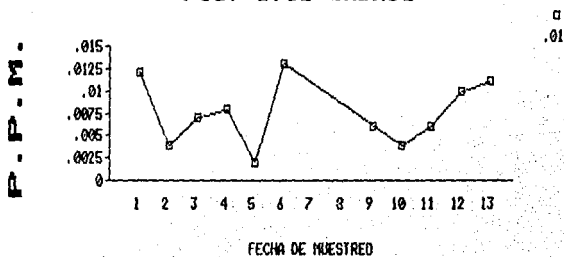
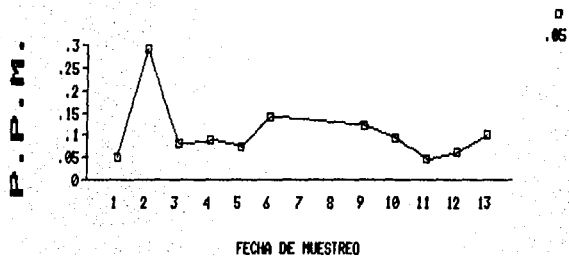


FIG. 6.17 CROMO



CORRELACION ESTADISTICA DE LA DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO (DBO)

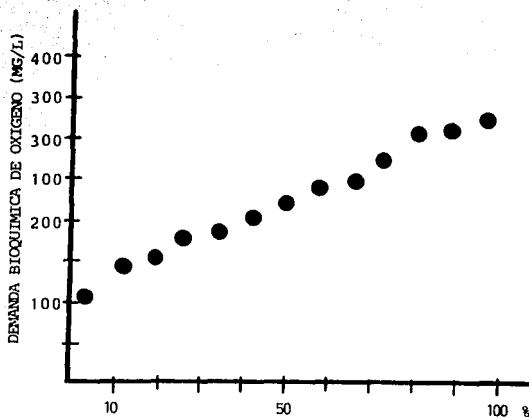
<u>M</u>	<u>DBO MG/L</u>	<u>% P</u>
1	110	3.84
2	140	11.53
3	150	19.22
4	170	26.91
5	183	34.60
6	203	42.29
7	219	49.98
8	243	57.67
9	244	65.37
10	274	73.06
11	303	80.75
12	304	88.44
13	314	96.13

DBO = $220 \pm 31\%$

MIN = 152 MG/L

MED = 220 MG/L

MAX = 288 MG/L



CORRELACION ESTADISTICA DE LA DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO (DQO).

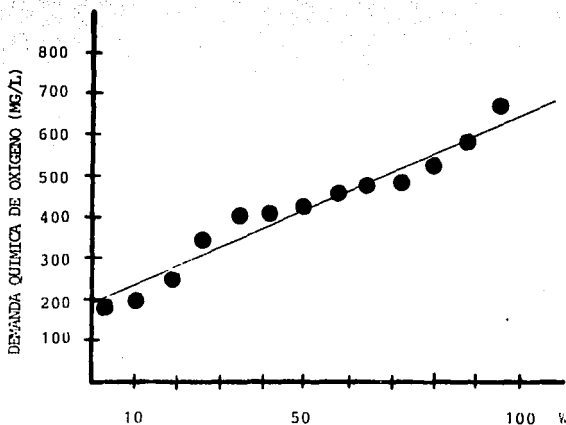
M	DQO MG/L	%P
1	192	3.84
2	208	11.53
3	256	19.22
4	360	26.91
5	408	34.60
6	413	42.29
7	416	49.98
8	456	57.67
9	463	65.37
10	480	73.06
11	524	80.75
12	584	88.44
13	674	96.13

$$418 \pm 34 \%$$

MIN = 276 MG/L

MED = 418 MG/L

MAX = 560 MG/L



CORRELACION ESTADISTICA DE SOLIDOS TOTALES.

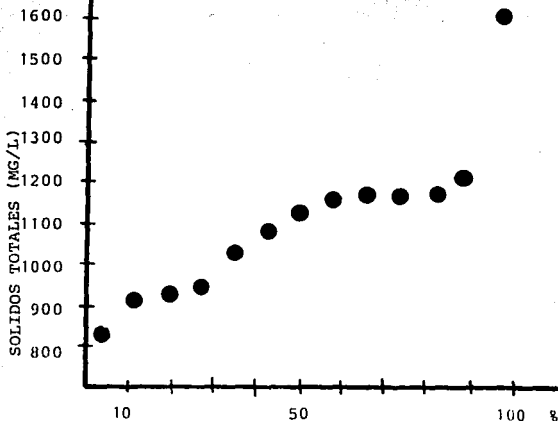
M	ST MG/L	SP
1	834	3.84
2	916	11.53
3	926	19.22
4	939	26.91
5	1036	34.60
6	1082	42.29
7	1132	49.28
8	1164	57.26
9	1170	65.37
10	1170	73.06
11	1172	80.75
12	1216	88.44
13	1502	96.13

$$\bar{ST} = 1104 \pm 118.8$$

MIN = 905 MG/L

MED = 1104 MG/L

MAX = 1303 MG/L



ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

CORRELACION ESTADISTICA DE SOLIDOS TOTALES VOLATILES.

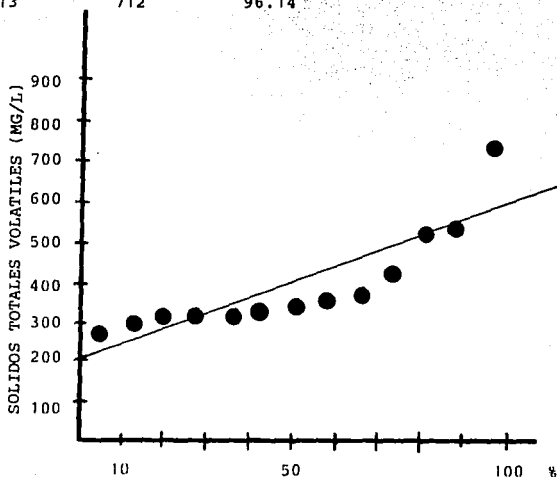
M	STV MG/L	%P
1	260	3.84
2	276	11.53
3	298	19.22
4	300	26.91
5	302	34.60
6	320	42.30
7	334	49.99
8	348	57.86
9	350	65.37
10	412	73.07
11	502	80.76
12	516	88.45
13	712	96.14

$$\overline{STV} = 379.92 \pm 34.8$$

MIN = 251 MG/L

MED = 380 MG/L

MAX = 509 MG/L



CALIDAD DE AGUA DEL CANAL INTERCEPTOR PONIENTE Y VALOR MAXIMO ADMISIBLE PARA RIEGO AGRICOLA CONTENIDO EN REGLAMENTO DE PREVENCION Y CONTROL DE LA CONTAMINACION Y EN LOS CRITERIOS ECOLOGICOS DE CALIDAD DEL AGUA.

TABLA 6.3

P A R A M E T R O S	CANAL INTERCEPTOR PONIENTE				MAXIMO ADMISIBLE POR EL REGLAMENTO SARH 1973	CRITERIOS ECOLOGI- COS DE CALIDAD DEL AGUA. SEDUE 1989
	MINIMO	MEDIO	= % VAR.	MAXIMO		
TEMPERATURA °C *	19.1	20.0	6	21.6	C.N. + 2.5 °C	N.S.
pH	7.2	7.5	3	7.7	6 - 9	6.5 - 9.0
COLOR * (1)		V.A.			C.N. - 10	N.S.
PUREZA * (1)	11.1	15	26	18.9		
LUMINOSIDAD * (1)	73	82	11	91		
LONG. ONDA * (1)	532	560	5	588		
SOLIDOS TOTALES	905	1104	18	1303	N.S.	S.D. = 500
SOLIDOS T. VOLATILES	251	380	34	509	N.S.	N.S.
SOL. SUSP. TOTALES	58	188	69	318	N.S.	50.0
SOL. SUSP. VOLATILES	20	99	80	178	N.S.	N.S.
SOL. SEDIMENTABLES	0.1	3.2	96	6.2	N.S.	N.S.
TURBIEDAD UTJ *	114	271	58	428	C.N.	N.S.
CONDUCTIVIDAD * (2)	844	1082	22	1320	2000 µmhos/cm	1000 umhos/cm

TABLA 6.3 cont.

PARAMETROS	CANAL INTERCEPTOR PONIENTE				MAXIMO ADMISIBLE POR EL REGLAMENTO SARH 1973	CRITERIOS ECOLO- GICOS DE CALIDAD DEL AGUA SEDUE
	MINIMO	MEDIO	= % VAR.	MAXIMO		
ACIDEZ	0.7	7	90	13	En pH	N.S.
ALCALINIDAD	244	325	25	406	En pH	N.S.
BORO		5.0			0.4 - 2.0	0.75
CIANUROS	0.00	0.21	342	0.93	N.S.	0.02
CLORUROS	73	111	34	149	COMO CONDUCTIVIDAD	147.5
DETERGENTES	7.2	11.5	37	15.8	N.S.	N.S.
FENOLES	0.06	0.32	80	0.58		N.S.
FOSFATOS	1.9	3.8	51	5.7	NO PROVOCA HIPER- FERTILIZACION	N.S.
NITROGENO	20	29	31	38	" "	N.S.
GRASAS Y ACEITES	33	59	44	85	AUSENCIA PEL. VIS.	N.S.
DEMANDA QUIMICA DE OXIG.	276	418	34	560	OD = 3.2 P.P.M.	N.S.
DEMANDA BIOQUIM. DE OXIG.	152	220	31	288	OD = 3.2 P.P.M.	N.S.
COLIFORMES TOTALES * (3)	2'400,000	2'400,000		2'400,000	1000	N.S.
COLIFORMES FECALES * (3)	1'100,000	1'750,000		2'400,000	N.S.	1000
ARSENICO	0.000	0.031	195	0.091	5.00	0.1
BARIO	0.000	0.091	122	0.202	N.S.	N.S.
CAOMIO	0.003	0.007	48	0.010	0.005	0.01
COBRE	0.021	0.059	63	0.096	1.0	0.2
CROMO	0.037	0.105	64	0.172	5.0	1.0

TABLA 6.3 cont.

PARAMETROS	CANAL INTERCEPTOR PONIENTE				MAXIMO ADMISIBLE POR EL REGLAMENTO SARH 1973	CRITERIOS ECOLOGI COS DE CALIDAD DEL AGUA.SEDUE
	MINIMO	MEDIO	= % VAR.	MAXIMO		
FIERRO	0.054	3.07	59	4.89	N.S.	5.0
MERCURIO	0.000	0.003	200	0.009	N.S.	N.S.
MANGANESO	0.134	0.395	66	0.655	N.S.	N.S.
NIQUEL	0.063	0.127	50	0.190	N.S.	0.2
PLATA	0.003	0.009	56	0.014		N.S.
PLOMO	0.030	0.116	74	0.201	5.0	5.0
SELENIO	0.000	0.003	185	0.008	0.05	0.02
ZINC	0.087	0.250	65	0.412		2.0
CALCIO	6.8	39	152	97.4		N.S.
MAGNESIO	4.8	44	112	93.28		N.S.
SODIO	7	223	97	439	COMO RAS	N.S.
RAS * (4)	0.5	5.8		7.56	6	N.S.
CLASIFICACION * (5)	C ₃ -S ₁	C ₃ -S ₁		C ₃ -S ₁	N.S.	N.S.
CSR * (6)		0.95			N.S.	N.S.

NOTA.- Todos los parámetros están reportados en mg/L, excepto *

N.S. - No señalado.

C.N.- Condiciones Naturales.

- (1).- Realizado por Método Espectrofotométrico.
- (2).- Conductividad expresada en micromhos/cm
- (3).- Número más probable de colonias en 100 mililitros.
- (4).- Calculado. $RAS = \sqrt{\frac{Na}{Ca+Mg}} \times 2$; todos en mEq/L
- (5).- Clasificación de la U.S. Salinity Laboratory Staff
- (6).- CSR= Carbonato Sódico Residual en mEq/L

Los análisis efectuados a las aguas residuales del canal Interceptor Poniente incluyen determinaciones físicas, químicas y bioquímicas; dentro de ésta clasificación general, distinguimos para nuestro estudio, 8 importantes grupos de contaminantes: 1) sales inorgánicas, 2) sólidos suspendidos, 3) materia orgánica, 4) nitrógeno y fósforo, 5) compuestos tóxicos, 6) metales pesados, 7) grasas y aceites y 8) contaminación bacteriológica.

Sales inorgánicas disueltas.

El contenido de las sales inorgánicas disueltas, como se mencionó en el estudio bibliográfico, está relacionado directamente con la medición de la conductividad eléctrica; la variación de ambos parámetros puede apreciarse en las figuras 6.1 y 6.2 respectivamente. El promedio para la conductividad eléctrica se ubica en 1082 micromhos/cm \pm 22% de variación (tabla 6.3). Para los sólidos disueltos, la concentración promedio es de 916 mg/l. La relación s. disueltos/conductividad = $916/1082 = 0.846$; por lo que podemos establecer la siguiente correlación empírica:

$$SDT \text{ (mg/l)} = 0.846 \text{ CE (micromhos/cm)}$$

De acuerdo a la clasificación de la U.S. Salinity Laboratory Staff (ver figura 5.1 capítulo 5.0), la calidad del agua residual del canal Interceptor Poniente, en el punto muestreado, corresponde al tipo C₃, es decir aguas con una conductividad eléctrica entre 750 y 2250 micromhos/cm a 25°C y un contenido de sólidos disueltos de 480 a 1440 mg/l aproximadamente. Esta misma clasificación advierte un alto peligro de salinización del suelo, por lo que no puede usarse éste tipo de agua en suelos ----

compactos con drenaje deficiente. Selección de plantas muy tolerantes a las sales y posibilidad de control de salinidad del suelo mediante lavados con agua de mejor calidad.

Otro parámetro importante es el contenido de los cationes sodio, calcio y magnesio. La relación de éstos tres iones constituye el índice llamado relación de absorción de sodio (RAS). En la figura 6.3 se puede observar la variación del índice RAS, el cual fluctúa entre 1.13 y 7.6 mínimo y máximo respectivamente. De acuerdo a la ya citada clasificación de la U.S. Salinity Laboratory Staff, para valores de RAS entre 0 y 10 corresponde a un agua con un bajo contenido de sodio y con un bajo peligro de alcalinización del suelo.

En lo que respecta a otras sales disueltas, están presentes los iones cloruros con un promedio de 111 mg/l \pm 34% de variación. Este nivel de concentración de cloruros en el agua, no causa problema alguno, aunque si contribuye al incremento de la conductividad. Por otro lado, ningún tratamiento convencional aplicado a las aguas residuales remueve estas sales; más bien tienden a incrementarse por efectos de mineralización.

También están presentes entre otros iones los carbonatos y bicarbonatos. Estos se cuantifican a través del parámetro alcalinidad, que presenta un valor medio de 325 mg/l \pm 25% de variación (tabla 6.3), lo que nos ubica en un valor máximo de 406 mg/l de concentración.

Como es de esperarse la alcalinidad está directamente relacionado con el valor de pH del agua; que fluctúa entre 7.2 y 7.7 predominando la exis-

tencia de los iones bicarbonato. El criterio de calidad está determinado por el valor de pH; el reglamento de prevención y control de la contaminación emitido por la SARH 1973, establece un rango recomendable de 6 a 9 unidades de pH.

Sólidos suspendidos.

El contenido de sólidos suspendidos totales es uno de los parámetros importantes de caracterizar en el agua residual. Por su naturaleza química, pueden ser orgánicos ó inorgánicos; por su sedimentabilidad, pueden ser sedimentables ó no sedimentables. Tales características están determinadas por los parámetros sólidos sedimentables, sólidos suspendidos totales y sólidos suspendidos volátiles. La variación de éstos parámetros puede apreciarse en las figuras 6.4, 6.5 y 6.6 respectivamente.

El valor medio para sólidos sedimentables se ubica en 3.2 ml/l con una variación estadística del 96%. Esta variación tan alta nos hace inferir, por sí sola el vertido intermitente de aguas residuales de origen industrial.

Para sólidos suspendidos totales, el valor medio es de 188 mg/l \pm 69% de variación y con picos del orden de 550 mg/l. Aunque ésta concentración tan alta de sólidos suspendidos se presentó en forma aislada, es de suponer la existencia de vertidos intermitentes de agua residual proveniente de las industrias de la zona aledaña al Canal Interceptor Poniente; ya que éste nivel de concentración está muy por encima del contenido típico de sólidos suspendidos de un agua residual de origen doméstico.

La concentración media de sólidos suspendidos volátiles es de 99 mg/l -

\pm 80% de variación. Como se observa, éste parámetro presenta el mismo comportamiento en cuanto a su varianza. La relación de los promedios, sólidos suspendidos volátiles/sólidos suspendidos totales = $99/188 = 0.52$, nos indica que aproximadamente el 52% de los sólidos suspendidos totales son de naturaleza orgánica; y por lo tanto, el 48% restante son de origen mineral.

Desde otro punto de vista, el contenido de sólidos suspendidos y su variación en las aguas residuales del Interceptor Poniente sugiere la instalación de un tanque de igualación con el fin de amortiguar las variaciones en concentración; y con el propósito de remover los sedimentables inorgánicos debe diseñarse un eficiente sistema de pretratamiento que incluya desarenador y tanque primario de sedimentación.

Materia Orgánica.

El contenido de materia orgánica está cuantificado por los parámetros DBO_5 y DQO. Las variaciones en concentración de ambos parámetros se observan en las figuras 6.7 y 6.8 respectivamente. Para la DBO_5 tenemos un promedio estadístico de $220 \text{ mg/l} \pm 31\%$ de variación y con picos del orden de 314 mg/l . La variación de la DQO muestra un comportamiento paralelo con un promedio de $418 \text{ mg/l} \pm 34\%$ de variación y con picos del orden de 674 mg/l .

La relación de las concentraciones promedio entre la $DQO/DBO_5 = 418/220 = 1.9$. Como es sabido, el valor de ésta relación nos indica la proporción de materia orgánica que es susceptible de ser biodegradada. También nos -

provee de una estimación del valor de DBO_5 en un lapso más breve de tiempo a través de la medición de la DQO.

En éste punto, vale la pena analizar la relación DQO/DBO_5 para algunos muestreos individuales. El muestreo del 6 de octubre de 1991 presenta una relación de $408/150 = 2.7$; del 20 de abril de 1991, $524/203 = 2.5$ y del 16 de noviembre de 1992, $674/314 = 2.1$; éstos coeficientes más altos son debido a las descargas residuales intermitentes de origen industrial que aportan residuos orgánicos sintéticos resistentes a la biodegradación.

En lo que respecta al tratamiento para la remoción de la materia orgánica, los resultados de los análisis efectuados indican la factibilidad de aplicar un sistema biológico de tipo aerobio; por lo que es deseable realizar pruebas de tratabilidad a nivel planta piloto para obtener datos tales como coeficiente de velocidad de reacción, tiempos óptimos de retención, evaluación de eficiencias, etc.

Desde el punto de vista contaminación por carga orgánica de las aguas residuales del Interceptor Poniente y de acuerdo a los resultados de DBO_5 y DQO, también por observaciones de campo; podemos afirmar que la demanda de oxígeno requerida para la autodepuración natural de dichas aguas está muy por arriba de la capacidad de oxigenación natural; desarrollándose, en consecuencia, condiciones sépticas con sus características malos olores que afectan a la población de las zonas cercanas por donde corre el canal. Agudizándose éste problema en el tiempo de estiaje por las condiciones inherentes a la climatología.

Nitrógeno y fósforo.

La variación en concentración de nitrógeno total y fósforo cuantificado como fosfato total, pueden apreciarse en las figuras 6.9 y 6.10 respectivamente; el nitrógeno total presenta un promedio de $29 \text{ mg/l} \pm 31\%$ de variación, con un máximo estadístico de 38 mg/l ; Para el fosfato total, el promedio se ubica en $3.8 \text{ mg/l} \pm 51\%$ de variación y con un máximo estadístico de 5.7 mg/l (tabla 6.3).

Como es sabido el nitrógeno y fósforo son elementos esenciales en los procesos metabólicos de los seres vivos; si se quiere aplicar un sistema de depuración biológico es deseable mantener una concentración de nutrientes en la proporción $\text{DBO/N/F} = 100/5/1$.

En nuestro caso tenemos, en concentraciones promedio, $220/29/3.5$, que corresponde a una proporción de $100/13/1.7$. Si bien éstos elementos se encuentran por arriba de la proporción deseada, también es cierto, que no se encuentran en concentraciones tan altas que sea necesario un tratamiento específico para su remoción; además de que en los tratamientos convencionales se obtienen abatimientos significativos.

Desde el punto de vista de irrigación agrícola, tales concentraciones de nutrientes no provocan una hiperfertilización; por lo que es de esperarse que se integren a su ciclo natural sin problema alguno.

Compuestos tóxicos.

Dentro de éste grupo que clasificamos con el nombre genérico de "compuestos tóxicos" se encuentran los fenoles, cianuro y detergentes, éstos compuestos exhiben diferente grado de toxicidad que depende de su concentración y del compuesto específico de que forman parte; el grado en que afectan a los microorganismos y organismos acuáticos está fuera del alcance de éste estudio.

Los fenoles están presentes en un promedio de 0.32 mg/l con un máximo estadístico de 0.58 mg/l. Aunque no están presentes en altas concentraciones, su presencia indica el vertido de hidrocarburos provenientes, posiblemente de talleres automotrices existentes en la zona.

Los cianuros se ubican en un promedio de 0.21 mg/l y la máxima en 0.93 mg/l. La constante de disociación del HCN, $pK_a = 9.2$ y la variación de pH es de 7.2 a 7.7; aunque el valor de pH es menor, el nivel de concentración de cianuros no constituye mayor peligro.

Los detergentes están presentes en un promedio de 11.5 mg/l con un máximo estadístico de 15.8 mg/l. Este nivel de concentración es típico de encontrar en las aguas residuales de tipo doméstico y aunque pueden afectar en algún grado a la población de microorganismos existentes en las aguas residuales, no constituyen un problema prioritario.

Metales pesados.

Como mencionamos en el estudio bibliográfico, la reactividad de los metales denominados "pesados" es muy diversa y sus efectos tóxicos sobre los sistemas biológicos también.

El mayor peligro que presentan los metales pesados en aguas destinadas para riego agrícola es la bioacumulación en los cultivos y en el ingreso a la cadena alimenticia, afectando a diferentes especies de animales y finalmente al hombre.

En la tabla 6.3 se encuentran tabulados los valores de concentración promedio para el arsénico, bario, cromo, fierro, mercurio, manganeso, níquel, plata, plomo zinc, selenio, calcio y magnesio.

De acuerdo a la Norma Técnica Ecológica NTE/CCA-032/91, ya referida en el capítulo 5.6, los contaminantes que están por arriba de ésta norma son: arsénico, cadmio, cromo, níquel, fierro y manganeso.

La concentración promedio de arsénico se ubica en 0.031 mg/l con un máximo estadístico de 0.091 mg/l y con picos de 0.21 mg/l (figura 6.15). El máximo permisible de acuerdo a la referida norma es de 0.1 mg/l.

La concentración promedio de cadmio se ubica en 0.007 mg/l con un máximo estadístico de 0.01 mg/l y con picos de 0.013 mg/l (figura 6.16). El máximo permisible es de 0.01 mg/l.

En la figura 6.17 se observa la variación de cromo total, el cual presenta picos de 0.29 mg/l, con un promedio estadístico de 0.105 mg/l. El máximo permisible de acuerdo a la citada norma es de 0.01 mg/l.

La variación de níquel se observa en la figura 6.14; presenta picos de 0.254 mg/l, ubicándose la concentración promedio en 0.127 mg/l. El máximo permisible es de 0.05 mg/l.

En lo que respecta al fierro, presenta una concentración promedio de 3.07 mg/l y un pico de 6.0 mg/l (figura 6.13). Para el manganeso, el promedio se ubica en 0.395 mg/l, con un pico de 0.906 mg/l (figura 6.13). Los máximos permisibles de acuerdo a la multicitada norma es de 5.0 mg/l y 0.02 mg/l, fierro y manganeso, respectivamente.

De acuerdo a los contaminantes que se encuentran por arriba de la norma pueden adoptarse dos alternativas de solución:

La primera, consiste en incorporar un sistema de tratamiento del tipo fisicoquímico para la remoción de arsénico, cadmio, cromo, níquel, fierro y manganeso. Esto implica una elevación substancial en el costo del agua tratada.

La segunda opción es realizar pruebas a nivel planta piloto con sistemas convencionales biológicos para determinar las eficiencias de remoción que es factible obtener; no como biodegradación, pero sí, por los fenómenos de oxidación, adsorción, floculación y sedimentación que intervienen en

éste tipo de procesos.

Otra alternativa más, consiste en identificar la procedencia, sobre todo, de los contaminantes cromo y níquel; los cuales provienen indudablemente de alguna industria de acabados metálicos ubicada en la zona de influencia. Y mediante la coordinación con autoridades ecológicas evitar la descarga de sus aguas residuales al canal Interceptor Poniente.

Grasas y aceites.

La importancia de analizar el contenido de grasas y aceites en las aguas residuales del Interceptor Poniente, obedece a dos aspectos: primero, al formarse una capa aceitosa de menor densidad por encima del agua, impide la transferencia de oxígeno al cuerpo de agua del canal; creando diversos problemas para la fauna acuática. Segundo, crea problemas de operación en las instalaciones y condiciones antiestéticas.

La concentración promedio de grasas y aceites en las aguas residuales del Interceptor Poniente se ubica en 59 mg/l, con un máximo estadístico de 85 mg/l y con picos de 106 mg/l. (figura 6.12).

Para la ración de éste contaminante debe establecerse un eficiente sistema separador de grasas.

Contaminación bacteriológica

Aunque la cuenta de coliformes totales y fecales sólo se realizó en tres muestreos de los trece programados, los resultados obtenidos indican una alta concentración de contaminación bacteriológica, del orden de ----- 2 400 000/100 ml para coliformes fecales y 2 400 000/100 ml para coliformes totales. Este contenido tan alto presupone la existencia de diversos organismos patógenos, tal como se indicó en el apartado 5.8.

De acuerdo a la Norma Técnica Ecológica NTE/CCA-033/91, por el nivel de contaminación bacteriológica de las aguas residuales del Interceptor Poniente, se ubica dentro del tipo 4 ; con uso restringido para ciertos cultivos como se indica en la tabla 5.1.

Si bien, la contaminación bacteriológica y de organismos patógenos en aguas destinadas para irrigación es de alto riesgo, también es relativamente fácil su desinfección por métodos químicos tales como la cloración.

7.0 CONCLUSIONES

De acuerdo a los objetivos planteados en el inicio de éste estudio, se logró realizar la caracterización fisicoquímica del agua residual del canal Interceptor Poniente a la altura del campo IV, Rancho Almaraz; así como un estudio bibliográfico sobre los criterios de calidad que de be cumplir un agua de reuso en actividades agrícolas.

Como resultado de éste trabajo teórico-experimental se desprenden las siguientes conclusiones:

La calidad del agua residual del canal Interceptor Poniente a la altura del campo IV, Rancho Almaraz, acusa contaminación en los aspectos Fisicoquímico, Metales pesados y Bacteriológico.

Dentro del grupo denominado Fisicoquímico sobresalen por su nivel de concentración, los parámetros color, turbiedad, sólidos suspendidos, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, Nitrógeno, detergentes y grasas y aceites. (tablas 6.2 y 6.3).

Los metales pesados que están por arriba de la norma Técnica Ecológica MTE/CCA-032/91, y que establece los máximos permisibles para la disposición de aguas residuales mediante riego agrícola, son: arsénico, cadmio, cromo, níquel, hierro y manganeso. (apartado 5.6).

En lo que respecta a la contaminación de tipo bacteriológico, existe una

alta concentración de los indicadores coliformes totales y coliformes fecales. Las restricciones de reuso de aguas residuales en actividades agrícolas está establecidas por la Norma Técnica Ecológica NTE/CCA-033/91. (apartado 5.8).

Considerando, que la calidad de agua que se requiere para la irrigación de los campos experimentales de la FES-Cuautitlán, Campo IV, no debe estar sujeta a restricción alguna, debido a la variedad de cultivos que se manejan; es necesario dar tratamiento a una porción de las aguas residuales del canal Interceptor Poniente, si se quiere aprovechar en actividades agrícolas.

Desde el punto de vista técnico, es factible alcanzar los valores máximos permisibles de los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos establecidos por las normas vigentes; mediante la aplicación de procesos convencionales del tipo físico, químico, biológico ó la combinación de éstos.

La selección final del proceso de tratamiento aplicable, deberá realizarse a la luz de un análisis técnico y económico. Por lo que es necesario efectuar pruebas de tratabilidad con diferentes sistemas de tratamiento, que sean capaces de remover los contaminantes que en éste estudio se indican.

Debido a la creciente demanda de agua potable en el Valle de México, la actual Política Ecológica ha puesto mayor énfasis en el aprovechamiento

racional, control y prevención de la contaminación del agua.

La ley General del Equilibrio Ecológico y Protección del Ambiente, del 28 de enero de 1988, contempla el tratamiento y reuso de las aguas residuales, en los artículos 119 y 128. Así mismo, se han expedido en los últimos años, una serie de Normas Técnicas Ecológicas que regulan la descarga de aguas residuales por ramo industrial.

Todo lo anterior, forma un marco propicio para la realización del proyecto de reuso de agua residual emprendido por la FES-Cuautitlán.

Con éstas reflexiones quiero concluir el presente estudio esperando sea de utilidad para dar continuidad al proyecto y para estudios presedentes.

BIBLIOGRAFIA.

- 1.- APHA, AWWA, WPCF, STANDAR METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTE WATER, 15 TH, EDITION, WASHINGTON (1980).
- 2.- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (A.S.T.M.) MANUAL DE AGUAS PARA USOS INDUSTRIALES, CAP. 6, "AUTOPURIFICACIÓN Y MECANISMOS NATURALES QUE RESTITUYEN LA CALIDAD DEL AGUA", PP. 115-125 3A, ED, LIMUSA, MÉXICO (1982).
- 3.- BURDON WILLIAMS, MICROBIOLOGÍA, CAP. 7, 1A, ED, PUBLICACIONES CULTURALES S.A, MÉXICO (1980).
- 4.- C.P.,E.H. S./OPS/OMS, EVALUACIÓN EPIDEMIOLOGICA DE RIESGOS CAUSADOS POR AGENTES QUÍMICOS AMBIENTALES, 1A, ED, LIMUSA MÉXICO (1988)
- 5.- CETENAL, SECRETARIA DE LA PRESIDENCIA, CARTA TOPOGRÁFICA E14129, ESTADOS UNIDOS MEXICANOS (1971)
- 6.- CEPIS/HPE/OPS/OMS, REUSO DE AGUAS RESIDUALES PRETRATADAS EN AGRICULTURA Y PISCICULTURA, LIMA PERÚ (1986).
- 7.- COMISIÓN ESTATAL DE AGUA Y SANEAMIENTO DEL ESTADO DE MÉXICO, (CEAS), REUNION INTERNACIONAL SOBRE SISTEMAS HIDRÁULICOS EN GRANDES URBES, SISTEMA HIDRÁULICO DEL ÁREA METROPOLITANA DE LA CIUDAD DE MÉXICO, (1981).
- 8.- DEPARTAMENTO DE SANIDAD DEL ESTADO DE NUEVA YORK, MANUAL DE TRATAMIENTO DE AGUAS NEGRAS, CAP. 2, "DISPOSICIÓN DE LAS AGUAS NEGRAS" PP. 31-45, 1A, ED, LIMUSA MÉXICO (1983).
- 9.- DIRECCIÓN GENERAL DE USOS DEL AGUA Y PREVENCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN, (S. R. H.), INSTRUCTIVO PARA LA TOMA Y TRANSPORTE DE MUESTRAS DE AGUA PARA ANALISIS FISICOQUÍMICO Y BACTERIOLÓGICO, MÉXICO, D.F, (1976).
- 10.- E. CUSTODIO, M. R. LLAMAS, HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA, VOL. I Y II, 2A, ED, EDICIONES OMEGA S. A, BARCELONA ESPAÑA (1983).
- 11.- FAIR, GEYER Y OKUN, INGENIERÍA SANITARIA Y DE AGUAS RESIDUALES, VOL. 2, PURIFICACIÓN DE AGUAS Y TRATAMIENTO Y REMOCIÓN DE AGUAS RESIDUALES, CAP. 33, "ECOLOGÍA DE LAS AGUAS RECEPTORAS", PP. 479-530, 1A, ED, LIMUSA, MÉXICO, (1984).

- 12.- F. E.S. CUAUTITLÁN , REUSO DEL AGUA DE LA FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN, INFORME NO. 1. CLAVE PCECBNA-020315, MÉXICO (1984).
- 13.- INTERNACIONAL REFERENCE CENTER FOR WASTES DISPOSAL (IRCND). HEALTH ASPECTS OF WASTEWATER AND EXCRETA USE IN AGRICULTURE AND ACUACULTURE. THE ENGELBERG REPORT. DUBENDORF, SEITZERLAND, P. 25 (1985).
- 14.- M.A. GAMRASNI. APROVECHAMIENTO AGRÍCOLA DE AGUAS NEGRAS URBANAS. CAP. 3, 1A, ED. LIMUSA, MÉXICO, (1986).
- 15.- METCALF AND EDDY, WASTEWATER ENGINEERING TREATMENT, DISPOSAL, REUSE. CAP. 3,9,10, 1A, ED. MC, GRAW-HILL, NEW YORK (1979).
- 16.- MICHAEL A. WINKLER, TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE AGUAS DE DESECHO. CAP. 1 Y 7. 1A, ED. LIMUSA, MÉXICO, (1986).
- 17.- MORENO CASTILLO J. SISTEMAS DE RIEGO, SUELOS, CULTIVOS Y REQUERIMIENTOS DE AGUA. CURSO SOBRE USO DE AGUAS RESIDUALES PRETRATADAS EN AGRICULTURA Y PISCICULTURA. 7-11 DE ABRIL DE 1986 LIMA, PERÚ.
- 18.- OMAR CAMARGO R. SALINIZACIÓN E IMPERMEABILIZACIÓN DE LOS SUELOS COMO CONSECUENCIA DEL RIEGO DE LAS AGUAS SERVIDAS. LIMA, PERÚ (1986).
- 19.- OPS/OIS RIESGOS DEL AMBIENTE HUMANO PARA LA SALUD. LIMA, PERÚ (1972).
- 20.- OPS/OIS , GUIAS PARA LA CALIDAD DEL AGUA POTABLE, RECOMENDACIONES. VOL 1. CAP. 4, 1A, ED. WASHINGTON (1984).
- 21.- OPS/OIS: CRITERIOS DE SALUD AMBIENTAL 1. ; MERCURIO. CAP: 3,4, 5,6, 1A, ED, WASHINGTON (1976).
- 22.- OPS/OIS: CRITERIOS DE SALUD AMBIENTAL 3: PLOMO. CAP. 3,4,5,6, 1A, ED. WASHINGTON (1977).
- 23.- PHILIP L. CARPENTER. MICROBIOLOGÍA. CAP. 4, 6, 7 . 2A, ED. INTERAMERICANA MÉXICO, (1979).
- 24.- PROGRAMA DE NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO (PNUD/BIRE). MANEJO Y REUSO DE DESECHOS EN LA ZONA METROPOLITANA DE LA CIUDAD DE MÉXICO, PROPUESTAS DE PROYECTOS A REALIZARSE. MÉXICO, (1986).
- 25.- SARH, SUBSECRETARÍA DE INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA, MANUAL DE MICROBIOLOGÍA DEL AGUA, VOL. 1, CAP.3; AUTOPURIFICACIÓN DE CORRIENTES. DIRECCIÓN GENERAL DE DESARROLLO TECNOLÓGICO, MÉXICO (1985).

- 26.- SAHAB HADDAD, E. EL RECURSO AGUA Y SU APROVECHAMIENTO, DISPONIBILIDAD DEL RECURSO EN MÉXICO, VOL 4, NUM. 5, PP.6-11, MÉXICO, (1989).
- 27.- SAENS RODOLFO., CRITERIOS DE CALIDAD DE AGUA PARA REUSO DE AGUAS RESIDUALES EN RIEGO, TÓXICOS, PATÓGENOS, DETERIORO DE LOS SUELOS, OPS. LIMA, PERÚ (1986).
- 28.- S.E. D. U. E. , LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y LA PROTECCIÓN AL AMBIENTE, CAP. II., "PREVENCIÓN Y CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA Y DE LOS SISTEMAS ACUÁTICOS, DIARIO OFICIAL PP. 45 - 48 , MÉXICO, 28 DE ENERO DE 1988.
- 29.- S.E. D. U. E. DELEGACIÓN EDO. DE MÉXICO. , LA ECOLOGÍA EN TEXCOCO., CICLO DE CONFERENCIAS, "AGUAS NEGRAS PARA RIEGO AGRÍCOLA", SEPTIEMBRE 25 - 3 OCTUBRE, MÉXICO, (1987).
- 30.- SYED, R. NASIM , WASTEWATER TREATMENT PLANTS: PLANNING, DESIGNING AND OPERATION, CAP. 4 , 8 , 11, 12, 13, 14. , 1A, ED, CBS COLLEGE PUBLISHING., NEW YORK, (1985).
- 31.- SOLIS, ALBA, R. , EL DESTINO DEL AGUA RESIDUAL, AGUA POTABLE, REVISTA DE SANEAMIENTO AMBIENTAL EN MÉXICO, VOL. 4, NO. 50, PP. 27 - 31. MÉXICO (1983).
- 32.- V. L. SNOYINK, D. JENKINS., QUÍMICA DEL AGUA, CAP. 4 . PP. 181 - 224 , 1A, ED. MÉXICO, (1987).
- 33.- VILLEGAS CONTRERAS, A. NUTRIENTES REQUERIDOS POR LAS PLANTAS, NUTRIENTES EN LOS SUELOS Y PRESENTES EN LAS AGUAS RESIDUALES, CURSO SOBRE USO DE AGUAS RESIDUALES PRETRATADAS EN AGRICULTURA Y PISCICULTURA, LIMA, PERÚ , (1986).
- 34.- MUIRHEAD-THOMPSON, R. C.; PESTICIDAS AND FRESHWATER FAUNA, 2A, ED. CAP. 2 Y 7; ACADEMIC PRESS., NUEVA YORK , , 1972.
- 35.- MATSUMURA, F. B. G. , ENVIRONMENTAL TOXICOLOGY OF PESTICIDAS P.59 ACADEMIC PRESS , NUEVA YORK., 1972
- 36.- NERI R. , GONZALEA CORTES, A. GOSSET., POSIBLES DAÑOS A LA SALUD ABIERTA, POR SALES DE CROMO EN EL AMBIENTE, PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN EPIDEMIOLÓGICA COMPRENSIVA., SALUD PÚBLICA, MÉXICO , 1980.

- 37.- FELDMAN R. G., NEUROLOGICAL MANIFESTATIONS OF MERCURY INTOXICATION, ACTA NEUROLOGICA SCANDINAVIA., SUPPL. 92 , 1982.
- 38.- FELDMAN R. G. , NEUROLOGICAL PICTURE OF LEAD POISONING, ACTA -- NEUROLOGIA SCANDINAVIA., SUPPL 92, 1982 .
- 39.- VEGA G. SILVIA. TOXICOLOGÍA I. CINÉTICA Y EFECTOS DE LOS CONTAMINANTES TÓXICOS DEL AMBIENTE. CAP. 6, "PLAGUICIDAS"
OPS/OMS ., LIMUSA., MÉXICO., 1988
- 40.- F. EUGENE Mc JUNKIN., AGUA Y SALUD HUMANA., CAP. 2. "ENFERMEDADES TRANSMITIDAS A TRAVÉS DEL AGUA" , OPS/OMS: LIMUSA, MÉXICO, 1986