



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN



"ESTUDIO DEL GRADO DE CONTAMINACION POR SUSTANCIAS NOCIVAS Y TOXICAS EN AGUAS RESIDUALES USADAS CON FINES DE RIEGO AGRICOLA EN EL MUNICIPIO DE TELOYUCAN. ESTADO DE MEXICO"

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO AGRICOLA
P R E S E N T A N :

GUSTAVO ENRIQUE ROJO MARTINEZ
JORGE LOPEZ CRUZ
ROSA MARTINEZ RUIZ

Asesor: M.C. Edvino Josafat Vega Rojas.

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEXICO

1993

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis 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.

I N D I C E

	Pág.
I. INTRODUCCION	1
Objetivos	6
Hipótesis	6
II . REVISION DE LITERATURA.	7
Antecedentes del uso de aguas residuales.	7
Generalidades sobre el uso de aguas residuales en México.	9
Importancia de la calidad del agua.	18
Características principales del agua.	18
Calidad del agua.	19
Tipos de agua.	21
Características de las aguas residuales.	28
Características Físicas.	28
Características Químicas.	31
Características Biológicas.	71
Influencia de la Irrigación con aguas residuales en suelo y los cultivos.	81
Criterios y normas de calidad de aguas residuales.	85
Los metales pesados.	102
Generalidades de los metales pesados.	102
Plomo (Pb).	129
Cromo (Cr).	141
Cadmio (Cd).	153
Manganeso (Mn).	161
Fierro (Fe).	167
Zinc (Zn).	171
III. MATERIALES Y METODOS.	174
Area de estudio.	174
Localización de los sitios de muestreo.	182
Metodología.	185
IV. RESULTADOS.	186
V. CONCLUSIONES.	219
VI. ALTERNATIVAS.	222
VII. BIBLIOGRAFIA.	224

INDICE DE CUADROS, FIGURAS Y GRAFICAS

	Pag.
Figura 1 Disponibilidad Regional de Agua.	10
Cuadro 1 Efluentes de aguas residuales de las principales ciudades para riego agrícola.	14
Cuadro 2 Programa Agua Limpia, Decadalico 1991.	15
Cuadro 3 Principales giroa Industriales de las mayores descargas de aguas residuales en México.	16
Cuadro 4 Reseuen de la Infraestructura de tratamiento Industrial y Municipal).	17
Figura 2 Molécula del agua.	18
Cuadro 5 Propiedades del agua.	20
Cuadro 6 Características físicas del agua potable.	23
Cuadro 7 Características químicas del agua potable.	24
Cuadro 8 Características biológicas del agua potable.	24
Cuadro 9 Límites máximos permisibles de sustancias presentes en los cuerpos receptores de agua según la Environmental Protection Agency (EPA).	32
Cuadro 10 Límites máximos permisibles de sustancias presentes en los cuerpos receptores según su utilización.	33
Cuadro 11 Valores máximos tolerables para descargas de aguas residuales.	35
Cuadro 12 Composición típica de agua residual doméstica no tratada.	37
Cuadro 13 Características de aguas residuales en flujos superficiales combinados.	37
Cuadro 14 Características de aguas residuales municipales antes de ser tratadas.	39
Cuadro 15 Composición de aguas residuales domésticas típicas sin tratar.	46
Figura 3 Ciclo de los pesticidas en el ambiente.	56
Cuadro 16 Concentración de plaguicidas organoclorados en suelos de Canadá y Estados Unidos.	57

Cuadro 17	Residuos de plaguicidas organoclorados en aves rapaces de Illinois (1966- 1981).	58
Cuadro 18	Toxicidad potencial de los metales pesados.	70
Cuadro 19	Microorganismos patógenos que pueden encontrarse en las aguas de desecho.	72
Cuadro 20	Agentes patógenos presentes en México.	73
Cuadro 21	Presentación de organismos patógenos por el uso de aguas residuales en el riego de cultivos.	74
Cuadro 22	Supervivencia de algunos patógenos en el suelo y en las plantas.	76
Cuadro 23	Punto crítico de la surto de algunos patógenos y parásitos comunes.	78
Cuadro 24	Límites máximos permisibles de sustancias presentes en los cuerpos receptores según la Environmental Protection Agency (EPA).	80
Cuadro 25	4 Criterios de calidad del agua.	87-91
Cuadro 25 B	Valores máximos permisibles en aguas para uso agrícola e industrial.	95
Cuadro 26	Normas para el uso de aguas residuales en el riego agrícola.	98
Cuadro 27	Límites máximos de la calidad de las aguas residuales para riego agrícola.	99
Cuadro 28	Límites máximos de contaminantes para las aguas residuales de origen urbano o municipal que se dispongan mediante riego agrícola.	101
Figura 4	Esquema de interacción entre una sustancia tóxica y un organismo vivo.	105
Figura 5	Vía de absorción, distribución y eliminación de agentes tóxicos en el organismo.	105
Cuadro 29	Producción de los principales metales pesados de interés toxicológico en México (Tons.).	106
Cuadro 30	Concentraciones tóxicas aproximadas de elementos traza en tejidos de hoja oscura.	120
Cuadro 31	Efectos generales de toxicidad de elementos traza en cultivos comunes.	121-122
Cuadro 32	Elementos traza esenciales y su concentración aproximada en el organismo.	123
Cuadro 33	Producción de algunos metales en Latinoamérica (1982).	130
Figura 6	Importancia del plomo atmosférico en la contaminación global del ambiente y en el aporte de plomo al organismo humano.	131
Cuadro 34	Exposición aguda y prolongada al plomo en la población general.	139

Cuadro 35	Exposición prolongada al plomo en la población general.	139
Cuadro 36	Relaciones entre concentraciones de plomo y efectos tóxicos en el adulto.	140
Cuadro 37	Relaciones entre concentraciones de plomo y efectos tóxicos en el niño.	140
Cuadro 38-39	Principales aspectos clínicos de la exposición al Cadmio.	160
Cuadro 40	Exposición aguda y prolongada al Hg en la población general.	166
Cuadro 41	Exposición prolongada al Hg en trabajadores.	166
Figura 7	Límites municipales de Teoloyucan Edo. de México.	175
Figura 8	Principales Barrios del Municipio de Teoloyucan México.	177
Figura 9	Efluentes de agua y sitios de muestreo de agua.	183
Figura 10	Sitios de muestreo de suelo y planta.	184
Gráficas 1 y 2	Concentración de metales pesados en aguas del río Cuautitlán.	193
Gráficas 3 y 4	Concentración de metales pesados en aguas del río Chico.	194
Gráficas 5 y 6	Concentración de metales pesados en aguas del arroyo de desechos.	195
Gráficas 7 y 8	Concentración de metales pesados en aguas de la muestra compuesta.	196
Gráficas 9 a 12	Concentración de Cr, Cu, Pb, Mn, en suelo.	198-199
Gráficas 13 y 14	Concentración de Cd y Zn en suelo.	202
Gráficas 16 a 20	Concentración de metales pesados en planta de maíz (foliajes: tallo y hoja).	203-206
Gráficas 21 a 26	Concentración de metales pesados en planta de maíz (frutos: azúcares).	207-209
Gráficas 27 a 32	Concentración de metales pesados en planta de maíz (raíz).	210-212
Gráficas 33 a 38	Concentración de metales pesados en planta de alfalfa (foliajes: tallo y hoja).	213-216
Gráficas 39 a 44	Concentración de metales pesados en planta de alfalfa (raíz).	216-218

I. INTRODUCCION

Para satisfacer sus necesidades vitales, el hombre ha utilizado durante toda su existencia los medios que le ha proporcionado su entorno natural, ha desarrollado distintas técnicas para su alimentación, para vestirse y alojarse, que han iniciado cada vez con mayor intensidad sobre el medio ambiente. (Vázquez, 1982).

Los primeros pobladores se dedicaron a la colecta de los frutos y más tarde a la caza, viviendo en armonía con la naturaleza. Como los demás animales el hombre forma parte de los ecosistemas terrestres de los que constituye un elemento más. Con la actividad agrícola iniciada en el periodo neolítico, el hombre fué un protagonista del primer gran cambio revolucionario. Taló árboles y quemó bosques a fin de ampliar la superficie de tierra utilizable para el desarrollo de sus actividades; domesticó los animales y se organizó socialmente. Como consecuencia de ello formó poblados, el cambio fué tan importante que muchos autores lo nombrarán "La Revolución del Neolítico", a pesar de que la transformación no se produjera de manera inmediata, sin embargo, el asentamiento del hombre modificó muy poco el medio. En la actualidad el suelo ha quedado al descubierto, sin protección natural, ni tampoco la protección humana que le proporcionará el campesino por medio de las técnicas de cultivo adecuadas. (C.C.I.S., 1971).

TESIS CON
FALLA LE CR.GEN

La revolución industrial modificó igualmente el modo de producción y de organización social; las consecuencias fueron graves, por lo que respecta a las relaciones entre el hombre y la naturaleza, las nuevas técnicas permitieron una actuación intensiva y extensiva, llegando a explotarse muchos recursos naturales, el crecimiento constante de la población humana durante los últimos siglos, incrementó la densidad de población, concentrando gran número de habitantes en espacios reducidos. Todos estos factores sumados al desarrollo industrial traen como consecuencia un aumento espectacular en el consumo de energía y materiales, apareciendo un problema nuevo que dificultó aún más, la posibilidad de establecer un equilibrio entre el hombre y la naturaleza:

La contaminación.- representó inicialmente un ataque a la salud humana, incidente sobre todo a la clase trabajadora que vivía en pésimas condiciones cerca de los núcleos de producción y poco a poco los efectos se extendieron a gran parte de la población. En la actualidad los efectos derivados de los distintos tipos de contaminación, constituye un gran peligro para los recursos naturales y para el mismo hombre; alteran los ecosistemas y son factor principal de muchos problemas más.

No se puede menospreciar el fenómeno de la contaminación considerándolo solamente como un efecto inevitable del crecimiento a una consecuencia inmediata del progreso técnico, el ambiente humano creado por el industrialismo nunca ha sido envidiable pero cabe reconocer que muchos países han luchado por mejorar la calidad de la vida y embellecer su entorno.

En nuestro país la necesidad, por una parte de conseguir su desarrollo rápido con la única finalidad de aumentar la renta per-capita de la población, y por otra la situación democrática que impedía a los poderes públicos hacer suyas las aspiraciones populares, menospreciando los valores ambientales. (E.I.M.R.R.A.C., 1972).

Es posible entender ahora que los problemas de la contaminación son tan viejos como la misma existencia del hombre sobre la tierra, pero que en las últimas décadas, se han acentuado fenómenos como el crecimiento de la población, y se han provocado desequilibrios ecológicos que constituyen verdaderos desafíos para la humanidad y un reto para que el hombre ponga en juego sus mejores recursos morales e intelectuales y logre imponerse a un medio ambiente que se deteriora gradualmente y se vuelve más agresivo. (Vizcaino, 1975).

En México, al igual que en otros países del mundo, se utilizan las aguas residuales provenientes de zonas urbanas, industriales y refinerías, para el riego de las diferentes regiones agrícolas. Estas aguas muchas veces no son sometidas a tratamiento alguno para eliminar residuos, (Vizcaino, 1976), lo que provoca una gran depresión de elementos tóxicos nocivos, tales como sales solubles; detergentes del tipo "ABS" o Alkil-Benceno-Sulfatano, Boros; metales pesados; sustancias corrosivas, sustancias explosivas; sólidos volátiles, sólidos sedimentables; microorganismos patógenos; grasas y aceites, etc., que provocan impactos positivos o negativos en su trayecto y/o lugares receptores.

Estas sustancias ocasionan graves problemas de salud pública (Vega (1985), Galvao (1989), Pereira y Col (1986), Valle (1986). Así mismo, en los animales se han presentado graves alteraciones fisiológicas (Mc Donald y Col, 1986) provocan degradación de los suelos (Page y Chang, 1975) (Ayanegí y García, 1986) que inducen al stress a las plantas (Arevalo, 1984), Sorys y Alturba (1982); Kabarta y Col, 1986) y contaminan los recursos hídricos.

El peligro que pueden presentar los metales pesados tales como Plomo (Pb), Cromo (Cr), Mercurio (Hg), Arsénico (As), Cadmio (Cd), etc. contenidos en las aguas residuales para riego, es que pueden acumularse en los tejidos vegetales de los cultivos y entrar a la cadena alimenticia de tal forma que se rebasen los límites máximos tolerables estipulados para preservar la salud de los consumidores.

Cuellar y Col. (1978). Señalan que en nuestro país, existen un alto porcentaje de uso de aguas residuales municipales (sin tratamiento) usadas para fines de riego agrícola; generalmente en las áreas rurales circunvecinas a los grandes polos de desarrollo como son Monterrey, Guadalajara, Tijuana, Toluca, la zona Metropolitana del Valle de México, etc.

La gran cantidad de aguas negras que circulan en el municipio de Teoloyucan y su distribución por la zona, hace necesario que se conozca su calidad y sus posibles consecuencias que pueden provocar a sus habitantes, a los cultivos (aumentando o disminuyendo su calidad o producción), a los animales y al suelo.

En base a lo anteriormente expuesto, el desarrollo del presente trabajo se avocó a conocer el nivel de contaminación del agua por sustancias nocivas y tóxicos y sus posibles efectos en el suelo, planta y consumidores del municipio de Teoloyucan, Edo. de México.

O B J E T I V O S

- Conocer la calidad del agua de riego con respecto a la cantidad de sustancias nocivas y tóxicas y sus posibles efectos en el suelo, plantas y consumidores.
- Cuantificar la concentración de metales pesados en agua, suelo y plantas de interés agrícola en el Municipio de Teoloyucan.
- Evaluar las concentraciones de metales pesados en base a los índices y/o parámetros teóricos reportados en la literatura.

H I P O T E S I S

- Si la zona de estudio está cerca del área industrial-urbana del Estado de México, entonces sus efluentes hídricos utilizados en el riego agrícola presentaran grandes concentraciones de sustancias nocivas y tóxicas en el suelo, fauna y flora.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

Antecedentes del uso de aguas residuales.

Seoanez (1978), menciona que antes de nuestra era se empleaban los vertidos de los núcleos urbanos en el riego de parcelas agrícolas de ciertas polis-griegas; así, en la mayoría de las pequeñas y medianas agrupaciones humanas en las que se ha practicado la agricultura, ha sido y es frecuente el uso directo de las aguas residuales en el riego de cultivos hortícolas de áreas periurbanas con resultados diversos. Se tiene conocimiento concreto del uso agrícola de las aguas residuales en Bunzlau (Alemania) a mediados del siglo XVI; como consecuencia de ello, empezaron a proliferar las aldeas, villas y ciudades que encontraron práctico el sistema de vertido al suelo, y así, hay indicios de esta técnica aplicada en South Norwood (UK) en 1864, en Berlín en 1867, en Augusta (USA) en 1872, en Birmingham (UK) en 1880, en Melbourne (Australia) en 1883, en México (capital) en 1902, en París en 1923.

Mascareño (1974) y Seoanez (1978), reporta que la utilización de aguas residuales en México, se inició a principios de 1901 en el Valle del Mezquital, Distrito de riego 03 y en la ciudad de México. Sin embargo, la SARH (1982), indica que el riego con aguas residuales se inició en 1886 en el Valle del Mezquital.

Según S.R.H. en 1973, La superficie de riego del Valle del Mezquital comprendía 38,512 has. y la mayor parte estaba sembrada de alfalfa permitiendo de esta manera que se beneficiaran directamente 150,000 habitantes de esta región, donde los rendimientos alcanzados en la mayoría de los predios

TELIS CON
FALLA LE OR.GEN

fueron mejores que los que fertilizaban. El efecto benéfico de las aguas negras se reflejaron en los rendimientos tan halagadores, obedece al alto contenido de materiales orgánicos y elementos nutritivos que transportan dichas aguas y depositan en suelos empobrecidos volviéndolos más fértiles.

En una encuesta realizada por Mascareño a agricultores de la región (1974), se logró constatar la disminución en rendimientos en alfalfa, jitomate, frijol y otros, observándose una reducción en el número de cortes del cultivo del alfalfa; sobre todo en suelos regados más frecuentemente con aguas negras, atribuyendo esto a la aparición de las espumas de detergentes, a problemas de salinidad y toxicidad de contaminantes que se descargan en los suelos agrícolas.

No obstante las ventajas del uso de aguas negras en la agricultura, en la actualidad debido a la industrialización, la composición de las aguas negras en los últimos años ha venido sufriendo variaciones o degradación en su calidad con fines de riego. Esto se debe a que dichas industrias descargan sus desechos al drenaje y contaminan las aguas con gran cantidad de elementos tóxicos y nocivos, tales como sales solubles, detergentes del tipo "ABB" o Alkil-Benceno-sulfatano, Boro, metales pesados y otras sustancias dañinas procedentes en su mayoría usadas con fines domésticos que se vierten a los alcantarillados municipales.

GENERALIDADES SOBRE EL USO DE AGUAS RESIDUALES EN MEXICO.

En la actualidad, México enfrenta una disminución acelerada de la disponibilidad de agua en las zonas más pobladas y una creciente contaminación de los cuerpos hídricos susceptibles de servir como fuentes de abastecimiento. El desarrollo acelerado del país ha propiciado un aumento en la extracción y consumo del vital líquido lo cual ha acarreado una mayor generación de aguas residuales.

Tres son los factores principales en la contaminación del agua. El social, al cual corresponden las cargas de origen doméstico y público; el agropecuario, representando por los afluentes de instalaciones dedicadas a la crianza y engorda del ganado mayor y menor, así por las aguas de retorno de los campos agrícolas; y el industrial, manifiesto en las descargas producidas en el desarrollo de actividades correspondientes a la extracción y transformación de recursos naturales en bienes de consumo. (Fuad, 1991).

En zonas con escasa disponibilidad de agua y/o alta demanda por usuarios de ésta, es posible aprovechar las aguas generadas principalmente por medianas y grandes ciudades para cubrir los déficits generados. (Figura No. 1).

TELIS CON
FALLA DE ORIGEN

Fig. N.º 1 DISPONIBILIDAD REGIONAL DE AGUA.



FUENTE: FAUD. (1991).

Entre los usos más comunes del agua residual se tienen principalmente los que no requieren calidad de agua potable, tales como algunos procesos industriales, donde se destaca el enfriamiento y los servicios generales; uso municipal para actividades tales como el riego de parques, jardines y cementerios; el agua contra incendio y la regularización de vasos recreativos y cuerpos de agua; el uso agrícola principalmente para el riego de parcelas. De estos usos los dos primeros, por lo regular, requieren calidad de agua tratada, principalmente del tipo primario y secundario y sólo el uso agrícola puede aceptar agua residual cruda. (González, 1986).

En específico la utilización de las aguas residuales crudas en riego agrícola genera una situación muy controvertida, ya que por un lado presenta efectos positivos, tales como mayor rendimiento en el cultivo, debido al aporte de los fertilizantes, amortiguamiento en la salinización del suelo por su contenido en materia orgánica y contar con una fuente alterna de agua disponible en zonas de escasez; por otro lado presenta efectos negativos como: problemas en salud pública por el consumo y manejo de productos agrícolas regados con aguas residuales, contaminación de acuíferos en el área de riego y la generación de suelos infértiles por la salinización y obstrucción causada por la materia suspendida. (Lejeda, 1986).

El uso de aguas residuales para el riego de superficies agrícolas se ha practicado desde hace tiempo en el país, sobre todo en zonas áridas donde existen problemas para el abastecimiento del agua. Según González (1985); el aprovechamiento más importante se

tiene en las zonas agrícolas de los valles del Mezquital y de México, que comprenden los distritos de riego 03 Tula, Hgo., 88 Chalco-Chiconautla y 100 Alfajayucan, México; otros distritos que aprovechan aguas residuales generadas en núcleos urbano-industriales son los distritos 030 Valsequillo, Puebla, 028 Tulancingo, Hgo. y 04 Ciudad Juárez, Chihuahua, además de estos distritos se tiene el riego en zonas agrícolas aledañas a 53 ciudades, extendiéndose a 54 el número de ciudades en que se aprovecha el agua residual para riego.

En el estudio de factibilidad de aprovechamiento de aguas residuales de riego hecho por el Instituto Nacional de Tecnología del Agua (1986) en los distritos de riego del país, se encontró que 10 distritos pueden usar las aguas residuales y estos son:

- 10 Culiacán y Huamaya, Sinaloa (Culiacán, Sinaloa).
- 11 Alto Río Lerma, Guanajuato (Salamanca, Irapuato y Celaya, Gto.).
- 14 Río Colorado, BUN y Sonora (Mexicali, BUN y S.L. Río Colorado, Son).
- 16 Estado de Morelos, (Cuautla, Cuernavaca, Mor.).
- Región Lagunera Coah-Ugo. (Torreón, Coah., Gómez y Lerdo, Ugo.).
- 20 Morelia y Queréndaro, Michoacán (Morelia, Michoacán).
- 26 Bajo Río San Juan, Tamaulipas. (Reynosa, Tamp.).
- 41 Río Yaqui, Sonora. (Cd. Ubreón, Son.).
- 61 Zamora, Michoacán. (Zamora, Mich.).
- 75 Valle del Fuerte, Sin. (Binaloa, Sin., Guasave, Sin. y Los Mochis, Sin.).
- 82 Río Blanco, Veracruz. (Córdoba y Orizaba, Ver.).

Tejada en 1986 menciona que se tenía una superficie en el país de 185 000 has. regadas con aguas residuales de las cuales el 36% corresponden al riego provenientes de la ciudad de México.

Arango(1990) (Cuadro 1) indica que la superficie regada por aguas residuales con fines agrícolas es de 47,986 has., en 13 estados de la República Mexicana y los principales cultivos son: maíz, frijol, trigo, alfalfa, sorgo, algodón, copra, cítricos y manzana, señalando que los principales contaminantes que se encuentran en el agua son los cuerpos coliformes, grasas y aceites, sólidos suspendidos y elementos tóxicos.

Sin embargo, Calderón(1991) (Cuadro 2), reporta que la superficie bajo riego con aguas residuales son 314 000 has. de las cuales 20 591 has. son sembradas con hortalizas y otros productos que se consumen crudos, las 249 000 restantes son para otro tipo de cultivos. Los productos que se consumen en crudo pueden ser un foco de infección para la población.

Como es posible observar en sólo 5 años la superficie de cultivo irrigado con aguas negras, casi se duplicó y esto debido a la escasez de agua en las diferentes regiones del país.

Según SEDUE 1988, la cantidad generada de aguas residuales a nivel nacional es de 180 m³/seg. de los cuales 100 m³/seg los genera la población. Calderón (1991) reporta que sólo el 10% de estas aguas son tratadas.

**EFLUENTES DE AGUAS RESIDUALES DE LAS PRINCIPALES
CIUDADES PARA RIEGO AGRICOLA.**

EDO.	VOL. ANUAL MILL/M ³	SUPERF. HA	CULTIVOS PRINCIPALES	PRINCIPALES CONTAMINANTES	TRATAMIENTO
GTO.	52.23	4747	TRIGO, MAIZ, SORGO	COLIFORMES Y NUTRIENTES	NO
AGS	41.94	3813	TRIGO, MAIZ, VID	COLIF., TOXICOS, NUTRIENTES	NO
CHIH	68.96	6414	ALGODON, TRIGO Y MAIZ/MA	COLIFORMES Y SOL. SUSPENDIDOS	NO
GRD	1.72	156	COPIA, FRIJOL Y MAIZ	COLIFORMES	NO
COL	18.86	987	MAIZ, FRIJOL Y SORGO	COLIFORMES	LAGUNAS, ESTAB.
COAH	76.59	6958	ALGODON, ALFALFA Y TRIGO	COLIFORMES	NO
DGO	22.79	2157	TRIGO, SORGO Y ALFALFA	COLIFORMES Y NUTRIENTES	AERE. Y ANAEROB.
ZAC	18.93	568	MAIZ, ALFALFA Y SORGO	COLIFORMES	NO
SON	98.61	5224	CITRICOS, TRIGO Y SORGO	GRASA, ACEITES Y TOXICOS	NO
BCS	6.98	627	TRIGO, ALGODON Y ALFALFA	COLIFORMES	T. INHOFF LAGUNAS
NICH	2.88	262	MAIZ, FRIJOL Y CITRICOS	COLIFORMES	
TAM	19.97	1633	TRIGO, MAIZ Y SORGO	DBO, GRASAS Y ACEITE	NO
NL	158.88	14448	MAIZ, TRIGO Y CITRICOS	DIVERSIDAD	

CUADRO 1. (ARANGO, 1990)

PROGRAMA AGUA LIMPIA, DIAGNOSTICO 1991.

SERVICIO DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO	
POBLACION SERVIDA CON AGUA POTABLE	78%
POBLACION SERVIDA CON ALCANTARILLADO	49%
CLORACION DEL AGUA POTABLE	
CAUDAL TOTAL DE LOCALIDADES > 10,000 HAB.	120 M ³ /S
CAUDAL CLORADO	68 M ³ /S
EN LOCALIDADES	57
CAUDAL POR CLORAR	52 M ³ /S
EN LOCALIDADES	155
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	
CAUDAL MUNICIPAL GENERADO	120 M ³ /S
NUMERO DE PLANTAS INSTALADAS	361
CAPACIDAD INSTALADA	30 M ³ /S
PORCENTAJE DE EFICIENCIA DE PLANTAS	33%
CAUDAL NACIONAL TRATADO	18%
CAUDAL INDUSTRIAL GENERADO	82 M ³ /S
CAPACIDAD DE TRATAMIENTO	15%
RIEGO CON AGUAS RESIDUALES	
SUPERFICIE BAJO RIEGO	314,000 HAS.
SUPERFICIE DE HORTALIZAS Y OTROS PRODUCTOS QUE SE CONSUMEN CRUDOS, BAJO RIEGO.	29,591 HAS.

CUADRO 2. (CALDERON, 1991).

Las principales industrias que descargan mayor cantidad de contaminantes son: la industria azucarera, química, papel y celulosa, petróleo, bebidas, textil, siderúrgica, eléctrica y alimentos. (Cuadro 3). SEDUE, 1988.

PRINCIPALES GIROS INDUSTRIALES DE LAS MAYORES DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES EN MEXICO.

INDUSTRIA	EXTRACCION % RELATIVO	CONSUMO % RELATIVO	DESCARGA % RELATIVO
AZUCARERA	25.0	22.0	28.0
QUIMICA	15.0	12.0	18.0
PAPEL Y CELULOSA	12.0	10.0	15.0
PETROLEO	10.0	8.0	12.0
BEBIDAS	8.0	7.0	10.0
TEXTIL	7.0	6.0	9.0
SIDERURGICA	6.0	5.0	8.0
ELECTRICA	5.0	4.0	7.0
ALIMENTOS	4.0	3.0	6.0
OTROS	3.0	2.0	5.0
TOTAL DEL SECTOR	82.0	74.0	95.0

CUADRO 3. (SEDUE, 1988).

A nivel municipal la descarga de contaminantes es de $120\text{m}^3/\text{s}$ de los cuales sólo se trata el 25% contando con 361 plantas tratadoras. (cuadro 4.) Calderón, 1991.

Según Faud (1991), las ciudades de México, Monterrey y Guadalajara generan 46, 8.5 y $8.2\text{m}^3/\text{seg}$ de aguas residuales respectivamente, lo que corresponde al 34% del total a nivel nacional estimado en $184\text{m}^3/\text{seg}$. de los cuales 105 corresponden a la población y 79 a la industria.

Para el sector agropecuario se estima un consumo del 82% del agua aplicada, cantidad que generó en 1990, 8 485 millones de metros cúbicos de aguas residuales y para el año 2 000, 11 805 millones de metros cúbicos. (Faud, 1991).

RESUMEN DE LA INFRAESTRUCTURA DE TRATAMIENTO INDUSTRIAL Y MUNICIPAL.

ESTADO	PLANTAS INDUSTRIALES				PLANTAS MUNICIPALES			
	NUM PLANT.	CAP INST. (LPS).	DBO (TONS/MRD)	TRAT. SEC	NUM PLANT.	CAP INST. (LPS).	DBO (TONS/MRD)	TRAT. SEC
AGS					4	9	8	4
BCN					5	819	3536	5
BCS					5	113	653	5
CAM								
COAH	5	545	9446	4	8	1173	2133	8
COL	2	183			11	2247	1675	11
CHIS	1	127	1111	1				
CHIH	1	282	4977	1	3	589	2548	3
DF	13	593	5558	7	16	4414	32020	15
DGO					5	758	2218	5
GTO	6	447	6882	5	3	1433	2128	3
GRU					12	343	2997	12
NGO	2	688	18589	1	2	5	31	2
JAL	17	416	5371	11	18	731	4588	18
MEX	29	2955	12515	7	15	1894	16638	15
MICH	2	88			8	795	5585	8
MOR	1	288	2771		6	43	267	6
NAY					3	38	46	3
NL	12	1183	3581	5	6	361	1432	6
TOTAL	91	7,348	62,713	42	138	14,949	78,848	129

CUADRO 4. (ARANGO, 1998).

IMPORTANCIA DE LA CALIDAD DEL AGUA

Características principales del agua.

Las moléculas de agua están formadas por 2 átomos de Hidrógeno y uno de Oxígeno. como se muestra en la Figura 2., es característica principal su gran polaridad que permite disolver otros compuestos también polares, dado el gran número de sustancias polares existentes, es casi imposible encontrar agua pura, ya que siempre contiene algún elemento extraño. (Casanelles, 1983).

MOLECULA DEL AGUA

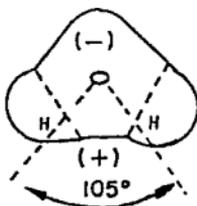


Figura 2. (Casanelles, 1983).

El agua constituye el medio ideal para la vida, en el que los problemas de frontera entre el organismo y el medio ambiente están reducidos al mínimo. Aparte del Mercurio metálico, el agua es el único mineral líquido del planeta y hoy no es posible pensar en ningún otro sustrato adecuado para la vida.

El agua es el único líquido en nuestro planeta que tiene muchas propiedades no comunes para otros líquidos, de los cuales dependen la mayoría de los aspectos familiares del mundo (Cuadro 5.) Estrada, 1983.

CALIDAD DEL AGUA

El término "calidad" significa un conjunto de cualidades por lo que se manifiesta el modo del ser de la materia (Quillet, 1978). Si el término se aplica al agua, se hace necesario definir el uso que se le va a dar a ésta, ya que la calidad tendrá un significado diferente si es para abastecimiento humano, agrícola o industrial.

El término calidad del agua se puede definir según un conjunto de parámetros que son:

- Parámetros físicos.
- Parámetros químicos.
- Parámetros biológicos.

(Galván, 1983).

Los parámetros físicos incluyen: los sólidos totales en suspensión que se define como la materia residual que queda al evaporarse el agua a una temperatura de 103-105°C, la temperatura, el calor, el olor, etc. (Martínez, 1987).

PROPIEDADES DEL AGUA

P R O P I E D A D	S I G N I F I C A D O
MAXIMA CAPACIDAD DE CALOR (CALOR ESPECIFICO) DE CUALQUIER SOLIDO O LIQUIDO (EXCEPTO H_2O).	ESTABILIZA LA TEMPERATURA DE LOS ORGANISMOS Y REGIONES GEOGRAFICAS.
MAXIMO CALOR LATENTE DE FUSION (EXCEPTO H_2O).	EFECTO TERMOSTATICO EN EL PUNTO DE CONGELACION.
MAXIMO CALOR DE EVAPORACION DE CUALQUIER SUSTANCIA	
UNICA SUSTANCIA CON MAXIMA DENSIDAD COMO LIQUIDO (4°C)	LAS AGUAS DULCES Y SALOBRES TIENEN LA MAXIMA DENSIDAD ARRIBA DEL PUNTO DE CONGELACION. ESTE ES UN PATRON IMPORTANTE DE CIRCULACION VERTICAL EN LAGOS.
MAXIMA TENSION SUPERFICIAL DE CUALQUIER LIQUIDO.	CONTROL DE LA SUPERFICIE Y FENOMENO DE GOTEO, IMPORTANTE EN LA FISIOLOGIA CELULAR.
DISUELVE MAS SUSTANCIAS EN MAYORES CANTIDADES QUE CUALQUIER OTRO LIQUIDO.	HACE POSIBLE EL COMPLEJO SISTEMA BIOLOGICO. IMPORTANTE PARA EL TRANSPORTE DE MATERIALES EN SOLUCION.
EL AGUA PURA TIENE LA CONSTANTE DIELECTRICA MAS GRANDE QUE CUALQUIER OTRO LIQUIDO.	CONDUCE A LA DISOCIACION DE SUSTANCIAS INORGANICAS EN SOLUCION.
DISOCIACION ELECTROLITICA BAJA.	ES NEUTRA, A PESAR DE CONTENER IONES H^+ Y OH^- .
RELATIVAMENTE TRANSPARENTE.	ABSORBE MUCHA ENERGIA EN LOS RANGOS DE IR Y UV; PERO POCAS EN EL RANGO VISIBLE (SIN COLOR, RELATIVAMENTE).

CUADRO 5. (ESTRADA, 1983).

Los parámetros químicos son la materia orgánica desintegrable o no, la materia inorgánica y los gases disueltos.

Los parámetros biológicos se componen de los microorganismos que viven en el agua. (Martínez, 1987).

TIPOS DE AGUA

Las aguas del planeta pueden dividirse en 8 tipos de agua, que son:

- De lluvia
- De escurrimientos interiores
- De escurrimientos subterráneos
- Estuarinas
- Oceánicas
- Potable
- Aguas residuales.

Agua de lluvia.

El agua de lluvia es transparente o ligeramente turbia, incolora y de temperatura variada; contiene sustancias disueltas de la atmósfera como son: gases (O_2 , H_2 y CO_2), materia sólida, materiales derivados de reacciones químicas iniciadas por radiación cósmica o solar, sustancias que provienen del mar. Cloruros, Sulfatos, Magnesio, Calcio y Potasio; por razones obvias de su origen el agua de lluvia no contiene flora o fauna significativa. (Estrada, 1983).



Aguas de escurrimientos interiores.

Las aguas de escurrimiento son aquellas que corren por el suelo antes de llegar a un río o cuerpo de agua superficial y las que se infiltran hasta llegar a los mantos subterráneos, por la forma en que viajan, esta acarrearán materia orgánica y organismos, así como materiales disueltos de las rocas o de las capas geológicas que atraviesan, como son Cloruros, Nitratos, Fosfatos, Sulfatos, Magnesio, Silicatos y carbonatos; esta es la causa por la que estas aguas generalmente presentan turbiedad y/o dureza. (Galvan, 1983).

Aguas subterráneas.

Aunque estas aguas reciben aporte por filtración de aguas de escurrimiento y superficiales, debido a que en su curso atraviesan diferentes estratos (por lo que sufren una percolación), se presentan transparentes, incoloras y con temperaturas que oscilan entre los 10 y 15°C; debido a que a su paso arrastran algunos materiales, pueden presentar ligera turbiedad y cierto grado de dureza. (Galván, 1983).

Aguas estuarinas.

Se incluyen en éstas los estuarios y las lagunas costeras; en este tipo de aguas, la variación es también grande, dado que reciben aportes de agua dulce y agua salada; por lo tanto, tendrá variaciones de salinidad, por mareas, en temperatura, gases disueltos, densidad, pH, etc. Así como variación en flora y fauna, que va de dulce-acuícola a marina. (Estrada, 1983).

Aguas oceánicas.

Se consideran los océanos y los mares; estas aguas presentan características especiales en cuanto a densidad, presión, transparencia, temperatura, pH, dureza, alcalinidad y salinidad. Las variaciones en flora y fauna son dependientes de las características físicas y químicas, pero conservando su origen marino. (Galvan, 1983).

Lo anterior expuesto nos lleva a concluir que las aguas en estado natural varían en calidad y estas son el producto de la presencia de sustancias de origen natural.

Agua potable.

Agua potable es el agua limpia, transparente, sin mal olor, que puede ser consumida por el ser humano y que le ayuda a la salud y sobrevivencia.

Para conocer la calidad de cierta agua para uso potable, se comparan los resultados de análisis de laboratorio de aguas, con las normas de calidad o límites máximos permisibles que se describen en los cuadros 6.7 y 8. (SARH, 1976).

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL AGUA POTABLE	
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
TURBIEDAD	10 (ESCALA DE BILICE).
COLOR	10 (ESCALA DE PLATINOCOBALTO).
SABOR	INSÍPIDA
OLOR	INODORA

CUADRO 6. (SARH, 1976).

CARACTERISTICAS QUIMICAS DEL AGUA POTABLE

CARACTERISTICAS QUIMICAS		LIMITE MAXIMO PERMISIBLE EN ppm (EXCEPTO +)
MITROGENO AMONICAL	(N)	0.50
MITROGENO PROTEICO	(N)	0.10
MITROGENO DE NITRATOS	(N)	5.00
POTENCIAL DE HIDROGENO	(pH)	6.00
OXIGENO CONSUMIDO	(O)	3.00
SOLIDOS TOTALES DISUELTOS	(STD)	1000
ALCALINIDAD TOTAL	(CaCO ₃)	400
DUREZA TOTAL	(CaCO ₃)	300
CLORURO	(Cl)	250
SULFATOS	(SO ₄)	250
MAGNESIO	(Mg)	125
ZINC	(Zn)	15
COBRE	(Cu)	3
FLUORURO	(F)	1.50
FIERRO (Fe) Y MANGANESO	(Mn)	0.30
ARSENICO	(As)	0.05
SELENIO	(Se)	0.05
CROMO	(Cr)	0.05
COMPUESTOS FENOLICOS		
FENOL	(FENOL)	0.001

CUADRO 7. (SARN, 1976).

CARACTERISTICAS BIOLÓGICAS DEL AGUA POTABLE

CARACTERISTICAS BIOLÓGICAS	No. MAXIMO PERMISIBLE
ORGANISMOS DE LOS GRUPOS COLI Y COLIFORMES	20
COLONIAS BACTERIANAS POR CENTIMETRO CUBICO DE MUESTRA	200

CUADRO 8. (SARN, 1976).

Aguas residuales.

La calidad de las aguas puede ser alterada como consecuencia de las actividades humanas o naturales que produzcan efectos adversos que cambien su valor para el hombre (Verry, 1988). Entonces, cualquier alteración de la calidad física, química o biológica del agua, que provoque un efecto inaceptable para su utilidad o valor ambiental, es una contaminación del agua, y un contaminante es el factor o sustancia que provoca esa alteración. (Galván, 1983).

El hombre le da al agua una gran diversidad de usos, lo cual ha provocado que se tenga una alta cantidad de descargas de aguas que llevan diferentes tipos de contaminantes.

Wolfgang (1976), define al agua residual como el líquido de composición variada proveniente de usos urbanos, municipales, industriales, comerciales, agrícolas, pecuarios, silvícola o de cualquier otra índole, ya sea pública o privada, que por tal motivo haya sufrido degradación en su calidad real.

LAS AGUAS RESIDUALES SE CLASIFICAN EN 5 TIPOS:

- A) Domésticas
- B) Municipales
- C) Industriales
- D) Retorno agrícola
- E) Pluviales

A) Domésticas.

Las aguas domésticas son las provenientes de las viviendas; contienen excrementos humanos, basura, papeles, productos de limpieza, jabones, detergentes, grasas y aceites; físicamente presentan un color gris y diversidad de materia orgánica e inorgánica flotante; químicamente poseen los compuestos de nitrógeno de los excrementos humanos y del fósforo de los detergentes; biológicamente contienen gran cantidad de microorganismos como: coliformes fecales, estreptococos fecales, huevecillos de nemátodos como son Entamoeba histolytica, Taenia spp., Ascaris lumbricoides, etc., algunos de los cuales pueden provocar diversas enfermedades.

B) Municipales.

Las llamadas aguas municipales están compuestas por aguas residuales domésticas y aguas residuales industriales; por lo que su tratamiento y depuración es más complicada que los otros tipos de aguas, debido a que generalmente el tratamiento de dichos tipos de aguas es distinto y en ocasiones pueden antagonizar. (Hurtado, 1989).

E) Industrial.

En las aguas industriales el contenido de contaminantes depende de los tipos de industria y del proceso usado, es común que contengan alto contenido de materia orgánica, de medio a alto contenido de sales, sustancias tóxicas (metales pesados,

detergentes), condiciones extremas de pH, color y altas temperaturas.

Esto limita el aprovechamiento de estas aguas residuales a cultivos tolerantes previo tratamiento para ajustarlos de 4 a 8 micromhos/cm en su conductividad eléctrica, libre de tóxicos o sujeto a los máximos permisibles, etc. (Wolfgang, 1976).

Las principales industrias que aportan mayor cantidad de agua de este tipo son: la industria del aluminio, automotriz, azucarera, vitivinícola, conservas y enlatados, lácteos, fertilizantes, vidrio, cemento y concreto, asbestos, química, curtidería, metales, petróleo, plásticos y papel, termoeléctrica y textil. (Hurtado, 1989).

D) Retorno agrícola.

Las aguas residuales agrícolas son el resultado del sobrante de las aguas de irrigación llegada a los ríos o aguas subterráneas conteniendo sales, abonos, pesticidas y residuos de sustancias químicas, también por la limpieza de áreas ganaderas, que pueden aportar al agua grandes cantidades de estiércol y orines. (Vázquez, 1982).

E) Pluviales.

Al llover el agua arrastra la suciedad que se encuentra a su paso, tales como excrementos fecales, basura y sustancias que se encuentren sobre la superficie del suelo. Estas aguas pluviales son en general, más turbias que las que derivan del consumo doméstico. (Vázquez, 1982).



CARACTERISTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES

Para diseñar un sistema de tratamiento de aguas residuales, es necesario calificar dicha agua, tal caracterización debe incluir parámetros significativos de la naturaleza orgánica del desecho, así como el de algunos constituyentes inorgánicos. (Morones y Moreno, 1983).

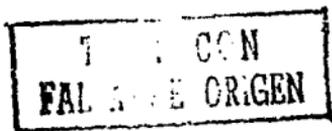
La caracterización de un agua residual, además del diseño de sistemas de tratamiento, se hace con el objeto de:

- Evaluar la calidad de esas aguas o su grado de contaminación.
- Determinar su origen (doméstico, comercial, agrícola o industrial).
- Proporcionar la información de la concentración, carácter y condición de las aguas residuales que se van a tratar o disponer para el uso agrícola.
- Medir y explicar el comportamiento de los diversos procesos de tratamiento.

Características físicas.

Las determinaciones hechas en un análisis físico, comprenden:

Temperatura. - utilizada para conocer el grado relativo de calentamiento o enfriamiento de un cuerpo; es un índice de la procedencia de las aguas residuales. La temperatura normal de las aguas municipales es ligeramente mayor que la del agua de abastecimiento, a causa del calor agregado durante su utilización (Moreno y Morones, 1983).



Esta temperatura, según Hurtado y Sánchez (1989), oscila entre 10° y 20°C favoreciendo el desarrollo de la fauna bacteriana y flora autoctonas del suelo.

Sin embargo, la temperatura debe considerarse en el diseño y operación de los procesos biológicos (Linsley y Franzini, 1979), ya que provoca cambios en el número de microorganismos. (Wanielista, 1979 y Peralta, 1986).

Las temperaturas superiores a las normales indican residuos industriales calientes y cuando son descargadas a un cuerpo receptor, pueden dañar la flora y la fauna. Las temperaturas inferiores a las normales, indican la incorporación de agua subterránea o superficial. (Morones y Moreno, 1983).

El límite máximo permisible según la Norma Oficial Mexicana, (1987), no debe rebasar más de 2.5°C a partir de las condiciones naturales del ambiente.

Solis (1988), las descargas de aguas a temperaturas elevadas tiene consecuencias enormes, no solo en algunas especies sino en el ecosistema completo. La proliferación de las algas unicelulares en la aguas calentadas pueden ocasionar la formación de sustancias tóxicas para los vertebrados y una disminución en el contenido de oxígeno. Lo anterior es ocasionado por industrias de celulosa y papel, ingenios azúcareros, termoeléctricas, industrias químicas y fundidoras.

Color.- Es una característica que depende de la impresión producida en el ojo por las luces de distinta longitud de onda. Es determinada por comparación visual con soluciones coloridas

Las aguas residuales municipales recientes (sépticas) se tornan de color negro; otras coloraciones indican la presencia de residuos líquidos industriales. (Morones y Moreno, 1983).

Normalmente el color es indicador de la concentración y composición de las aguas y varía del gris al negro por los procesos de descomposición. (Hurtado y Sánchez, 1989).

Olor.- Es una característica de las aguas residuales, que ayuda a conocer el grado de septización de éstas. Las aguas residuales municipales recientes son prácticamente inodoras, en cambio algunos desechos industriales dan olores característicos; la principal fuente de los malos olores son los gases producto de la descomposición de la materia orgánica; en las aguas carentes de oxígeno, el olor característico es producido por la presencia del sulfuro de hidrógeno. (Morones y Moreno, 1983).

Hurtado y Sánchez (1989), mencionan que el olor es causado por la descomposición de la materia orgánica y que el responsable principalmente es el ácido sulfhídrico, xindol, mercaptanos y otras sustancias.

Turbiedad.- Es la dispersión o absorción que sufre la luz por la presencia de partículas suspendidas en un líquido; su determinación puede ser por: el Disco de Secchi, el método Hefelométrico o por el Turbidímetro de Jackson. (Morones y Moreno, 1983).

Tanto las aguas residuales municipales como las industriales, normalmente son turbias. Hurtado y Sánchez (1989), indican que la turbiedad es proporcional a la cantidad de materia suspendida, por lo que a mayor turbidez, mayor contenido de partículas en suspensión.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Conductividad.- La conductividad eléctrica, es una expresión numérica que representa la habilidad de una solución para conducir la corriente eléctrica. Con la conductividad se comprueba la pureza o contaminación del agua. (Morones y Moreno, 1983).

La mayoría de los ácidos, bases y sales son mejores conductores de corriente eléctrica que las moléculas de compuestos orgánicos, de aquí que los residuos industriales tengan mayor conductividad que las aguas de desecho municipal o agrícolas. (Morones y Moreno, 1983).

Para los límites máximos permisibles de las características físicas consultar los Cuadros 9 y 10.

Características químicas.

Estas características proporcionan datos útiles y específicos con respecto al estado de descomposición y fuerza de las aguas residuales. Al hacer un análisis químico, solo se determinan aquellos compuestos químicos, radicales, elementos, etc., que puedan inducir características sanitarias significativas como los siguientes:

Sólidos.- es la materia que permanece como residuo después de evaporar una muestra de agua y secarla a una temperatura definida. (Morones y Moreno, 1983).

Según Linsley y Franzini (1979), los sólidos totales, volátiles, suspendidos totales, disueltos totales y agregados totales, deben ser determinantes para evaluar el uso potencial de una descarga de agua y se requiere definir el tipo más deseable de operación y procesos en tratamientos de aguas.

**LIMITES MAXIMOS PERMITIDOS DE SUSTANCIAS PRESENTES
EN LOS CUERPOS RECEPTORES SEGUN LA EPA.**

CONTAMINANTES	UNIDADES	U S D S				
		PUBLICO	RECREATIVO	IRRIGACION	INDUSTRIA	RESERVA SUBTERRANEA
FISICOS Y QUIMICOS						
TURBEDAD	NTU	0.100	25.0000	-----	-----	-----
COLOR	CU	0.000	-----	-----	1200.00	-----
OLOR (A 25° C)	PH	0.000	-----	-----	-----	-----
		7 - 8.500	6.5 - 8.5	-----	3.5 - 9.1	6.5 - 8.5
FORMA BIOQUIMICA	mg/l	2.000	-----	100.000	-----	-----
CONDUCTIVIDAD	mg/l	250.000	-----	-----	500.00	-----
CLORURO	mg/l	-----	-----	1.000	500.00	-----
SODIO	mg/l	-----	-----	-----	-----	0.1
CALCIO	mg/l	-----	-----	0.750	-----	2.0000
MAGNESIO	mg/l	-----	-----	0.005	500.00	0.0000
AMONIO (HEXAVALENTE)	mg/l	2.000	-----	-----	-----	500.0000
NITRATO	mg/l	-----	1.0000	5.000	-----	0.1000
NITRITO	mg/l	-----	0.0000	-----	-----	0.1000
CALCIO DISUELTO	mg/l	-----	-----	-----	TR 2.00	-----
SALES COMO CaCO ₃	mg/l	00.0000	-----	-----	0.50.00	3.0000
CLORURO	mg/l	10.0000	-----	-----	100.00	-----
SODIO	mg/l	-----	-----	-----	00.00	0.1000
CALCIO	mg/l	-----	-----	-----	-----	0.1000
MAGNESIO	mg/l	-----	-----	-----	-----	0.1000
AMONIO Y NITRITO	mg/l	-----	-----	2.000	50.00	20.0000
NITRATO	mg/l	-----	-----	-----	4.00	-----
NITRITO	mg/l	-----	-----	-----	-----	0.1000
AMONIO	mg/l	-----	-----	-----	-----	0.1000
NITRITO	mg/l	-----	-----	-----	-----	0.1000
NITRATO	mg/l	20.0000	-----	-----	600.00	1000.0000
NITRITO	mg/l	-----	9.0000	-----	-----	-----
AMONIO	mg/l	-----	-----	-----	-----	0.1000
GRASAS Y ACEITES	mg/l	0.000	-----	-----	-----	0.0000

CUADRO 9. (E.P.A., 1987)

**LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES DE SUSTANCIAS PRESENTES
EN LOS CUERPOS RECEPTORES SEGUN SU UTILIZACION**

CONTAMINANTES	UNIDADES	DA	DI	DII	DIII
SUSTANCIAS TOXICAS					
ARSENICO	ng/l	0.050	0.050	1.00	5.000
BARIO	ng/l	1.000	1.000	5.00	-----
BORO	ng/l	1.000	1.000	-----	2.000
CADMIO	ng/l	0.100	0.100	0.00	0.005
COBRE	ng/l	1.000	1.000	0.01	1.000
CROMO HEXVALENTE	ng/l	0.050	0.050	0.10	5.000
CROMO	ng/l	0.050	0.050	0.10	5.000
SELENIO	ng/l	0.010	0.010	0.05	0.050
CIANURO	ng/l	0.200	0.200	0.02	-----
FENOLES	ng/l	0.001	0.001	1.00	-----
SUSTANCIAS ACTIVAS AL AZUL					
DE METILENO (DETERGENTES)	ng/l	0.300	0.300	3.00	-----
<p>DA AGUA PARA ABASTECIMIENTO DE SISTEMAS POTABLES.</p> <p>DI AGUA POTABLE CON TRATAMIENTO CONVENCIONAL (FILTRACION Y DESINFECCION) O INDUSTRIAL.</p> <p>DII AGUA ADECUADA PARA USO RECREATIVO, FLORA Y FAUNA, USOS INDUSTRIALES.</p> <p>DIII AGUA PARA USO AGRICOLA E INDUSTRIAL.</p> <p>CM CONDICIONES NATURALES.</p>					

CUADRO 10. (E.P.A., 1987).

Los sólidos totales, pueden encontrarse en suspensión o disueltos en el mismo líquido; ambos casos pueden contener materia volátil y materia fija; generalmente se considera a la materia volátil como materia orgánica, y a la fija como mineral o inorgánica, (Moreno y Morone, 1983). Para su análisis los sólidos totales son divididos según el esquema siguiente:

$$\begin{array}{rcl}
 \text{SÓLIDOS TOTALES} & = & \text{SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES} + \text{SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES} \\
 \uparrow & & \uparrow \\
 \text{SÓLIDOS VOLÁTILES} & = & \text{SÓLIDOS SUSPENDIDOS VOLÁTILES} + \text{SÓLIDOS DISUELTOS VOLÁTILES} \\
 \text{TOTALES} & & \\
 + & & + \\
 \text{SÓLIDOS FIJOS} & = & \text{SÓLIDOS SUSPENDIDOS FIJOS} + \text{SÓLIDOS DISUELTOS FIJOS} \\
 \text{TOTALES} & &
 \end{array}$$

(*) TOMADO DE MORONES Y MORENO (1983).

Los sólidos totales, son la cantidad de sólidos suspendidos y disueltos; se reconocen por ser aquellos que quedan después de evaporar una muestra de agua, hasta secarla completamente a (104°C), se expresa en mg/l. (Morones y Moreno, 1983).

Los sólidos suspendidos totales según Lima (1988), son susceptibles a simple vista en el agua; pueden separarse del agua residual por medios físicos o mecánicos, como es la sedimentación y la filtración, incluyendo las partículas flotantes mayores que consisten en arena, polvo, arcilla, sólidos fecales, papel, astillas de madera y basura.

Clark y col. (1972), señalan que los sólidos suspendidos en el agua de riego obstruyen los poros del suelo y cubren la superficie de la tierra, lo que limita la capacidad de la infiltración.

VALORES MAXIMOS TOLERABLES PARA DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES	
CARACTERISTICAS	VALORES
I. SOLIDOS SEDIMENTABLES	1.0 ml/l
II. GRASAS Y ACEITES	70.0 ml/l
III. MATERIA FLOTANTE	NINGUNA PUEDE SER RETENIDA POR MALLA DE 3 mm DE CLARO LIBRES CUADRADO.
IV. TEMPERATURA	35°C
V. POTENCIAL HIDROGENO (pH).	4.5 - 10.0

CUADRO 11. (SERUE, S/F).

Morones y Moreno (1983), indican que los sólidos suspendidos totales quedan detenidos al filtrar una muestra a través de una membrana de fibra de vidrio, posteriormente se obtienen el peso seco a 105°C del material retenido en el filtro y se reporta en

seco a 105°C del material retenido en el filtro y se reporta en mg/l.

Los retenidos en la filtración, se obtienen por diferencia de valores de sólidos totales y sólidos suspendidos totales, por lo tanto también se expresan en mg/l.

Los sólidos volátiles se determinan al calentar los sólidos totales, suspendidos o disueltos a una temperatura de 550°C; los sólidos fijos se determinan por diferencia entre los sólidos totales y volátiles.

Cuando se habla de sólidos suspendidos debemos hacer una diferencia entre los sólidos que se sedimentan y los que no lo hacen, la suma de éstos dos corresponden al total de sólidos suspendidos.

Los sólidos sedimentables, según Solis (1988), son la porción de los sólidos suspendidos, cuyo tamaño y peso es suficiente para que se sedimenten en un período determinado, la cantidad se expresa generalmente en milímetros por litro; para su determinación se usan los tubos o conos Imhoff (Morones y Moreno, 1983).

Para conocer las concentraciones típicas de sólidos en aguas residuales consultar los cuadros 11, 12, 13 y 14.

**COMPOSICION TIPICA DE AGUA RESIDUAL
DOMESTICA NO TRATADA**

CONSTITUYENTES	CONCENTRACION		
	ELEVADA	MEDIA	BAJA
SOLIDOS TOTALES	1200	720	350
DISUELTOS TOTALES	850	500	250
NO VOLATILES (FIRMES)	525	300	145
VOLATILES	325	200	105
TOTALES EN SUSPENSION	350	220	100
NO VOLATILES (FIRMES)	75	56	20
VOLATILES	275	165	80
SOLIDOS SEDIMENTABLES	20	10	5
DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO	400	220	110
CARBONO ORGANICO TOTAL	290	160	80

CUADRO 12. (METCALF Y EDDY, 1979).

**CARACTERISTICAS DE AGUAS RESIDUALES
EN FLUJOS SUPERFICIALES COMBINADOS**

CARACTERISTICAS	PROMEDIO (mg/l)	RANGO (mg/l)
SOLIDOS TOTALES	700	150 - 2,300
VOLATILES ^{1/}	270	20 - 820
SUSPENDIDOS	410	17 - 1,690
VOLATILES SUSPENDIDOS ^{1/}	190	4 - 675
AGREGABLES ^{1/}	340	2 - 1,550
DBO-e (5 DIAS)	170	40 - 513
DBO-e (PRIMER ESTADO)	240	-
DBO-N ^{1/}	290	277 - 307
NITROGENO ORGANICO - N	5.9	0.00 - 2.5
AMONIO ORGANICO - N	2.0	0.0 - 11.5
NITRITO + NITRATO - N	0.05	0.0 - 0.6
FOSFATOS TOTALES ^{2/}	9.0	1.0 - 25.0
ORTOFOSFATOS ^{1/} PO ₄	2.7	0.4 - 6.2
FENOLES ^{2/}	0.027	0.011- 0.125
CLORURO ^{1/}	23	7 - 103

1) SOLO PARA EL AREA DE FILADELFIA

2) SOLO PARA EL AREA DE DETROIT

CUADRO 13. (THORNM, 1983).

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS ORGÁNICAS O DEGRADABLES

Los compuestos orgánicos están formados generalmente por una combinación de carbono, hidrógeno y oxígeno, junto con nitrógeno en algunos casos; los principales grupos de sustancias orgánicas hallados en el agua residual son: proteínas, carbohidratos, grasas y aceites, así como la urea, principal constituyente de la orina, por otro lado; junto con éstas, el agua residual contiene pequeñas cantidades de un gran número de diferentes moléculas orgánicas sintéticas, tales como son los fenoles, detergentes y pesticidas usados en la agricultura; la presencia de estas sustancias ha complicado en los últimos años su tratamiento, ya que muchos de ellos no pueden descomponerse y persisten durante años o bien lo hacen muy lentamente.

Los pesticidas y detergentes están considerados con mayor interés en U.S.A; la producción de las sustancias químicas se han multiplicado por casi 14 veces, desde la terminación de la 2a. guerra mundial; esto se puede observar en la tabla siguiente:

PRODUCCION DE COMPUESTOS ORGANICOS SINTETICOS

ANO	PRODUCCION (MILLONES DE Kg)
1943	4.5
1953	11.0
1963	27.0
1967	46.0
1968	51.0
1969	57.0
1970	62.0

(Casanelles, 1987).

**CARACTERISTICAS DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES
ANTES DE SER TRATADAS**

CARACTERISTICAS	UNIDAD	PROMEDIO APROXIMADO	RANGO NORMAL
FLUJO PROMEDIO DIARIO	gal/cap/día	125	100 - 200
SOLIDOS TOTALES	ng/l	900	450 - 1200
VOLATILES TOTALES	ng/l	400	250 - 600
DISUELTOS TOTALES	ng/l	500	300 - 800
TOTALES EN SUSPENSION	ng/l	300	100 - 400
VOLATILES EN SUSPENSION	ng/l	120	80 - 200
AGREGADOS	ng/l	150	
DBO-C ^{1/} (5 DIAS)	ng/l	100	100 - 450
DBO-C (FINAL)	ng/l	220	120 - 500
DBO-N ^{2/}	ng/l	220	-
NITROGENO TOTAL	ng/l N	50	15 - 100
NITROGENO ORGANICO	ng/l N	20	5 - 35
NITROGENO AMONIO	ng/l N	20	10 - 60
NITROGENO + NITRATO	ng/l N	2	0 - 6
FOSFATO TOTAL	ng/l PO ₄	20	10 - 50
ORTOFOSFATO	ng/l PO ₄	20	10 - 50
POLIFOSFATOS	ng/l PO ₄	10	5 - 25
COLIFORMES TOTALES	MILLON/100 ml	30	2 - 50
COLIFORMES FECALES	MILLON/100ml	4	0.3 - 17

CUADRO 14. (TOWNHAM, 1983).

Proteínas.- Son el principal constituyente de las sustancias alimenticias animales, en menor cantidad de plantas vegetales, frutas acuosas y ciertos granos de leguminosas (aríjol, soya, etc.); en las aguas de desecho hay de un 40 a un 60% de ellas. (Morones y Moreno, 1983).

Los elementos comunes a todas las proteínas son carbono, hidrógeno y oxígeno; además contiene una alta proporción de nitrógeno (+/- 16%) y en algunos casos azufre, hierro y fósforo. La urea de las proteínas son las principales fuentes de nitrógeno, que en grandes cantidades producen olores fétidos en su composición.

Carbohidratos.- En aguas residuales municipales se encuentran de un 25 a un 50%, están ampliamente distribuidos en la naturaleza, así como en las aguas de desecho. Los carbohidratos incluyen a los azúcares, almidones, celulosa y fibra de madera, son compuestos formados de carbono, hidrógeno y oxígeno.

Grasas y aceites.- Son compuestos muy estables y difíciles de degradar biológicamente; son ésteres de alcoholes o gliceroles con ácidos grasos, también están formados de carbono, hidrógeno y oxígeno en diversas proporciones.

Las grasas y aceites de los desechos domésticos provienen de la manteca, mantequilla, margarina y aceites vegetales. La grasa es uno de los compuestos orgánicos más estables y difícil de biodegradar. El queroseno y aceites lubricantes, se encuentran en las aguas residuales en cantidades considerables provenientes de las industrias, talleres, estacionamientos y calles.

Estas sustancias son también solubles en hexano por lo que se incluyen en la determinación de grasas y aceites. Gran parte de las partículas de grasas y aceites que se encuentran en las aguas de desecho, flotan formando una capa que tiende a cubrir la superficie e interfiere con la acción biológica, causando además problemas de mantenimiento. (Morones y Moreno, 1983).

En los cuadros 11 y 15, se encuentran las concentraciones típicas de grasas y aceites de aguas residuales municipales.

DETERGENTES

Los detergentes están constituidos en un 25% de surfactantes o también llamadas sustancias activas de azul de metileno; provienen de usos domésticos, comerciales e industriales. Los surfactantes causan la formación de la espuma en la superficie del agua donde el desecho es vertido. Su capacidad para formar espuma, y su acumulación en la interfase aire-agua, impide que el Oxígeno del aire sea transferido al agua teniendo que provocar condiciones anaerobias. Al formar gruesas capas de espuma muy estable, son arrastradas por el viento, llevándose los microorganismos patógenos constituyendo un peligro para la salud pública. (Morones y Moreno, 1983).

Definición.

La palabra detergente viene del Latín "Detergera" que significa limpieza. En general, cualquier sustancia que limpia sin provocar abrasión ni corrosión se denomina detergente. (Biancarte, 1981).

Los detergentes caen en dos categorías principales:

1) Detergentes jabonosos.

Estos incluyen jabones de uso casero, de baño, jabón en polvo y escamas, jabones duros especiales y en polvo. Para uso de la industria, básicamente se elaboran a partir de lípidos animales, grasas o aceites vegetales y aceites con un álcali (usualmente sosa cáustica).

DETERGENTES

Los detergentes están constituidos en un 25% de surfactantes o también llamadas sustancias activas de azul de metileno; provienen de usos domésticos, comerciales e industriales. Los surfactantes causan la formación de la espuma en la superficie del agua donde el desecho es vertido. Su capacidad para formar espuma, y su acumulación en la interfase aire-agua, impide que el Oxígeno del aire sea transferido al agua teniendo que provocar condiciones anaerobias. Al formar gruesas capas de espuma muy estable, son arrastradas por el viento, llevándose los microorganismos patógenos constituyendo un peligro para la salud pública. (Morones y Moreno, 1983).

Definición.

La palabra detergente viene del Latín "detergere" que significa limpieza. En general, cualquier sustancia que limpia sin provocar abrasión ni corrosión se denomina detergente. (Biancarte, 1981).

Los detergentes caen en dos categorías principales:

1) Detergentes jabonosos.

Estos incluyen jabones de uso casero, de baño, jabón en polvo y escamas, jabones duros especiales y en polvo. Para uso de la industria, básicamente se elaboran a partir de lípidos animales, grasas o aceites vegetales y aceites con un álcali (usualmente sosa cáustica).

2) Detergentes no jabonosos o sintéticos.

Es la categoría más importante y comprende: líquidos para ropa, trastes y otros artículos domésticos; su función es similar a la de los detergentes jabonosos, pero sus ingredientes y su fabricación son completamente diferentes. (Gallegos, 1985).

Detergentes biológicos: su fórmula comprende la mezcla de detergentes sintéticos común y una enzima proteolítica, producto de la bacteria Bacillus subtilis, que en condiciones favorables de temperatura y humedad desintegra las grasas y proteínas, a la cual se debe su eficiencia. (Martínez, 1971).

Origen y desarrollo de los detergentes.

Desde la época de los egipcios y por miles de años, el jabón fué uno de los primeros limpiadores que usó el hombre, sin embargo, hacia el año de 1910 el incremento de la población en Europa y América y el surgimiento de la industria de la margarina, elevó la demanda de grasas y aceites de origen vegetal, que son la materia prima para la elaboración de jabón.

Poco antes de la segunda guerra mundial apareció el primer detergente en polvo denominado "DREFT", modificación al descubrimiento de Edmond Fremy, en 1934. (I.N.C. 1982) y fué introducido en los Estados Unidos por "Procter & Gamble"; el desarrollo de los Alquil - Aril - sulfanatos; el primer producto de este tipo fue el Sulfanato de Alquil Tolueno, pero como producía detergentes muy hidrocópicos se sustituyó por los Sulfanatos de Alquil - benceno (ABS) basados en el tetrapropileno. En forma paralela se dispuso de los polifosfatos como formadores, los cuales mejoran las características de los detergentes en polvo fino. (Swinsher, 1970).



En pocos años el cambio fué esencialmente completo, con la única excepción de los jabones en barra. El ABS se transforma rápidamente en el surfactante de mayor uso, primero en los Estados Unidos y después alrededor del mundo, donde el avance de la tecnología química lo hizo posible. (Flores, 1984).

En los primeros años de la década de los 60's un problema empezó a hacerse evidente. Los surfactantes sintéticos, comenzaban a ser conspicuos en las aguas de desecho, en las aguas residuales tratadas y los cuerpos receptores, retenían sus propiedades espumosas aún en concentraciones de 1 ppm. (Jones, 1972).

Este problema procedía principalmente del surfactante ABS derivado a partir del Tetrapropileno que contiene componentes resistentes al ataque microbiano. Por esta causa se buscó un sustituto; en 1956, se encontró la fórmula de producir una molécula biodegradable cuyos residuos eran inofensivos y no formaban espuma; el LAS (Alquilbenceno - Sulfonato lineal) que adicionalmente tenía propiedades económicas de los surfactantes sintéticos. Los fabricantes de Norteamérica y Europa Occidental, suprimieron en forma voluntaria su uso y algunas legislaciones contribuyeron al cambio tecnológico hacia el nuevo material, la transición fué casi completa hacia 1965. (Layman, 1984).

En México, después de más de dos décadas en que se sustituyeron los detergentes sintético de tipo Alquil - benceno - Sulfatos (ABS), por los Lineal-Alquil-Sulfatos (LAS) en los países desarrollados, México continúa haciendo uso extensivo de ellos. (Díaz, 1981, Moeller y Fernández, 1986).

El principal productor de materia prima para los detergentes, es Petróleos Mexicanos, con dos plantas productoras de Dodecibenceno (UDB) con una capacidad nominal de 44,442 tons/año.

El Dodecibenceno (UDB) se transforma a sulfonato de Alquibenceno (ABS) en plantas de iniciativa privada y el ABS se usa en más del 90% de los productores de limpieza que se elaboran en México. (Carbajal, 1970).

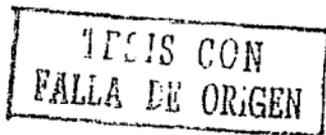
Para conocer las concentraciones típicas en aguas residuales consultar Cuadro 15. (Morones y Moreno, 1983).

Efectos de los detergentes en el medio ambiente.

Es necesario saber que agente causa el efecto, pues tanto el surfactante, como otros compuestos presentes en la formulación del detergente ocasionan deterioro ecológico. Se llaman directos a los que origina el agente tensoactivo o surfactante e indirectos a los que son consecuencia de algún compuesto diferente, pero que es parte de la formulación del producto.

En la fauna acuática.

En la evolución de la toxicidad de los detergentes sobre peces, existe mucha bibliografía, sin embargo, la mayor parte se refiere a LAS, ya que en varias ocasiones ha demostrado ser más tóxico que el ABS, respecto a la dosis letal media encontrada en varias especies. (Martínez, 1971).



**COMPOSICION DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS
TIPICAS SIN TRATAR.**

(TODOS LOS VALORES ESTAN EXPRESADOS EN mg/l, EXCEPTO SOLIDOS SEDIMENTABLES)

PARAMETROS	CONCENTRACIONES		
	FUERTE	MEDIA	DEBIL
SOLIDOS TOTALES	1 200	720	350
DISUELTOS TOTALES	850	500	250
FIJOS	525	300	145
VOLATILES	325	200	105
SUSPENDIDOS TOTALES	350	220	100
FIJOS	75	55	20
VOLATILES	275	165	80
SOLIDOS SEDIMENTABLES, ml/l.			
D ₅ , 20 °C	400	220	110
COT	290	160	80
DQO	1 000	500	250
NITROGENO (TOTAL COMO N)	85	40	20
ORGANICO	35	15	8
AMONIACO LIBRE	30	25	12
NITRITOS	0	0	0
NITRATOS	0	0	0
FOSFORO (TOTAL COMO P)	15	8	4
ORGANICO	5	3	1
INORGANICO	10	5	3
ALCALINIDAD	200	100	50
GRASAS	150	100	50

CUADRO 15. (METCALFF Y EDDY, 1979).

En bagres (Ictalurus natalis), el ABB, sea duro o blando, lesiona los quimiorreceptores en una concentración de 0.5 ppm, el 50% de los quimiorreceptores gustativos se destruyeron en 24 días, a 5 ppm en 5 días se desintegraron y a 10 ppm en un día se registraron cambios electrofisiológicos e histológicos en estas estructuras. Para una recuperación completa fueron necesarias 6 semanas. (Montané, 1973).

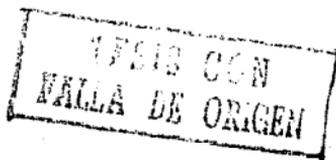
En peces de las especies: Cyprinus carpio, Lilapia melanopleura, Stenopharngodon idellus y Salmo gairdineri, en estadios juveniles, se encontraron efectos adversos a concentraciones mayores de 4 ppm en detergente con o sin enzimas, siendo estos últimos más nocivos. (Díaz, 1981).

La concentración máxima de ABB que pueden soportar los peces Stenopharngodon idellus y Chirostoma randequele, recién eclosionados es de 3.2 mg/l. (Martínez, 1971).

En concentraciones de 2.5 a 10 ppm de detergentes afectan algunas truchas y camarones. (Martínez, 1971).

En concentraciones tan pequeñas como de 1 ppm se observan daños a espermias (deformación y pérdida de movilidad), lo que provocó una disminución en la fertilidad. (Díaz, 1981).

Díaz (1981), indica que en un período de 14 horas a 0.20 mg/l de ABB es suficiente para causar alteraciones en la capacidad de reproducción del ostión.



Para interpretar los resultados de este tipo de estudios es necesario tomar en cuenta las características fisicoquímicas del agua. Las concentraciones de sales tienen una influencia marcada sobre el efecto de los detergentes en los peces y es más acentuado en los animales marinos que en los de agua dulce, aunque varía con la edad y de una especie a otra.

Su acción típica se incrementa cuando los cuerpos de agua presentan herbicidas e insecticidas y el daño en peces se debe principalmente a que altera el funcionamiento de las branquias; al abatir la tensión superficial evita la extracción del oxígeno disuelto y atrofia el epitelio de las agallas (en carpas y mojarras a concentraciones de ABS, desde 1.3 mg/l) por lo que, como consecuencia los hace más susceptibles al medio. (Murguía, 1973).

En los vertebrados.

En animales domésticos se han realizado hasta la fecha varios estudios, sin embargo, en cerdos, conejos y gallinas a los que se les suministró detergentes por vía oral en el agua de bebida a concentraciones de 40 a 200 mg/l de ABS y LAS, no se detectaron alteraciones en varios parámetros clínicos; en becerros que tomaban agua con dosis entre 20 y 70 mg/l durante 2 años en un estudio de la Facultad de Veterinaria. UNAM, registraron un desarrollo ligeramente mayor al testigo. (Stephano, 1971).

Efectos generales de los detergentes en el suelo.

En su papel de depresores de la tensión superficial no solo propician la dispersión de las partículas de los suelos, sino que hacen penetrar o infiltrar las aguas a mayor profundidad, a horizontes donde no hay cultivos que pueden aprovecharla.

En el suelo los detergentes aniónicos causan mayor susceptibilidad a la exposición subsecuente de los cultivos al Dieldrin, DDT, Aldrin y otros insecticidas, además aumentan la persistencia de los herbicidas, insecticidas y otros compuestos nocivos en el mismo. (Higgins, 1975).

Tanto los detergentes catiónicos como los aniónicos disminuyen la actividad de la bacteria nitrificante, pues altera la acción enzimática. (Swisher, 1970).

Existen evidencias de que el ABS se acumula en el suelo, por ejemplo: la relación estadística entre los contaminantes del suelo y el tiempo de aplicación de las aguas negras fué bastante alto para ABS encontrado en suelos del Distrito de Riego 03 de Hidaigo en 1974. (Mascareño, 1974).

Existe una clasificación general de los suelos de acuerdo a su capacidad de absorción para los detergentes aniónicos:

A) Con alta capacidad de adsorción (para detergentes aniónicos) son suelos con alto porcentaje de óxido de hierro libre, bajo contenido de arcilla y una baja capacidad de intercambio catiónico.

8) Con baja capacidad de adsorción (para detergentes aniónicos), son los suelos arcillosos o con porcentaje bajo de óxido de hierro libre, bajo contenido de arcilla y una mediana capacidad de intercambio catiónico. (Pink, 1970).

Tanto el hierro como el aluminio y la materia orgánica (además de otros minerales que constituyen los suelos), son los principales factores en la adsorción de los detergentes. (Khrisma, 1966).

En un lisímetro de suelo se observó que la materia orgánica incrementa en forma marcada la capacidad de adsorción de ABS del suelo, ya que la arena adsorbe solo 10 microgramos/gramo, mientras que cuando se mezcla arena y materia orgánica la capacidad adsorptiva se incrementa a 100 microgramos/gramo. La materia orgánica que se acumula en el suelo reduce la permeabilidad del mismo, lo que ocasiona un aumento en el tiempo de contacto de la partículas con el ABS. (Scientific American, 1981).

Biodegradación del ABS en el suelo.

La capa superior de un suelo junto con la arcilla son un buen medio, rico en nutrimentos para el desarrollo y mantenimiento de una variada flora edáfica, la cual puede degradar varios compuestos químicos como el ABS, siempre y cuando se mantengan las condiciones aeróbicas.

Los organismos coliformes, bacterias nitrificantes y la C.I.C. se reduce en presencia del ABS, el equilibrio se restablece cuando el ABS se degrada desde 11.5 mg/l a 0.5 mg/l, aunque a concentraciones de 1 a 10 ppm no es nociva en el movimiento de las bacterias coliformes, si modifica la capacidad de intercambio catiónico total del suelo. (Robeck y col., 1973), (Martínez, 1971).

Efectos de los detergentes en la flora.

En un trabajo realizado por Cruz (1975), respecto a la respuesta del trigo a diferentes niveles de ABS y fertilizante de N y P, se concluyó que: cuando no se aplicó fertilizante, el rendimiento en grano y paja aumenta a medida que la dosis de ABS es mayor (0.0 a 24.0 ppm).

No hay efectos residuales del ABS ni de los fertilizantes en el cultivo subsecuente de frijol, en condiciones de campo ni de invernadero.

El contenido de ABS residual en el suelo aumenta al incrementar la dosis aplicada del mismo (hasta 16 ppm), excepto cuando no se fertiliza.

En cultivos hortícolas el efecto nocivo de las aguas negras de desecho, cuando los suelos son pobres en materia orgánica y arcilla se presentan con pequeñas cantidades de ABS. (Dean, 1960).

En cultivo hidropónico el ABS inhibe el crecimiento de las plantas en un 70% a 10 mg/l y en un 100% a 40 mg/l, se acumula por orden decreciente en tallos, hojas, raíces y otras partes de las plantas. La primera concentración produce clorosis en girasol

y en cultivos en tierra sin fertilizar retarda el crecimiento. En concentraciones de 5 a 20 mg/l acelera la germinación de Lupinus albus. Además las plantas que se irrigan con aguas residuales que contienen de 4.6 a 12.7 mg/l de ABS sobrepasan en crecimiento a los testigos. (Jonguitud y col., 1976).

En cultivos de jitomate, concentraciones de ABS menores a 1000 ppm, no afectan la cosecha ni cualitativa ni cuantitativamente, a 1000 ppm se reduce en cierto grado la producción y a 5000 ppm la producción disminuye en un 50%. (Papa, 1967).

En experimentos llevados a cabo en invernadero con 7 cultivos: alfalfa, avena, cebada, frijol, jitomate, lechuga y zanahoria, se encontró que concentraciones de 10, 30, 50 y 70 ppm de ABS en el agua de riego no afectan el desarrollo de los cultivos aún por el contrario, en el caso de la lechuga se incrementó el rendimiento en un 50% a 70 ppm y la evapotranspiración en esta fué más alta a medida que la concentración de ABS se incrementaba. (Rivera, 1970).

En estudios de invernadero en frijol y lechuga, se observó toxicidad cuando la solución del suelo contenía 40 y 60 ppm de ABS respectivamente, en cambio dosis de 20 ppm estimularon el crecimiento de los cultivos, para la lechuga los rendimientos empezaron a disminuir a partir de 60 ppm. (Juárez, 1971)

Concentraciones mayores presentan un efecto antimitótico en las células de las raíces de los bulbos de cebolla y 5 ppm produce clorosis en las hojas y tallos de las plantas, consecuentemente su productividad disminuye.

Muchos investigadores apoyan que concentraciones muy bajas de ABS presentan un efecto benéfico en ciertos cultivos como : el maíz, frijol, chicharo, cebada, pero aún no se sabe cuál es el umbral máximo permisible en este tipo de cultivos, ni puede hacerse una generalización hacia otras especies, ya que dependen en gran magnitud de las características físico- químicas y composición de los suelos, así como del potencial genético de la especie y de otros factores ambientales, la toxicidad se incrementa con la dureza de las aguas. (Martínez, 1971).

Tres variedades vegetales : trébol blanco (Trifolium repens), pasto italiano (Lolium italicum) y zacate (Festuca pratensis), con período de estudio de 0 a 60 días en concentraciones de ABS de 250 a 200 ppm, muestran un efecto altamente nocivo en el desarrollo de la plántula y principalmente con la influencia negativa sobre la flora nitrificante del suelo. (Martínez, 1971). Concentraciones de 50 a 280 ppm de ABS retardan la germinación y el crecimiento de semilla de frijol, col, avena y maíz debido a esto en Alemania se recomienda no exceder de 40 mg de detergente por m² de cultivo de terreno en riego, ni de 15 ppm por m² de terreno como dosis anual. (Carbajal, 1970).

Según el Instituto Nacional del Consumidor (1982), los detergentes estimulan el crecimiento y la reproducción de diferentes especies vegetales, mientras que en otras producen una reducción en la actividad fotosintética. Las plantas se expusieron durante 5 días a una cantidad de ingrediente activo del detergente tipo ABS, la actividad fotosintética se redujo al 73%.

En otro experimento se expuso plantas en un medio de detergente (Zephiran) a una concentración muy baja durante 5 días e interrumpió completamente la actividad fotosintética de las partes jóvenes de las plantas. Así mismo, llevó a cabo estudios en los que las plantas de frijol y zanahoria tuvieron un menor crecimiento cuando fueron irrigadas con aguas que contenían detergente. (I.N.C., 1982).

Pesticidas.- Los pesticidas constituyen un grupo muy variado de sustancias como los insecticidas, herbicidas, plaguicidas, fungicidas, etc. con usos muy variados en la agricultura. (Morones y Moreno 1983).

Los plaguicidas son producto del desarrollo de la ciencia y la tecnología, y han tenido una función muy importante en el control de enfermedades transmisibles, como el paludismo, el dengue, el tifo, y otras más. De la misma manera, han influido en el desarrollo agrícola, ya que los insectos, las malas hierbas y otras plagas, destruyen gran parte de los cultivos. (Alpuche 1991).

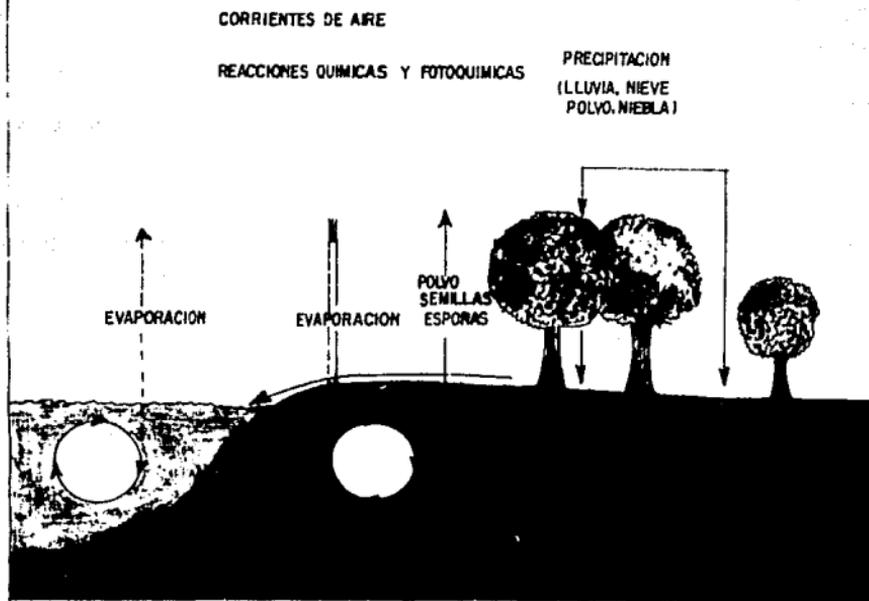
Dentro de sus propiedades más destacadas, están por ejemplo : Los organoclorados, por su alta estabilidad química. Además, son muy solubles en grasas y prácticamente insolubles en agua; esto les permite almacenarse en los tejidos ricos en grasas de los seres vivos y adherirse a las partículas suspendidas en el agua de los sedimentos del fondo de los sistemas hídricos y en la materia orgánica del suelo. (Cuadros 16 y 17), (Ewan y Stephenson, 1977).

Los plaguicidas son un caso especial de contaminantes, ya que son sustancias químicas tóxicas, que se dispersan en el ambiente en forma deliberada, con el fin de explotar sus propiedades tóxicas. Sin embargo, al trasladarse a sitios alejados del punto de aplicación o persistir después de cumplir su función se convierten en contaminantes (Alpuche, 1991). Ver Figura 3.

De este modo, los plaguicidas (por su efecto tóxico) contaminan los sistemas bióticos y abióticos convirtiéndose en una amenaza para la existencia de muchos animales y plantas (por la bioacumulación y bioconcentración en cada nicho ecológico), por lo tanto para el equilibrio de los ecosistemas.

Fenoles .- Los fenoles y otras trazas de compuestos orgánicos son constituyentes de algunas aguas residuales y causan problemas de olor en el agua potable, particularmente cuando el agua está clorada. Estos compuestos provienen principalmente de descargas industriales. Los fenoles son biodegradables en concentraciones de 500 mg/l, por ser oxidados biológicamente hasta encontrarse en pequeñas concentraciones. (Morones y Moreno, 1983).

Fig.3 Ciclo de los Pesticidas en el Ambiente.



FUENTE: ALPUCHE L., 1991.

**CONCENTRACION DE PLAGUICIDAS ORGANOCLORADOS
EN SUELOS DE CANADA Y ESTADOS UNIDOS.**

COMPUESTO	TIPO DE SUELO	CONCENTRACION (PPM)
DDT	HUERTO DE FRUTALES	116
	LEGUMBRES	42
	LEGUMBRES	124
	ALFALFA	5
	CESPED	87
	BOSQUE	21
	DESIERTO	3
	TUNDRA	0.15
	DIELDRIN	HUERTO DE FRUTALES
LEGUMBRES		1.6
MAIZ		1.2
CESPED		2.2
PASTURA		1.1
ENDRIN	HUERTOS	12.6
	LEGUMBRES	3.8
CLORDANO	LEGUMBRES	3.9
	CESPED	12
ENDOSULFAN	HUERTOS	4.6
EPOXIDO DE NEPTACLORO	LEGUMBRES	8.3
	LEGUMBRES	2.2
	TABACO	8.2
	CESPED	1.6

CUADRO 16. (ALPUCHE, 1991).

**RESIDUOS DE PLAGUICIDAS ORGANOCORADOS
EN AVES RAPACES DE ILLINOIS (1966 - 1981)**

ESPECIE	AÑO	ORGANO ANALIZADO	DDT	DIELDRIN	E.H.
<u>BUNDO RAYADO</u> (<u>Stercor varia</u>)	1966- 1979	TEJIDO ADIPOSEO	0.38	28.01	5.48
<u>GRAM BUNDO CORNUDO</u> (<u>Bubo virginianus</u>)	1974- 1981	TEJIDO ADIPOSEO	38.72	14.22	1.59
<u>BUNDO DE LAS OREJAS</u> <u>LARGAS</u> (<u>Asio otus</u>)	1977- 1978	HIGADO	28.14	0.07	0.01
<u>HALCON COLA ROJA</u> (<u>Buteo jamaicensis</u>)	1971- 1978	CEREBRO	4.10	3.23	0.001
<u>HALCON DEL PANTANO</u> (<u>Circus cyaneus</u>)	1975	CEREBRO	94.27	7.42	---

μ = CONCENTRACION EN ppm
E.H. = EPOXIDO DE HEPTANO

CUADRO 17. (ALPUCHE, 1991).

Demanda bioquímica de Oxígeno. (DBO)

La contaminación orgánica es la más importante en magnitud; los principales productos que la componen son papeles, excrementos, efluentes de mataderos y plantas empacadoras de carne; la mayoría de los compuestos implicados en éste tipo de contaminación contienen carbono como elemento principal. Una reacción que sufre con la ayuda bacteriana es la oxidación del carbono hasta CO_2 .



En ésta reacción se precisan 32 gr de oxígeno para oxidar 12 de carbono, se necesita entonces 3 veces el peso del oxígeno para que tenga lugar la reacción. La medición de la materia orgánica existente en el agua se lleva a cabo por un indicador llamado demanda bioquímica de oxígeno (DBO); en una muestra de agua la DBO indica la cantidad de oxígeno disuelto que se gasta durante la oxidación de los residuos orgánicos. La cantidad de oxígeno consumida se establece mediante la determinación química de la concentración de oxígeno disuelto (OD) en el agua, antes y después de la incubación; una DBO de 1 ppm es característica del agua casi pura, se conceptúa como no muy pura con una DBO de 3 ppm y de una pureza dudosa cuando se llega a las 5 ppm; la DBO se mide incubando una muestra de agua determinada durante 5 días a una temperatura de 20°C, el resultado se expresa en mg/l. (Brubaker, 1978).

El parámetro de contaminación orgánica más usado y aplicado a aguas superficiales y de desecho es la DBU a los 5 días (DBU_5) que comprende la medición del oxígeno disuelto empleado por los microorganismos en la oxidación bioquímica de la materia orgánica después de incubar la muestra a $20^{\circ}C$ durante 5 días.

La medición de la DBU es importante en el tratamiento de aguas de desecho y control de la calidad del agua, por determinar la cantidad aproximada de Oxígeno que se necesita para estabilizar biológicamente la materia orgánica presente. Los de la DBU se usan para medir las facilidades del tratamiento de un desecho y la eficiencia de algún proceso de tratamiento. (Morones y Moreno, 1983).

El crecimiento óptimo de las plantas requiere de una cantidad adecuada de oxígeno en el suelo para su desarrollo normal.

Cuando las condiciones del drenaje del suelo son pobres, disminuye el oxígeno disponible; si además en la irrigación de estos suelos se utilizan aguas residuales con alto requerimiento de oxígeno sea por demanda bioquímica de oxígeno o por la demanda química de oxígeno (DQO), esta situación se agrava. Aparte de los daños sobre las plantas causados por la disminución de oxígeno en el suelo, se ocasiona la reducción de elementos tales como hierro y magnesio, a formas divalentes más solubles lo que puede crear condiciones tóxicas a las plantas. (U.S.E.P.A. 1972).

Las concentraciones típicas de DBO_5 en aguas de desecho municipal se presentan en el Cuadro 15 (Morones y Moreno, 1983).

Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Esta prueba se emplea en aguas naturales y de desecho para medir el oxígeno equivalente de la materia orgánica que puede ser oxidado mediante un agente químico fuertemente oxidante como el permanganato o el dicromato, en medio ácido.

La DQO es en general más alta que la DBU debido a que más compuestos se oxidan químicamente.

Es posible correlacionar DQO con DBU para muchos tipos de desecho. Esto es muy útil debido a que la DQO se determina en 3 horas comparada con los 5 días empleados en la determinación de la DBU. (Morones y Moreno, 1983).

En el Cuadro 15 se encuentran las concentraciones típicas de DQO en aguas de desecho municipal.

Carbono Orgánico Total (COT).

Otro método para medir la cantidad de materia orgánica en el agua es la prueba del COT, aplicada especialmente a pequeñas concentraciones de materia orgánica. Ciertos compuestos orgánicos no son oxidados, por lo que el valor del COT será ligeramente menor que la cantidad real presente en la muestra. (Morones y Moreno, 1983).

Las concentraciones de COT en aguas de desecho municipal se encuentran en el Cuadro 15.

Demanda de Oxígeno Total (DOT).

En esta prueba las sustancias orgánicas y en menor proporción las inorgánicas, se transforman a productos finales estables y óxidos estables, en una cámara de combustión catalizada con platino, determinando el DOT por monitoreo de oxígeno presente o comprobación continua de la concentración de oxígeno, en una corriente de nitrógeno. Finalmente se correlacionan los resultados obtenidos con la DQO.

Demanda Teórica de Oxígeno (DTO)

Otro método para determinar el contenido de materia orgánica de los desechos de origen animal y vegetal que son generalmente una combinación de carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno, agrupados en carbohidratos, proteínas, grasas y productos de su descomposición, es mediante la demanda teórica de oxígeno. Si la fórmula química de la materia orgánica se conoce, la DTO puede calcularse (Morones y Moreno, 1983).

Oxígeno Disuelto.

El oxígeno disuelto es el constituyente químico más frecuentemente determinado para observar el efecto de la contaminación orgánica en ríos (Nemerow, 1973); refleja el nivel y sanidad del cuerpo de agua y la capacidad del río para soportar un balanceado hábitat acuático (Inonman, 1983).

La presencia de oxígeno disuelto, previene o reduce el inicio de la putrefacción y la producción de cantidades objetables de sulfuros, mercaptanos y otros compuestos de mal olor, ya que los microorganismos aeróbicos usan el oxígeno disuelto para la oxidación de la materia orgánica produciendo sustancias finales inofensivas, tales como dióxido de carbono y agua. En cambio los microorganismos anaeróbicos efectúan la oxidación utilizando el oxígeno disuelto de ciertas sales inorgánicas, obteniéndose productos malolientes. Por lo anterior, es importante mantener las condiciones favorables para el desarrollo de los microorganismos aeróbicos para evitar olores ofensivos en las fuentes naturales de agua.

Los niveles de oxígeno disuelto pueden usarse como indicadores de la contaminación excesiva por desechos. En base a la demanda de oxígeno de tales desechos, las concentraciones menores de oxígeno disuelto se asocian en general, con aguas de baja calidad, mientras que las concentraciones altas estarán asociadas con aguas de buena calidad (se consideran 4 mg/l de oxígeno disuelto (DO) como mínimo para prevenir la mala calidad). (Pacheco, 1983).

Características Químicas Inorgánicas.

Los compuestos inorgánicos de las aguas naturales y de desecho, son importantes para establecer y controlar la calidad del agua.

La concentración de sustancias inorgánicas en el agua natural se incrementan con la formación geológica con la cual el agua se pone en contacto. (Morones y Moreno, 1983).

Los parámetros más importantes y comunes para caracterizar la materia inorgánica en aguas residuales son:

Potencial Hidrógeno (pH).

El pH es una expresión introducida por Sorensen que indica las condiciones de acidez o alcalinidad presentes en una solución.

La escala práctica de pH se extiende de 0 a 14, con un punto neutro a la mitad; una solución ácida, estará localizada entre 0 y 7; mientras que una solución básica entre 7 y 14. (Morones y Moreno, 1983).

Moreno (1983), indica que la determinación de pH es una práctica muy valiosa en el campo de la ingeniería Ambiental, por ejemplo, en un sistema de abastecimiento de agua, el pH influye en los procesos de desinfección, ablandamiento y control de la corrosión. En los procesos biológicos de tratamiento de aguas residuales, debe ser mantenido dentro de un ámbito que sea favorable a los organismos.

Se estima que las muestras de agua con pH superior a 7 (alcalina) son contaminantes por desechos municipales y aquellas inferiores a 7 (ácidas) son contaminadas por desechos de origen industrial (Morones y Moreno, 1983).

Las aguas residuales para riego, con valores de pH inferiores a 4.8 sobre suelos ácidos durante largos períodos, pueden restituir iones solubles de hierro, aluminio y manganeso en concentraciones tales que pueden ser tóxicas para el crecimiento de las plantas. El agua con alto contenido de sales en suelos ácidos puede ocasionar un decremento en el valor del pH y un incremento en la solubilidad del aluminio. (U.S.E.P.A., 1972).

Aguas alcalinas que alcanzan valores de pH superiores a 8.5 pueden contener altas concentraciones de sodio y carbonatos, por ejemplo: la adsorción de los iones de sodio contenidos en el agua, ocasionan la floculación de la fracción de la arcilla, provocando una disminución de la permeabilidad del suelo por la formación de costras (sobre la superficie del suelo), que impide la germinación de la semilla y que la plántula emerja a la superficie (García, 1989).

Cloruros.

Es uno de los aniones inorgánicos que en mayor concentración se presentan en aguas naturales y de desecho, puesto que los métodos convencionales de tratamiento, no eliminan cantidades importantes de cloruros; las concentraciones de cloruros mayores que la usual, indica que un cuerpo de agua es usado para la depositación de desechos, tanto municipales, como agrícolas e industriales. (Morones y Moreno, 1983).

Las concentraciones de cloruros contenidos en aguas residuales, utilizadas en la irrigación, no son tóxicas para los cultivos; aunque existen algunos cítricos muy sensibles a los cloruros. (U.S.E.P.A., 1972).

Algunos de los posibles efectos se traducen en que los cloruros no permiten que la planta ingiera agua (efecto osmótico), agravando ese fenómeno por la evaporación y las tasas de evapotranspiración que le tengan en riegos sucesivos. (García, 1989).

Para conocer las concentraciones típicas de cloruros, ver Cuadro 13.

Alcalinidad.

La alcalinidad de las aguas se debe a la presencia de hidroxilos, carbonatos y bicarbonatos solubles en el agua; en las descargas domésticas, generalmente la alcalinidad es mayor que la de las aguas abastecidas; valores muy altos de alcalinidad implican descargas industriales; normalmente este parámetro se expresa como carbonato de calcio. (Morones y Moreno, 1983).

Altas concentraciones de bicarbonatos en las aguas residuales utilizadas para el riego pueden ocasionar clorosis en las plantas. Las concentraciones de bicarbonatos en el agua entre 60 y 120 mg/l. pueden ocasionar clorosis en algunas plantas. (García, 1989).

Para conocer la concentración de alcalinidad en aguas residuales, consultar el Cuadro 15.

Nitrógeno.

El nitrógeno es esencial para la síntesis de proteínas; su presencia en ciertas cantidades, es importante en el tratamiento de desechos municipales o industriales por procesos biológicos.

Las bacterias descomponen al nitrógeno presente en las aguas residuales formando amoníaco. La presencia del amoníaco indica el envejecimiento de las aguas de desecho municipal. En un medio aeróbico, las bacterias oxidan al nitrógeno amoniacal a nitritos y nitratos. La predominancia de nitrógeno en forma de nitratos en las aguas residuales, indican que el desecho se estabilizó, con respecto de la demanda de oxígeno. (Morones y Moreno, 1983).

La presencia de nitratos en el agua utilizada para riego de cultivos puede considerarse como un elemento aprovechable. En muy raras ocasiones, el agua para irrigación llega a contener altas concentraciones de nitratos que pueden dañar a los cultivos. (U.S.E.P.A., 1972).

Según García (1989), en las regiones áridas, las altas concentraciones de nitratos en el agua pueden ocasionar la acumulación de nitratos en el suelo (de manera similar a como se acumulan las sales en el suelo), las cuales se mueven fácilmente a través del suelo, con agua que se infiltra, contaminando a los cuerpos de aguas subterráneas.

En algunas ocasiones, se pueden presentar problemas cuando las aguas residuales, utilizadas para la irrigación contienen nitrógeno en cantidades superiores que los requeridos por los cultivos. Sin embargo, el nitrógeno en estas aguas, se presenta en una forma tal que es convertido lentamente en nitrato. Para conocer las concentraciones típicas de nitrógeno en Aguas Residuales vease Cuadros 13, 14 y 15.

Fósforo.

El fósforo es esencial para el crecimiento de la flora y fauna acuática; considerados como nutrientes y bioestimulantes.

Los fosfatos provienen de la actividad doméstica del hombre, de detergentes y de productos a base de hexametafosfatos de sodio usados en las redes de agua potable, pozos de abastecimiento, torres y sistemas de enfriamiento. El fósforo en aguas de desecno doméstico se encuentra en tres formas: (1) ión ortofosfato, (2) polifosfatos o fosfatos condensados y (3) compuestos organofosforados, lo cual es debido a que están implicados en algunos procesos biológicos, como descomposición de materia orgánica y conversión casi total a ortofosfatos, de los polifosfatos del agua (Gómez y Salinas, 1973). La forma oxidada de los fosfatos se toma como grado de contaminación cuando estos son usados como medidas de los nutrientes contenidos en aguas residuales y como grado de descomposición existente en las descargas de aguas. (Linsley y Franzini, 1979).

Garcla (1989), menciona que en la mayoría de los suelos agrícolas, la aplicación de fósforo favorece el crecimiento de los cultivos; sin embargo, cuando el fósforo en forma de fosfatos, se presenta en el suelo en altas concentraciones, ocasiona una disminución en la productividad por efectos adversos sobre la disponibilidad de micronutrientes, tales como el hierro y el zinc.

Para conocer las concentraciones de fósforo en aguas residuales consultar Cuadros 13, 14 y 15.

Azufre.

El azufre se emplea en la síntesis de proteínas y se elimina en su degradación: se encuentra en forma de sulfatos como componente natural de las fuentes de suministro de agua y de las aguas de desecho. Los sulfatos son reducidos por las bacterias a sulfuro y sulfuro de hidrógeno, bajo condiciones anaerobias. El sulfuro de hidrógeno es oxidado biológicamente a ácido sulfúrico ocasionando corrosión en los sistemas de alcantarillado. La determinación de sulfuros puede indicar el grado de septización de aguas residuales. (Morones y Moreno, 1983).

Gases.

Los gases encontrados comúnmente en todas las aguas residuales son el nitrógeno, oxígeno, dióxido de carbono, sulfuro de hidrógeno, amoníaco y metano. Los tres primeros son gases comunes de la atmósfera y se encuentran en todas las aguas expuestas al aire, los últimos tres se originan en la descomposición de la materia orgánica presente en aguas de desecho.

El oxígeno se encuentra disuelto en el agua y es necesario para la respiración de los seres acuáticos y aerobios. La ausencia de oxígeno disuelto en las aguas de desecho provoca la formación de medios anaerobios y olores desagradables.

El sulfuro de hidrógeno se origina de la descomposición de la materia orgánica que contiene azufre o de la reducción de sulfatos y sulfitos minerales en ausencia de oxígeno. El ennegrecimiento de las aguas de desecho se debe a la presencia de sulfuro de hidrógeno que se combina con el hierro presente formando el sulfuro ferroso.

Otros compuestos volátiles como el indol y mercaptanos se forman también durante la descomposición anaerobia produciendo olores más desagradables que el sulfuro de hidrógeno. (Morones y Moreno, 1983).

Metales Pesados.

Pequeñas cantidades de metales pesados como el níquel, manganeso, plomo, cromo, zinc, cadmio, cobre, hierro, aluminio y mercurio, son constituyentes importantes de muchas aguas. Algunos de estos metales son necesarios para el crecimiento de la vida acuática; su ausencia limita los crecimientos algales, y su exceso es perjudicial por adquirir grados tóxicos, por lo que es necesario medir y controlar las concentraciones de estos metales. véase Cuadro 18.

TOXICIDAD POTENCIAL DE LOS METALES PESADOS				
ELEMENTO	CALIDAD DE ESENCIAL		TOXICIDAD	
	PLANTAS	ANIMALES	PLANTAS(a)	ANIMALES
CADMIO	NO	NO	MODERADA	ALTA (b)
CROMO	NO	SI	BAJA	BAJA
COBRE	SI	SI	ALTA	MODERADA
PLOMO	NO	NO	BAJA	ALTA (b)
MERCURIO	NO	NO	BAJA	ALTA (b)
NIQUEL	NO	SI	ALTA	MODERADA
ZINC	SI	SI	MODERADA	BAJA

(a) CUANDO SE APLICA EL METAL AL SUELO
 (b) EFECTOS ACUMULATIVOS

CUADRO 18. (MOREL, L., 1976).

Características Biológicas.

Todas las aguas residuales que no contengan desechos industriales tóxicos o nocivos para la vida, podrán contener organismos patógenos y no patógenos.

La naturaleza de las aguas residuales presenta un conjunto de substancias orgánicas e inorgánicas, que proporcionan un marco de carácter físico-químico, cuya influencia determina la supervivencia de organismos típicos: la abundancia de unos y la escasez de otros. La composición de las aguas residuales es variable, por lo que también varía el tipo y número de organismos como: virus, bacterias, hongos, protozoarios, nemátodos, platelmintos y nematelmintos que contienen. Algunas características de sobrevivencia de algunos patógenos se encuentran en los Cuadros 22 y 23.

Los virus se encuentran en el agua que es su principal vector o medio de transmisión viviendo por largos períodos en forma latente y sólo se reproducen al encontrarse un hospedero, que pueden ser plantas o animales y principalmente el hombre.

Entre las enfermedades causadas en el hombre por los virus que habitan en el agua tenemos: hepatitis, poliomeilitis, sarampión, viruela y otros, véase Cuadros 19, 20 y 21.

Las bacterias son los microorganismos unicelulares más abundantes en la naturaleza y los hay patógenos, saprófitos y simbióticos y son los elementos más representativos de las aguas residuales municipales y agrícolas. Los patógenos bacterianos más comunes en el agua son Salmonella, Shigella y otros, véase Cuadros 19, 20 y 21.

**MICROORGANISMOS PATOGENOS QUE PUEDEN
ENCONTRARSE EN LAS AGUAS DE DESECHO**

GRUPO	GENERO	ENFERMEDADES QUE CAUSAN
BACTERIAS	<u>SALMONELLA</u> <u>SHIGELLA</u> <u>SCHENICHA</u> <u>VIBRIO</u> <u>CLOSTRIDIUM</u> <u>LEPTOSPIRA</u> <u>MYCOBACTERIUM</u>	TIFOIDEA - PARATIFOIDEA - ENTERITIS DISINTERIA - PARADISINTERIA ENTERITIS (FAMILIAS PATOGENAS) COLERA - PARACOLERA - ENTERITIS GANGRENA - TETANO - BOTULISMO LEPTOSPIROSIS TUBERCULOSIS - TUBERCULOSIS ATIPICA GRANULOMA DE LA PIEL
VIRUS	<u>POLIOVIRUS</u> <u>COXSACKIEVIRUS A</u> <u>COXSACKIEVIRUS B</u> <u>ECHOVIRUS</u> <u>ADENOVIRUS</u> <u>ROTAVIRUS</u> <u>REOVIRUS</u> <u>HEPATITIS VIRUS A</u> <u>ENTAMOEBAS</u>	POLIOMELITIS - ENTERITIS DOLORS DE CABEZA - DOLORS MUSCULARES NAUSEAS - MENINGITIS DIARREAS - HEPATITIS FIEBRES - INFECCIONES RESPIRATORIAS ENTERITIS - CONJUNTIVITIS AFECCIONES NERVIOSAS GASTROENTERITIS INFANTIL GRIPE - DIARREAS - HEPATITIS HEPATITIS AGUDAS O CRONICAS DESINTERIA CAUSADA POR AMIBAS AMIBIASIS
PROTOZOARIOS	<u>GIARDIA</u>	EQUISTOSOMIASIS (BILHARZIASIS)
TREMATODOS	<u>SCNISTOSOMA</u>	TENIASIS - INFECCION EN EL HOMBRE Y
CESTODOS	<u>TAENIA</u>	LOS ANIMALES - CISTICERCOSIS - BOISIS
NEMATODOS	<u>ASCARIS</u> <u>ANCHYLOSTOMUM</u> <u>ENTEROBERA</u>	ASCARIOSIS ANCHYLOSTOMIASIS GUSANOS DE LA PAPA

CUADRO 19. (ALEXANDRE, 1979)

AGENTES PATOGENOS PRESENTES EN MEXICO

CLASE DE PATOGENO	MORBILIDAD Y MORTANDAD
<u>Salmonella</u>	ENTRE LA POBLACION INFANTIL OCUPAN EL PRIMER
<u>Shigella</u>	LUGAR COMO CAUSA DE MUERTE (INSTITUTO MEXICANO
<u>Escherichia coli</u>	DE PEDIATRIA, DIF. 1983).
ROTAVIRUS	
PROTOZOARIOS Y HELMINTOS	OCUPAN EL TERCER LUGAR COMO CAUSA DE MORBILIDAD
	EN MEXICO (GACETA UNAM, JULIO/1982).
<u>Entamoeba histolytica</u>	ENDÉMICA, ES LA CUARTA CAUSA DE MORBILIDAD EN
	LA POBLACION (SSA, 1982).
<u>Giardia lamblia</u>	ALTA TASA DE MORBILIDAD PRINCIPALMENTE EN NIÑOS
<u>Enterobius vermicularis</u>	MAS DEL 66% DE NIÑOS EN EDAD ESCOLAR (GACETA
	UNAM, JULIO/1982).
<u>Ascaris lumbricoides</u>	PRESENTE EN LA TERCERA PARTE DE LA POBLACION
	MEXICANA. MAS DEL 90% DE LA POBLACION DE ZONAS
	TROPICALES Y RURALES (GACETA UNAM, JULIO/1982).
<u>Trichuris trichiura</u>	PRESENTE EN EL 81% DE LA POBLACION DE ZONAS
	TROPICALES (GACETA UNAM, JULIO/1982).

CUADRO 20. (NASS, 1984).

**PRESENTACION DE ORGANISMOS PATOGENOS
POR EL USO DE AGUAS RESIDUALES
EN EL RIEGO DE CULTIVOS**

CLASE DE PATOGENO	GRADO RELATIVO DE EXCESO EN LA ENTREGA DE LA INFECCION O FRECUENCIA DE LA INFECCION
1.- HELMINTOS INTESTINALES	
<u>Ascaris spp.</u>	
<u>Trichuris spp.</u>	
<u>Ancylostoma spp.</u>	ALTO
<u>Necator spp.</u>	
2.- INFECCIONES BACTERIANAS:	
DIARREAS BACTERIANAS	
COLERA	MEDIO
TIFOIDEA	
3.- INFECCIONES VIRALES	
DIARREAS VIRALES	
HEPATITIS A	BAJO
4.- INFECCIONES PRODUCIDAS POR TREMATODOS Y CESTODOS:	
ESQUISTOSOMIASIS	
CLONORQUIASIS	
TENIALISIS	ENTRE ALTO Y NULO DEPENDIENDO DE LA PRACTICA PARTICULAR EN LA UTI- LIZACION DE LAS EXCRETAS Y DE LAS CIRCUNSTANCIAS.

CUADRO 21. (WASS, 1986).

El grupo coliforme y los estreptococos fecales, son considerados indicadores bacteriológicos de contaminación del agua por desechos intestinales provenientes del hombre y de los animales de sangre caliente.

Los hongos se caracterizan por su notable resistencia a todo tipo de condiciones, temperatura altas y pH extremos, como las aguas de minas o muy alcalinas, como las aguas con gran cantidad de carbonatos.

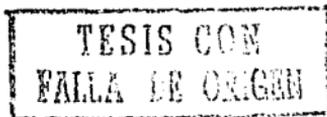
Debido a que los hongos son aerobios, es relativa su presencia en aguas residuales.

Los parásitos son aquellos que viven a expensas de un individuo de otra especie, estrechamente asociados en los aspectos biológicos y ecológicos durante una parte o la totalidad de los actos vitales.

Dentro de los parásitos que encontramos en aguas residuales figuran protozoarios (Entamoeba, Giardia), tremátodos (Schistosoma), nemátodos (Ascaris, Heterodera, etc.) y otros. (Morones y Moreno, 1983). véase cuadros 19, 20 y 21.

Indicadores Bacteriológicos.

Los indicadores bacteriológicos de contaminación son organismos de un grupo específico, el cual, por su sola presencia, demostrará que ha ocurrido contaminación. Muchas veces estos indicadores sugieren la procedencia de tal contaminación, por ejemplo, de aguas residuales domésticas e industriales y aguas residuales agrícola - ganaderas.



**SUPERVIVENCIA DE ALGUNOS PATOGENOS
EN EL SUELO Y EN LAS PLANTAS**

ORGANISMO	MEDIOS	TIEMPO DE SUPERVIVENCIA (DIAS)
<u>Coliformes</u>	SUPERFICIE DEL TERRENO	28
	VEGETALES	35
<u>Salmonella</u>	PASTO Y TEBOL	6 - 24
	EN EL SUELO	15 - 200
<u>Salmonella</u> <u>tiphy</u>	VEGETALES FRUTAS	3 - 49
	EN EL SUELO	1 - 120
<u>Shigella</u>	VEGETALES Y FRUTAS	1 - 60
	SOBRE EL PASTO (AGUAS NEGRAS CRUDAS)	42
BACILO DE LA TUBERCULOSIS	VEGETALES	2 - 10
	EN AGUAS QUE CONTIENEN HUMUS	160
	EN EL SUELO	100
<u>Entamoeba</u>	PASTO	10 - 49
<u>E. histolytica</u>	EN EL SUELO	6 - 8
	VEGETALES	1 - 3
QUISTES	AGUA	8 - 40
EMTENDUIRUS	EN EL SUELO	8
	VEGETALES	4 - 6
HUEVOS DE <u>Ascaris</u>	EN EL SUELO	HASTA 7 AÑOS
	VEGETALES Y FRUTAS	27 - 35

CUADRO 22. (MORELL, J.L., 1977).

Rutinariamente no se realiza el análisis de los microorganismos patógenos, sino el de los indicadores bacteriológicos, estos análisis indican la presencia y el número de bacterias de desechos, y que ha ocurrido una contaminación del agua por desechos intestinales provenientes de animales de sangre caliente, indica que esta agua puede ser nociva para la salud. (Leal y Del Torno , 1983).

Grupos coliformes totales

El grupo coliforme incluye a todas las bacterias aerobias y anaerobias facultativas, gram negativas, no esporuladas, de forma de báculo corto, que fermentan la lactosa con producción de gas en 24 - 48 hrs. a 35°C.

En este grupo se encuentran las siguientes:

- a) Escherichia coli, E. arvenscens, E. freundii, E. intermedia.
- b) Enterobacter aerogenes, E. cloacae.
- c) Las que están bioquímicamente entre los géneros Escherichia y Enterobacter.

La presencia del grupo coliforme en agua potable es índice de contaminación cuando excede el límite permisible (2 organismos/100 ml) que establece el reglamento para la prevención y control de la contaminación del agua.

Los valores máximos permisibles en aguas residuales se encuentran en el Cuadro 24.

PUNTO TERMICO DE LA MUERTE DE ALGUNOS
 PATOGENOS Y PARASITOS COMUNES

ORGANISMO

- Salmonella typhosa*: NO HAY CRECIMIENTO MAS ALLA DE 46°C; MUERTE A LOS 30 MIN A 55°C A 60°C.
Salmonella spp.: MUERTE DENTRO DE UNA HORA A 56°C; MUERTE DENTRO DE 15 A 20 MIN A 60°C.
Shigella spp.: MUERTE DENTRO DE 1 HORA A 55°C.
Escherichia coli: LA MAYORIA MUERE DENTRO DE 1 HORA A 55°C; DENTRO DE 15 A 20 MIN A 60°C.
Endamoeba histolytica: PUNTO DE MUERTE TERMICA A 60°C.
Taenia saginata: MUERTE DENTRO DE 3 MIN A 71°C.
Trichinella spiralis (LARVAS): SU CARACTER INFECCIOSO SE REDUCE COMO RESULTADO DE 1 HORA DE EXPOSICION A 50°C; EL PUNTO DE MUERTE TERMICA ES DE 62 A 72°C.
Necator americanus: MUERTE DENTRO DE 50 MIN A 45°C.
Brucella abortus o *suis*: MUERTE DENTRO DE 3 MIN A 61°C.
Micoplasma pyogenes var. *aureus*: MUERTE DENTRO DE 10 MIN A 54°C.
Streptococcus pyogenes: MUERTE DENTRO DE 10 MIN A 54°C.
Mycobacterium tuberculosis: var. *hominis*: MUERTE DENTRO DE 15 A 20 MIN A 66°C; O CALENTAMIENTO MOMENTANEO A 67°C.
Mycobacterium diphtheriae: MUERTE DENTRO DE 45 MIN A 55°C.

CUADRO 23. (MILSON, 1977).

Coliformes fecales.

Son báculos cortos, gram negativos, no esporulados, que fermentan la lactosa con producción de acidez y gas a temperaturas de 35 +/- 44.5°C, en períodos de 24 - 48 hrs.

Uno de los miembros de este grupo y de gran importancia es Escherichia coli, que se encuentra en el tracto intestinal de todos los seres vivos.

Los valores máximos permisibles en aguas residuales se encuentran en el Cuadro 24.

Estreptococos fecales.

Cocos, gram positivos, que forman generalmente pares o cadenas cortas, crecen en presencia de sales biliares se pueden multiplicar y desarrollar a 45°C, producen ácido pero no fermentan la rafinosa ni reducen los nitratos a nitritos, producen ácido en leche tornasolada, precipitando la caseína, resistentes al calor, a condiciones alcalinas y a elevadas concentraciones de sales. (Leal y Del Torno, 1983).

**LIMITES MAXIMOS PERMITIDOS DE SUSTANCIAS PRESENTES
EN LOS CUERPOS RECEPTORES SEGUN LA EPA.**

CONTAMINANTES	UNIDADES	U S O S				
		PUBLICO	RECREATIVO	IRRIGACION	INDUSTRIA	DESCARGAS SUBTERRANEA
HERBICIDAS						
FENOL	ng/l	0.0010	0.0010	-----	-----	10.0000
RADIOACTIVIDAD	ng/l					
RADIO 226	ng/l	1.0000	3.0000	3.000	3.00	3.0000
ESTRONCIO 90	ng/l	2.0000	10.0000	10.000	10.00	10.0000
MICROBIOLOGICOS	ng/l					
COLIFORMES TOTALES	ng/l	100/100	1000/100	5000/100	10000/100	100/100
COLIFORMES FECALES	ng/l	20/100	200/100	1000/100	3000/100	20/100

LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES DE SUSTANCIAS PRESENTES EN LOS CUERPOS RECEPTORES SEGUN SU REUTILIZACION.

- a) ESTE LIMITE EN NO MAS DEL 10% DEL TOTAL DE LAS MUESTRAS MENSUALES (CINCO MINIMO), PODRA SER MAYOR DE 2 000 COLIFORMES FECALES.
- b) NO DEBEN EXISTIR EN CANTIDADES TALES QUE PROVOQUEN UNA HIPERFERTILIZACION
- c) ESTE LIMITE EN NO MAS DEL 10% DEL TOTAL DE LAS MUESTRAS MENSUALES (CINCO MINIMO), PODRA SER MAYOR A 2 000 COLIFORMES FECALES.
- d) NO SERA PERMITIDO COLOR ARTIFICIAL QUE NO SEA COAGULABLE POR TRATAMIENTO CONVENCIONAL.
- e) REMOVIDE POR TRATAMIENTO CONVENCIONAL.
- f) 2 000 COLIFORMES FECALES COMO PROMEDIO MENSUAL, NINGUN VALOR MAYOR A 4 000.
- g) CONDUCTIVIDAD ELECTRICA NO MAYOR DE 2000 /cmhes/cm.
- h) EL RIEGO DE LEGUMBRES QUE SE CONSUMEN SIN NERVI O FRUTAS QUE TENGAN CONTACTO CON EL SUELO.
- i) LIMITE MAXIMO EN MILIGRAMOS POR LITRO.

INFLUENCIA DE LA IRRIGACION CON AGUAS RESIDUALES EN SUELO Y EN LOS CULTIVOS

Cuando por medio de la irrigación con aguas residuales los metales son incorporados al suelo, pueden ser tomados por los cultivos, lixiviados hasta llegar a los mantos acuíferos, o bien, quedar fijados fuertemente a la matriz del suelo. El camino que siga dependerá del tipo de elemento y su estado químico, del pH, contenido de materia orgánica del suelo y de su capacidad de intercambio catiónico, entre otras cosas.

El comportamiento de diversos elementos dependerá de su asociación con otros compuestos y su estado químico; así por ejemplo el cobre, zinc, cadmio, plomo y cobalto se comportan en forma similar en los suelos. Con pH ácido pueden estar como cationes divalentes y en suelos neutros o alcalinos pueden combinarse con los iones hidroxilo o con otros metales, tal es el caso del arsénico que se combina con el fierro, aluminio, cobalto, manganeso y de esta forma queda retenida en el suelo; el cromo se reduce u oxida quedando en el suelo como precipitado insoluble. (Torres, 1992).

Mitastein y Cole. (1973), indican que existen problemas de salinidad en el Distrito de Riego 03, debido al alto contenido de sales en las aguas negras y deficiencia en el sistema de drenaje. La salinidad del suelo en sí, no solo es función del nivel de salinidad del agua de riego, sino también de la velocidad y volumen de aplicación y de los efectos lixiviantes de las lluvias. El sodio en el agua de riego puede volverse un problema en la solución del suelo como componente de la salinidad

total, aumentando la presión osmótica y el daño a plantas. El problema se genera por sus efectos sobre la estructura del suelo, la permeabilidad y la velocidad de infiltración.

De Dios (1977), señala que los sólidos suspendidos en el agua de riego, obstruyen los poros del suelo y cubren la superficie de la tierra, lo que limita la capacidad de infiltración.

Rios (1979), menciona que las aguas residuales además de contener elementos nutrientes para las plantas, también pueden contener una variedad de elementos trazas, que al presentarse en concentraciones excesivas, constituyen un serio riesgo para las aguas ya contaminadas así como para los suelos que son irrigados con ellos.

El riego con aguas residuales afecta a suelos pobres con materia orgánica, textura limo-arenosa y estructura porosa y muy permeables; arrastran partículas de tamaño fino más allá de 1.5 mm de profundidad. Esta pérdida de material del perfil superficial, con propiedades elevadas en capacidad de retención de humedad y reactividad química, empobrece aún más las propiedades físicas y químicas del material remanente, pudiéndose presentar problemas de erosión. (Ayanegui y García, 1986).

Juárez (1971) reporta casos de daños en algunos cultivos como frutales y frijol en el Distrito de Riego No. 03 por el uso de aguas residuales, siendo estos una clorosis y quemaduras al follaje; otro ejemplo de daños lo mencionan Borys y Arturbe (1982), donde en un viñedo del cultivar Broges, ubicado en la comunidad de Chilcusutia, Hgo; el cual es irrigado con aguas negras, y cuyos daños son: fundamentalmente una fuerte

inhibición del crecimiento, síntomas de clorosis y formación de pequeñas manchas cafés en el follaje de la parte media y basal de la planta. Igualmente provocados por la espuma depositada en las plantas que además, deja un residuo graso visible.

Hurtado y Sánchez (1989), mencionan que las sales solubles pueden tener dos tipos de efectos sobre la planta en crecimiento; específicos, debido a los iones perjudiciales para la especie, y generales, ocasionados por el aumento de presión osmótica de la solución del suelo rodea las raíces de las plantas. Entre los específicos se presenta en primer plano una sensible elevación del pH, causada por carbonatos, los cuales impiden la asimilación de los fosfatos, hierro, zinc y manganeso, así mismo, la estructura del suelo se ve modificada dando lugar a una menor permeabilidad, pobre aereación y laboreo difícil.

En investigaciones que se efectuaron en el Valle del Mezquital sobre la interacción del boro y el ABS, en el desarrollo de la lechuga y el frijol canario, bajo condiciones de invernadero, se encontró que, el ABS es tóxico para el frijol a nivel de 40 ppm y la lechuga empieza a disminuir su rendimiento con 60 ppm y se estimula con 20 ppm, en la solución del suelo, estando este saturado para los dos cultivos; por lo que respecta al boro, este resultó ser tóxico para el frijol en concentraciones de 5 ppm y en la lechuga con 15 ppm, en la solución del suelo, estando este saturado. (De Dios, 1977).

En cultivos de consumo directo, propios de la región del Distrito de Riego 03, se encontraron que el NMP de coliformes totales es de 3 a 2,400/100ml y que el de coliformes fecales es de 3 a 54/100ml, cantidades que sobrepasan los límites que establece el reglamento para agua potable, que es de 2 coliformes totales/100 ml. (Hurtado y Sánchez, 1989).

Shuval (1977), menciona que el agua residual utilizada para riego de cultivos ocasionó daños a plantas y por tanto estas son vectores de enfermedades tanto para animales como para el hombre.

De Dios (1977), usando aguas negras y varios niveles de fertilización, concluye que la dosis óptima para maíz forrajero es substancialmente más baja que la recomendada cuando el cultivo se riega con aguas blancas, debido al contenido de nitrógeno y fósforo en aguas residuales.

Sabey y Hart (1975), señalan que el único efecto detrimental del cieno de aguas negras en el crecimiento de la planta fue sobre la germinación, ya que todas las proporciones del cieno causaron inhibición de la germinación del sorgo sudán y el mijo, cuando las semillas fueron plantadas poco después de la incorporación del cieno en el suelo; no ocurriendo lo mismo con trigo, cuando este fue sembrado en las mismas parcelas 3 meses después.

Moeller (1986), recomienda que en el riego con aguas residuales para legumbres y productos agrícolas que se consumen crudos no debe ser mayor de 2.2 microorganismos/100 ml. (N.M.P.).

Fernández y Fuentes (1986), concluyeron que en un estudio realizado en cebolla, que el riego con aguas residuales crudas, propician una mayor productividad que si se utilizaran para el mismo fin, agua clara o tratada siempre y cuando se apliquen a dichos cultivos niveles de fertilización adecuados.

Esto implica, que la aplicación de aguas residuales sobre los cultivos no necesariamente eleva la productividad, sino que deben considerar otros factores como la calidad del agua de riego, las características del suelo, el tipo de cultivo y de una manera especial la climatología durante el ciclo agrícola correspondiente.

CRITERIOS Y NORMAS DE CALIDAD DE AGUAS RESIDUALES

Los criterios de calidad del agua para cada uno de los distintos usos que se le da, son diferentes en cada caso. Es conveniente definir lo que se entiende por criterio que comunmente se confunde con norma.

Por criterio se entiende los registros científicos que pueden referirse a aspectos químicos, físicos y biológicos que una fuente de agua debe cumplir para un uso determinado.

Entonces un criterio de calidad de agua rige el suministro del agua para un uso particular y éste, puede ser diferente para cada uso.

Una norma rige la calidad del agua después de que el usuario la ha utilizado antes de que la descargue.

Los criterios de calidad del agua, dependen del uso que se le da al agua y varían considerablemente en el número y niveles de parámetros a ser considerados.

En los Cuadros 25 y 25a se presentan criterios de calidad que a juicio de la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, Agricultura y Recursos hidráulicos, Pesca y Salud, constituyen actualmente el mejor conjunto de datos disponibles. (1988).

CRITERIOS DE CALIDAD DEL AGUA
(VALORES MAXIMOS EN mg/l, EXCEPTO CUANDO SE INDIQUE OTRA UNIDAD)

AGUA SUBSTANCIA	AGUA NIVEL DESEABLE	RECREATIVO POTABLE NIVEL PRIMARIO	RIEGO CON CONTACTO	VIDA DE AGRICOLA	VIDA DE AGUA AGUA DULCE	MARINA (AREAS COSTERAS)	ABREVAMEN
ACENAFENO	0.0	0.005			0.0052 (r)	0.005 (r)	
ACETALDEHIDO	0.0				0.053	0.070	
ACETONA						1.00	
ACETOCIMONDHIDRINA	0.0					0.01	
ACETONITRILLO	0.0					0.01	
ACIDO SULFURICO	0.0	0.0			0.002	0.002	
ACRILONITRILLO (b)	0.0	0.0005			0.00050	0.0005	
ACROLINA	0.0	0.32		0.1	0.00021 (r)	0.00055(r)	
ALCALINIDAD (como CaCo ₃)	250.0	400.0			20.0 (a)	25.0 (a)	
ACIDO ACETICO	0.0	0.001			1.0	0.07	
ALDRIN (b)	0.0	0.0000007	0.00005	0.017	0.003	0.0013	
ALUMINIO	0.0	0.2		5.0	0.05	0.2	5.0
ANILINICO (como NH ₃)	0.0					0.05	
ANTIMONIO	0.0	0.146		0.15	0.0061 (r)		
ARSEMICO	0.0	0.05		0.1	0.19 (como As III)	0.01 (como As III)	0.2
ASBESTOS (b) (FIBRA/l)	0.0	3000.0					
ASPECTOS ESTETICOS	(a)	(a)	(a)	(a)	(a)	(a)	(a)
BARIO	0.0	1.0			0.01	0.5	
BENCENO (b)	0.0	0.0040			0.066	0.0034	
BENCIDINA (b)	0.0	0.0000012					
BERILIO	0.0	0.000037		(e)	0.0013 (d)		
BIFENILOS POLICLORA- DOS (b)	0.0	0.00000079			0.000014	0.00003	
BHC (b)	0.0	0.0003			0.001 (r)	0.000035(r)	
BROMO						0.005	10.0
BROMO (b)	0.0	1.0		0.750(f)		4.0	5.0
CADMIO (b)	0.0	0.01		0.01	0.0004	0.0002	
CARBONO ORGANICO	0.0	1.5 CEA (.) 2.0 CEC(..)					
CIANURO	0.0	0.02	0.02	0.0033	0.001		
CLORO		0.010		0.011(g)	0.0075		
CLOROFORMO (b)	0.0	0.000046	0.00002	0.003	0.0000043	0.000004	
CLOROFETILETER	0.0	0.0003			2.30		

(.) SUBSTANCIA CANCERIGENA
(.) ESTADIOS DE AGUA
(..) CARBONO ORGANICO EXTRACTABLE EN ALCOHOL.
(...) CARBONO ORGANICO EXTRACTABLE EN CLOROFORMO.

CONTINUACION

CRITERIOS DE CALIDAD DEL AGUA
(VALORES MÁXIMOS EN mg/l, EXCEPTO CUANDO SE INDIQUE OTRA UNIDAD)

AGUA SUBSTANCIA	AGUA NIVEL DESEABLE	RECREATIVO POTABLE NIVEL PRIMARIO	RIEGO CON CONTACTO	VIDA DE AGRICOLA	VIDA DE AGUA AGUA DULCE	MARINA (AREAS COSTERAS)	ABREVAMEN
CLOROFENOL	0.0	0.0004			0.003	0.004	
CLOROFORMO (b)	0.0	0.0019			0.0124		
CLORISOPROPILETER	0.0	0.024				0.238	
CLOROMETILETER	0.0	0.00000002			2.28		
CLORURO (como Cl-)	0.0	250.0		147.5		250.0	
CLORURO DE VINILO(b)	0.0	0.02					
COLIFORMES FECALES (MMP/100 ml).	0.0	1000.0	200.0 (h)	1.000.0			
COBALTO	0.0			0.02		0.005	
COBRE	0.1	1.0		0.20	(p)	0.0029	0.5
COLOR (unidades de escala Pt - Co)	C.N.	75.0			(i)	(i)	
CROMO VI	0.0	0.05		0.10	0.05	0.011	1.0
CYMETROX					0.201	0.001	
DDT	0.0	0.000006			0.00000 (r)	0.0000060(r)	
DDE	0.0			0.042	0.0105 (r)	0.00014 (r)	
DDT	0.0	0.0000024	0.000005		0.0000010	0.0000010	
DICLORODIBENCENO	0.0	0.400			0.0076	0.19	
DICLORODIBENCENAS (b)	0.0	0.0001					
DICLOROETILENOS (b)	0.0	0.000105			0.011	0.15	
2,4- DICLOROFENOXIA- ACETILO	0.0	0.10		0.1			
2,3 - DICLOROFENOL	0.0	0.003			0.070	0.070	
DICLOROPROPANOS	0.0				0.057 (r)	0.0204 (r)	
DICLOROPROPENOS	0.0	0.007			0.024 (r)	0.0079 (r)	
DIELDRIN (b)	0.0	0.0000071	0.000003	0.017	0.0000019	0.0000019	
2,4 - DIMETILFENOL	0.0	0.4			0.0212 (r)		
DINITROTOLUENO (b)	0.0	0.0011			0.200	.0270	
DIFENILHIDRAZINA	0.0	0.0004			0.0027 (r)		
DUREZA (como CaCO ₃)	75.0						
EMBOSULFAM	0.0	0.0007			0.000056	0.0000007	
EMBIM (b)	0.0	0.0001	0.000002	0.001	0.0000023	0.0000023	
EPOXIDO DE HEPTA- CLORO (b)	0.0	0.0010	0.000002	0.0010	0.000002	0.000002	

nn SUSTANCIA CANCERIGENA.

CONTINUACION

CRITERIOS DE CALIDAD DEL AGUA
(VALORES MAXIMOS EN mg/l, EXCEPTO COMO SE INDIQUE OTRA UNIDAD)

AGUA SUBSTANCIA	AGUA MIVEL DESEABLE	RECREATIVO POTABLE MIVEL PRIMARIO	RIEGO CON CONTACTO	VIDA DE AGRICOLA	VIDA DE AGUA AGUA DULCE	MARINA (AREAS COSTERAS)	ABREVADERO
ETILBENCENO	0.0	1.4			0.22 (r)	0.0043 (r)	
ESTERES DEL ACIDO FTALICO	0.0	0.035			0.003		
FENOLES	0.0	0.001	0.001		0.015	0.015	
FIERRO	0.5	0.3		5.0	1.0	0.05	
FLUORANTENO	0.0	0.042			0.0398	0.00016	
FLUORUROS (como F)	1.0	1.5		1.0	1.0	0.5	2.0
FOSFATOS (como P)	0.01	0.1			(i)	0.002	
FOSFORO (elemental)					0.0001	0.0001	
GASES DISUELTOS					(k)	(k)	
GUTION					0.00001	0.0001	
GRASAS Y ACEITES	AUSENTE	AUSENTE			0.0001	0.0001	
HALOMETANOS ^{##} (b)	0.0	0.0019			0.006	0.064 (r)	
HEPTACLORO ^{##}	0.0	0.00002	0.000002	0.010	0.0000038	0.0000038	
HEPTACLOROPENTADIENO	0.0	0.001					
HEXACLOROBUTADIENO ^{##} (b)	0.0	0.004			0.000093 (r)	0.0032 (r)	
HIDROCARBUROS ALIFATICOS						00.15	
HIDROCARBUROS ANOMA- TICOS POLINUCLEARES ^{##} (b)	0.0	0.000020				0.10	
ISOFONOMA	0.0	5.2			0.117	0.012	
LINDANO ^{##} (b)	0.0	0.00009			0.00000	0.00016	
MALATION ^{##} (b)	0.0	0.000010	0.000010	0.10	0.0001	0.0001	
MANGANESO	0.0	0.05		0.2 (1)		(n)	
MERCURIO ^{##} (b)	0.0	0.000144			0.000012	0.000025	0.01
METOXICLORO	0.0	0.10	0.1	0.35	0.00003	0.00003	
MIREX	0.0				0.000001	0.000001	
NAFTALENO	0.0				0.00062	0.0235	
NIQUEL		0.00005		0.20	(q)	0.0002	
NITRATOS (NO ₃) (como NO ₃) ₂	0.0	10.0				0.06	90.0
NITRITOS (como NO ₂) ₂	0.0	0.05				0.02	10.0
NITROBENCENO	0.0	19.0			0.002 (r)	0.066 (r)	

SUSTANCIA CANCERIGENA.

CONTINUACION

CRITERIOS DE CALIDAD DEL AGUA

(VALORES MAXIMOS EN mg/l, EXCEPTO CUANDO SE INDIQUE OTRA UNIDAD)

AGUA SUSTANCIA	AGUA NIVEL DESEABLE	RECREATIVO POTABLE NIVEL PRIMARIO	RIESGO CON CONTACTO	VIDA DE AGRICOLA	VIDA DE AGUA AGUA DULCE	MARINA (AREAS COSTERAS)	ABREVADENO
NITROFENOLES	0.0	0.07			0.0015		
m-NITROSOPJETILAMINA ** (b)	0.0	0.00008			0.03	0.03	
m-NITROSODIMETIL- AMINA ** (b)	0.0	0.000014	0.001M	5.0M			
m-NITROSODIBUTIL- AMINA ** (b)	0.0	0.000064					2.0 M
m-NITROSODIFENIL- AMINA ** (b)	0.0	0.049					
m-NITROSOPIRROLIDINA ** (b)	0.0	0.00016					
OLOR		AUSENTE					
OXIGENO DISUELTO	(S)	4.0			5.0	5.0	
PARATHION	0.0			0.10	0.00004	0.00004	
PENTACLOROFENOL	0.0	0.030			0.000032 (r)	0.00024 (r)	
POTENCIAL HIDROGENO (pH)	6.5-8.5	5 - 9		4.5 - 9.0	6.5 - 9.0(n)	6.5-8.5(n)	
PLATA	0.0	0.05			(q)	(q)	
PLOMO	0.0	0.05		5.0	0.05	0.017	0.1
SABOR		AUSENTE					
SELENIO (como selenato)	0.0	0.01		0.02	0.025	0.064	
SOLIDOS DISUELTOS	250.0	500.0		500.0 (e)			
SOLIDOS SUSPENDIDOS	0.0	500.0		50.0	(1)	(1)	
SOLIDOS TOTALES	250.0	100.0					
SUSTANCIAS ACTIVAS AL AZUL DE METILENO	0.0	0.5			0.1	0.15	
SULFUROS (como H ₂ S) 2					0.002	0.002	
SULFATOS (SO ²⁻)	0.0	250		100.0		0.005	
TALIO	0.0	0.013			0.00020 (r)	0.0213 (r)	
TEMPERATURA	C.M.	CM 2.5 °C			C.M. 2.5 °C	C.M. 2.5 °C	
2,3,7,8 - TETRACLORO DIBENZO -P-DIOXINA **	0.0	0.00000002				0.0000001	
TETRACLOROETILENO ** (b)	0.0	0.00001			0.450	0.450	

M EXCEPTO PARA EL OXIGENO DISUELTO, PARA EL QUE SE DAN VALORES MINIMOS Y EL PH, PARA EL QUE SE DAN MINIMOS
 ** SUSTANCIA CANCERIGENA.

CONTINUACION

CRITERIOS DE CALIDAD DEL AGUA
(VALORES MAXIMOS EN mg/l, EXCEPTO CUANDO SE INDIQUE OTRA UNIDAD)

AGUA SUSTANCIA	AGUA NIVEL DESEABLE	RECREATIVO POTABLE NIVEL PRIMARIO	RIEGO CON CONTACTO	VIDA DE AGRICOLA	VIDA DE AGUA AGUA DULCE	MARINA (AREAS COSTERAS)	ABREVADERO
TETRAETILO DE PLOMO	0.0				0.002	0.002	
2,4,5-TRICLOROFENOXO (SILVEX)	0.0	0.010					
TETRACLORURO DE CARBONO ^{NS} (b)		0.004					
TOLUENO ^{NS}	0.0				0.05	0.05	
TOXAFENO (b)	0.0	0.00007	0.00004	0.005	0.00013	0.0007	
TURBIDEZ	C. N.	C. N.			(1)	(1)	
URANIO		0.0002					0.0001
PANADIO					(4)	(4)	0.1
m-XILENO	0.0						0.022
p-XILENO	0.0						0.022
ZINC	0.05	1.0		2.0	(4)	(4)	25.0
RADIOACTIVIDAD BETA							
TOTAL PC/1	100.0	1000.0	1000.0	1000.0	1000.0	1000.0	1000.0
RADIO 226 PC/1	1.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
ESTRONCIO	2.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0

^{NS} SUSTANCIA CANCERIGENA.

CUADRO 25. (SEDUE, SARH, 1980).

NOTAS RELATIVAS AL CUADRO DE CRITERIOS DE CALIDAD

- a) La alcalinidad natural no debe ser reducida en más de 25%. Cuando la alcalinidad natural sea menor o igual a 20 mg/l no deberán admitirse reducciones inducidas.
- b) Por la persistencia. Bioacumulación potencial o riesgos de cáncer debe reducirse a un mínimo la exposición humana.
- c) El agua debe estar libre de sustancias atribuibles a aguas residuales u otras descargas que:
- 1.- formen depósitos objetables.
 - 2.- contengan materia flotante como partículas, desechos, aceites u otras materias que den apariencia desagradable;
 - 3.- produzcan color, olor, sabor o turbiedad;
 - 4.- dañen, sea tóxicos o produzcan respuestas fisiológicas adversas en humanos, animales y plantas;
 - 5.- propicien vida acuática indeseable o desagradable.
- d) 0.01 mg/l para la protección de la vida acuática en agua cuya dureza sea igual o menor que 75 mg/l medido como CaCO_3 ; para el caso de agua con dureza de 150 a 300 mg/l medido como CaCO_3 , el valor máximo permisible es de 1.1 mg/l.
- e) 0.1 mg/l para irrigación continua de todos los suelos, excepto para el caso de suelos alcalinos y de textura fina donde se pueden aplicar concentraciones de hasta 0.5 mg/l.
- f) 0.75 mg/l para cultivos sensibles al boro, en otros cultivos podrá ser mayor con límite máximo de 3 mg/l.
- g) 0.002 mg/l para salmónidos y 0.01 para otras especies.

h) 200 como número más probable en 100 ml., (NMP/100 ml) en agua dulce o marina, y no más del 10% de las muestras mensuales deberá exceder de 400 NMP/100 ml.

i) Los sólidos suspendidos (incluyendo sedimentables) en combinación con el color, no deben reducir la profundidad del nivel de compensación de la luz para la actividad fotosintética en más de un 10% a partir del valor natural correspondiente.

j) Para prevenir el desarrollo de especies biológicas indeseables y para controlar la eutroficación acelerada, los fosfatos totales, medidos como fósforo, no deberán exceder de 0.05 mg/l en influentes a lagos o embalses ni de 0.025 dentro de lago o embalse. Para el caso de ríos o arroyos no se permitirán concentraciones.

k) La concentración total de gases disueltos no debe ser superior a 1.1 veces el valor de saturación en las condiciones hidrostáticas y atmosféricas prevalentes.

l) 0.2 mg/l para todos los cultivos excepto cítricos para los que el máximo recomendable es de 0.075 mg/l.

m) 0.1 mg/l para protección de consumidores de moluscos bivalvos.

n) No podrá haber variaciones mayores a 0.2 unidades, tomando como base el natural estacional.

d) La concentración de Sólidos Disueltos totales que no tienen efectos nocivos en ningún cultivo es de 500 mg/l, en cultivos sensibles está entre 500 y 1000 mg/l, en muchas cosechas que requieren de manejo especial, está entre 1000 y 2000 mg/l y para cultivos de plantas tolerantes en suelos permeables está entre 2000 y 5000, requiriendo un manejo especial.

Por otra parte:

Para cosecha de frutas sensibles la RAS debe ser menor o igual que 4 y para forrajes la RAS podrá estar entre 8 y 18.

p) El valor que resulte de multiplicar 0.01 por el ILM* de 96 horas, para especies más sensibles.

q) El valor que resulte de multiplicar 0.01 por el ILM de 96 horas, para especies más sensibles.

r) Criterio de calidad que se obtuvo de multiplicar la concentración letal media reportada para la especie más sensible por 0.01.

s) Condiciones de saturación.

* ILM de 96 horas es la concentración que causa la mortandad del 50% de los individuos durante un periodo de exposición de 96 horas.

**VALORES MAXIMOS PERMISIBLES EN AGUAS
PARA USO AGRICOLA E INDUSTRIAL.**

<u>CONSTITUYENTE O DETERMINACION</u>	<u>CONCENTRACION PERMISIBLE</u>
DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO (BDO)	100 mg/l
OXIGENO DISUELTO (OD) (MINIMO)	3.20 mg/l
SOLIDOS SEDIMENTABLES (SSs)	1 mg/l
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES (SDT)	CONDUCTIVIDAD NO MAYOR DE 2900 mg/l
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (SST)	100 mg/l
pH	6 - 9
DETERGENTES	.5 mg/l
GRASAS Y ACEITES	10 mg/l
MATERIA FLOTANTE	AUSENTE
COLIFORMES TOTALES	10,000 NUMERO MAS PROBABLE/100 ml.
TURBIDIDAD (UNIDAD DE TURBIDIDAD JACKSON)	CONDICIONES NATURALES.
COLOR (ESCALA Pt - Co)	CONDICIONES NATURALES + 10
TEMPERATURA	CONDICIONES NATURALES + 2.5° C
SUSTANCIAS TOXICAS	NINGUNA SUSTANCIA TOXICA SOLA O EN COMBINACION CON OTRAS ESTARA PRESENTE, EN CONCENTRACIONES TALES CONVIERTAN EL AGUA DEL CUERPO ---- RECEPTOR EN INADECUADA PARA EL -- USO ESPECIFICO A QUE SE DESTINE.
ARSENICO	5.00 mg/l
BORO	2.00 mg/l
CADMIO	0.005 mg/l
COBRE	1.00 mg/l
CROMO (HEXAVALENTE)	5.00 mg/l
PLOMBO	5.00 mg/l
SELENIO	0.05 mg/l

REFERENCIA: REGLAMENTO PARA LA PREVENCIÓN Y CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN DE
AGUAS (SARN - SSA), MÉXICO, 1975.

CUADRO 25B.

Además de la ley federal de protección al ambiente (enero, 1982), en el reglamento para la prevención y control de las aguas estipula que las descargas de aguas residuales cumplan con 5 características de calidad, para los cuales se fijan valores máximos tolerables en el artículo 13 del reglamento. Estas características son:

	Valor Máximo Permisible.
1) Sólidos sedimentables.	1.0 mg/l
2) Grasas y aceites	70 mg/l
3) Material flotante	Ninguna que pueda ser retenida por malla de 3 mm de calibre cuadrado.
4) Temperatura	35°C
5) pH	4.5 - 10

Ollervides (1986), indica que la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, otorgó permiso para que la empresa ECCAGIV, descargara sus aguas residuales a la barranca en Puente Blanco afluente del río Amacuzac para su posterior aprovechamiento agrícola y fijó como características de calidad del afluente, las siguientes:

Parámetro	Frecuencia	Límite	Observaciones
Parámetro	X mensual de 4 muestras de agua diaria		Ninguna muestra individual debe exceder a :
DBO	40 mg/l	48 mg/l	
pH	-----		No ser menor de 6 ni mayor de 9.
Temperatura	-----	30°C	
Grasas y aceites	10 mg/l	16 mg/l	
S.B.T.	40 mg/l	48 mg/l	
Coliformes totales	1000/100 ml	2400/100 ml.	

Además en cualquier muestra compuesta diaria, no deberá exceder los siguientes valores:

Parámetro	Concentración (mg/l) excepto RAS
Arsénico	1.00
Bario	6.00
Boro	1.50
Cadmio	0.01
Cobre	0.10
Cromo	0.10
Plomo	0.10
Selenio	0.05
Zinc	0.02
Fenoles	1.00
RAS	6.00

En México, los requisitos de calidad que deberán satisfacer las aguas para uso agrícola están estipulados en la norma técnica ecológica, NTE - CCA - 032/92., criterios ecológicos de calidad del agua SEDUE, Norma Técnica Ecológica NTE - CCAM - 004/91. (Cuadros 26, 27 y 28).

**NORMA PARA EL USO DE AGUAS RESIDUALES
EN RIEGO AGRICOLA**

TIPO DE RIEGO	TIPO DE AGUA	INTERVALO MINIMO ENTRE CADA TIPO DE RIEGO Y COSECHA DIAS	CULTIVOS NO PERMITIDOS
INUNDACION	1	20	LOS SEÑALADOS EN EL ART.3 - III, EXCEPTO AJO, PEPINO, JICAMA, MELON Y SANDIA.
	2	20	LOS SEÑALADOS EN EL ART.3 - III, EXCEPTO MELON Y SANDIA
	3	20	LOS SEÑALADOS EN EL ART.3 - III
	4	20	LOS SEÑALADOS EN EL ART.3 - IV
SURCO	1	15	LOS SEÑALADOS EN EL ART.3 - III, EXCEPTO AJO, PEPINO, JICAMA, MELON, SANDIA, ASI COMO TOMATE VERDE O DE CASCARA.
		20	LIBRE CULTIVO.
	2	20	LOS SEÑALADOS EN EL ART.3 - III, EXCEPTO AJO, PEPINO, JICAMA, MELON, SANDIA, ASI COMO TOMATE VERDE O DE CASCARA.
	3	20	LOS SEÑALADOS EN EL ART.3 - III, EXCEPTO MELON Y SANDIA.
ASPERSION	1	20	LOS SEÑALADOS EN EL ART.3 - III, EXCEPTO AJO, PEPINO, JICAMA, MELON Y SANDIA.
	2	20	LOS SEÑALADOS EN EL ART.3 - IV
	3		
	4		

ARTICULO 3 FRACCION III. ACELGA, APIO, BERRO, BETABEL, BROCOLI, CEBOLLA, CILANTRO, COL, COLIFLOR, EPAZOTE, ESPINACA, HONGO, LECHEA, PAPALO, PEREJIL, QUELITE, RABANO, YERBABUENA, ZANAHORIA, PEPINO, CALABACITA, Jitomate, TOMATILLO Y TOMATE VERDE O DE CASCARA, CON EXCEPCION DE LAS CINCO ULTIMAS, CUANDO SE SIEMBREN CON ESPALDERA. SE EQUIPARAN A ESTAS MORTALIZAS LOS SIGUIENTES FRUTOS; FRESA, JICAMA, MELON, SANDIA Y ZARZAMORA.

ARTICULO III FRACCION IV. LAS SEÑALADAS EN LA FRACCION III Y TODAS LAS DEMAS MORTALIZAS Y FRUTOS EN GENERAL.

TIPOS DE AGUA. TIPO 1.- MENOS DE 1000 COLIFORMES TOTALES POR 100 ml Y NINGUN NUEVO VIABLE DEL HELMINTO POR LITRO DE AGUA. TIPO 2.- 1 A 1000 COLIFORMES FECALES POR 100 ml Y CUANDO MAS UN NUEVO VIABLE DE HELMINTO POR LITRO. TIPO 3.- DE 1001 A 100,000 COLIFORMES FECALES POR 100 ml. TIPO 4.- MAS DE 100,000 COLIFORMES FECALES POR 100 ml.

LIMITES MAXIMOS DE LA CALIDAD DE LAS
AGUAS RESIDUALES PARA RIEGO AGRICOLA

ACROELTINA	0.1	FOSFORO TOTAL ^m	5.0
ALDRIN	0.02	HEPTACLORO	0.02
ALUMINIO	5.0	NIQUEL	0.2
ANTIMONIO	0.1	NITRATOS ^m	20.0
ARSENICO	0.1	NITROGENO TOTAL	20.0
BICARBONATOS ^m	100.0	PLOMO	5.0
BERILIO	0.1 - 0.5	POTASIO	250.0
BORO	0.7 - 2.0	POTENCIAL DE HIDROGENO	.5 a 9.0
CADMIO	0.01	RELACION DE ABSORCION DE SODIO (mg/l) ^m	10.0
CARBONATO DE SODIO RESIDUAL (mg/l) ^m	2.5	SALINIDAD EFECTIVA (mg/l) ^m	15.0
CIANURO	0.02	SALINIDAD POTENCIAL (mg/l) ^m	15.0
CLORURO	0.003	SELENIO (COMO SELENATO)	0.02
CLORUROS	147.5	SODIO ^m	250.0
COBRE	0.20	SOLIDOS DISUELTOS	500.0
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA (umhos/cm)	1000.0	SOLIDOS SUSPENDIDOS	50.0
CROMO HEXVALENTE	1.0	SULFATOS	130.0
DDE	0.04	TOXAFENO	0.005
DIELDRIN	0.02	ZINC	2.0
FERRO	5.0	RADIOACTIVIDAD: ALFA TOTAL (Bq/l)	0.1
FLUORUROS (COMO F)	1.0	RADIOACTIVIDAD: BETA TOTAL (Bq/l)	1.0

CUADRO 27. CRITERIO ECOLOGICOS DE LA CALIDAD DEL AGUA. (SEDE, 1989).

= MANUAL TECNICO PARA EL USO, MANEJO Y APROVECHAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES EN
RIEGO AGRICOLA. (C.N.A., 1990).

González, (1990), enumera los parámetros de control siguientes:

1.- Para que el agua tenga un mínimo de riesgo para la salud humana recomienda:

a) El contenido de coliformes fecales no sea mayor de 1000 NMP/100 ml. y que no existan o se tenga un huevo viable de helminto.

b) Las concentraciones máximas permisibles para parámetros agronómicos son:

- Salinidad; sólidos suspendidos < a 2000 ppm

Boro < de 2.5 ppm

Conductividad eléctrica < de 3000 umhos/cm

Cloruros < a 250 ppm

NAB < a 18

c) Concentraciones máximas permisibles de sustancias tóxicas en agua donde se detecta descargas industriales son:

MAXIMOS PERMISIBLES (ppm)

Plomo	0.50
Cadmio	0.05
Cromo hexavalente	5.00
Arsénico	5.00
Aluminio	5.00
Mercurio	0.005
Cianuro	0.18

d) pH. Los ácidos permiten la solubilidad de los metales pesados y su incorporación a la cadena alimenticia, se recomienda la utilización de suelos alcalinos.

LIMITES MAXIMOS DE CONTAMINANTES PARA LAS
AGUAS RESIDUALES DE ORIGEN URBANO O MUNICIPAL
QUE SE DISPONGAN MEDIANTE RIEGO AGRICOLA.

PARAMETROS FISICO Y QUIMICOS (mg/l)	NIVELES MAXIMOS PERMISIBLES
POTENCIAL DE HIDROGENO (UNIDADES DE pH)	6.5 - 8.5
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA (mhos/cm)	2,000.00
ALUMINIO	0.20
ANTIMONIO	0.10
ARSENICO	0.10
BORO	0.75
CADMITO	0.01
CIANURO	0.02
COBRE	0.20
CROMO	0.01
FIERRO	5.00
FLUORUROS (COMO FLOUR)	1.00
MANGANESO	0.02
NIQUEL	0.05
PLOMO	0.50
SELENIO	0.02
ZINC	2.00

CHABRO 28. ONTE - CCM - 004/91). (SEDE, 1991).

LOS METALES PESADOS.

Generalidades de los metales pesados.

En México un aspecto de gran importancia es el alto porcentaje de aguas residuales que se utilizan para el riego agrícola, estas provenientes de las zonas urbanas, industriales y refinerías. Muchas de las aguas no son tratadas, por lo cual provocan dispersión de contaminantes tóxicos como son los metales pesados, los cuáles contaminan el ambiente biótico por su característica de bioconcentración y bioacumulación en los ecosistemas. Los compuestos de este tipo que son más tóxicos, persistentes y abundantes en el ambiente parecen ser los de mercurio (Hg), plomo (Pb), cadmio (Cd), cromo (Cr) y níquel (Ni); se sabe que éstos metales se aumentan en el cuerpo de los organismos vivos, permanecen largo tiempo en ellos, y se comportan como venenos acumulativos. (Charlatt, 1976).

De los 106 elementos conocidos, 84 se elaboran como metales. Por lo tanto los riesgos de contaminación son numerosos. No obstante, no todos los metales representan riesgos para el ambiente; algunos no son tóxicos mientras que otros, aún cuando lo sean, son muy escasos o sus compuestos son insolubles, como resultado, sólo unos pocos de ellos se consideran en la actualidad como contaminantes ambientales, y son los metales pesados. (Stoker y Seager, 1981).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Es muy común que se confundan los términos metal pesado, metal traza, elemento tóxico, etc, para referirse a la contaminación por metales, es por eso necesario definirlos a cada uno de ellos:

Metal pesado .- Son aquellos elementos que se presentan en bajas concentraciones, que tienen una densidad superior a los 5 gr. (cinco veces la densidad del agua) por centímetro cúbico y que tienen un número atómico de 22, no todos son tóxicos. (Stoker y Seager, 1981).

Metal tóxico .- Es aquél que pertenece al grupo de elementos que no son necesarios o benéficos, capaces de causar efectos indeseables en el metabolismo de plantas y animales y aún en bajas concentraciones. (Vega, 1986).

Metal esencial .- Es aquel que se necesita para completar el ciclo de vida de los organismos y estos producen síntomas de deficiencias, cuyo efecto es mostrado por una dosis-curva de respuesta. (Torres, 1992).

Agente tóxico .- Es cualquier sustancia capaz de producir efecto nocivo en un organismo vivo, desde el daño de sus funciones hasta la muerte y la toxicidad es la capacidad inherente del agente químico de producir efectos.

(Torres, 1992).

Metal traza .- Es cualquier elemento que se encuentra normalmente en aguas o soluciones de suelos en concentraciones menores a unos cuantos mg/l y usualmente en concentraciones menores a 100 Ug/l. (Garcia, 1984).

Se encuentra en alguna fuente como planta, tejido, etc; en cantidades normales.

Los metales como el plomo o el mercurio pueden considerarse como tóxicos sistémicos, es decir, que pueden afectar a más de un órgano siendo generalmente ingeridos (sistema gastrointestinal), y en caso de las plantas son absorbidos y distribuidos a diferentes órganos de la planta. (Vega, 1986).

La acción tóxica de los contaminantes está determinado tanto por su accesibilidad al organismo como por la serie de reacciones bioquímicas y fisiológicas que provocan, y que en última instancia se manifiesta como signo y síntomas de intoxicación en los organismos vivos (Figura 4 y 5), por lo tanto, entre los mecanismos de la toxicidad de los metales se incluyen interacciones con sistemas enzimáticos, interacciones con las membranas celulares, efectos específicos sobre ciertos organelos y sobre el metabolismo celular general.

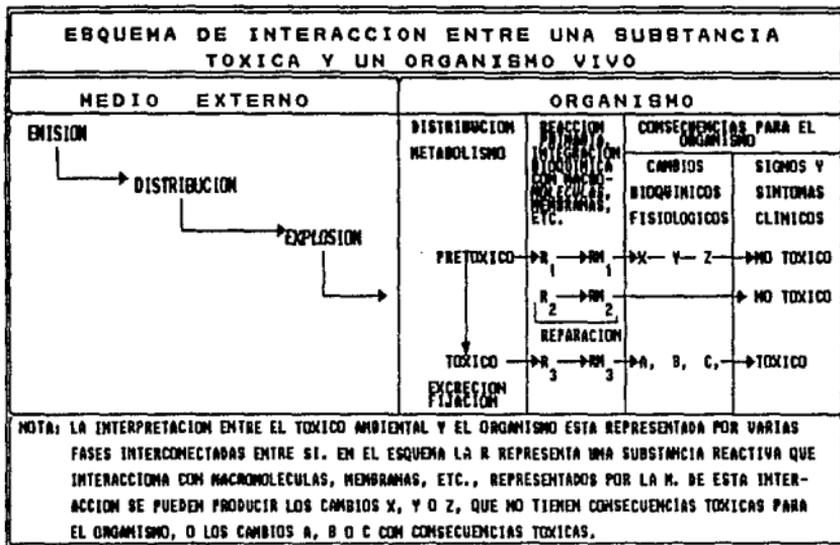


FIGURA 4. (ALDRIDGE, 1981).

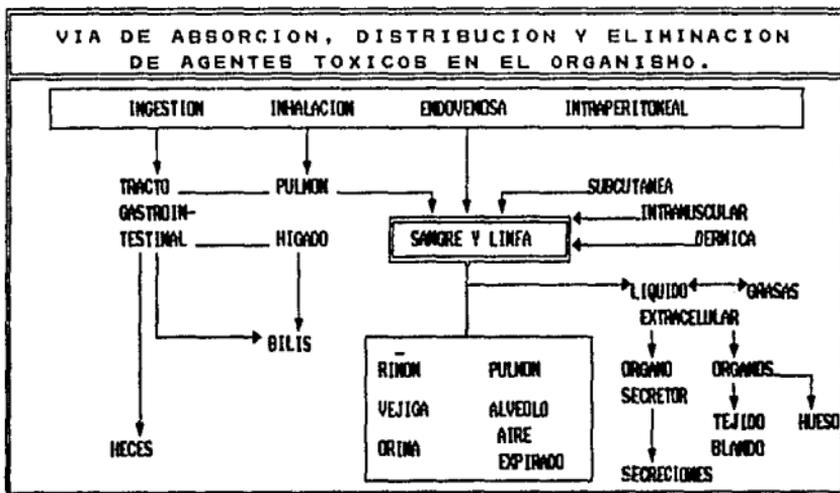


FIGURA 5. (PASARET, LB., 1982).

PRODUCCION DE LOS PRINCIPALES METALES PESADOS DE INTERES TOXICOLOGICO EN MEXICO (TONS)			
METAL	1970	1975	1980
ARSENICO	6922	4636	3250
CADMIO	1967	1581	1791
CROMO	---	---	---
MANGANESE	9867	154215	168966
MERCURIO	1043	490	146
PLOMO	176397	182826	145549

CUADRO 29. (SPP, 1983)

La concentración de los metales pesados en el agua residual se debe principalmente a su origen, ya que si es doméstica, la concentración de metales es baja y si es de origen industrial, la concentración será mayor y dependerá del tipo de industria.

La bioconcentración y bioacumulación en el ambiente de los metales pesados hasta alcanzar niveles tóxicos dependerá de :

- A) La retención y características del suelo.
- B) Remoción de los metales por las plantas y lugar donde se acumule.

Fuentes generadoras de metales pesados.

Lepp (1981) citado por Cruz (1991), indica que las fuentes contaminantes de metales son las siguientes:

- 1) Fuentes naturales, tales como mineralizaciones superficiales, actividad volcánica, combustiones o incendios forestales.
- 2) El uso en la agricultura de sprays o mejoradores de suelos, que contienen metales.
- 3) El uso de aguas desechadas por minas e industrias.
- 4) Largas emisiones de fuentes industriales, como esmaltadoras metálicas y refinerías.
- 5) Emisiones de aceite quemado, estaciones generadoras de electricidad o incineradoras.
- 6) Uso indiscriminado de pesticidas.
- 7) Emisión de automóviles.

Los metales pesados en el suelo.

La irrigación con aguas residuales pueden aumentar la cantidad de sustancias nocivas y tóxicas en el ambiente y en los suelos y entre estos están los metales pesados y su concentración depende de :

- A) Concentración de los metales en el vertido.
- B) Del suelo.
- C) Periodicidad de aplicación de riegos con aguas contaminadas.
- D) Modalidad del vertido.

En muchas experiencias se ha comprobado la contaminación y aumento de los metales en los suelos.

Jones y Col (1973), indican que el contenido total de plomo en los suelos de Inglaterra variaron de 14 a 163 ppm.

Mascareño (1974), encontró cantidades sumamente elevadas de mercurio en suelos, con un promedio de 0.64 ppm; en suelos del distrito de riego 03. Asimismo las concentraciones de plomo fueron de 3.63 ppm, en promedio.

Serrano y Col (1983), en la región de Linares, España analizaron 37 suelos y encontraron altas concentraciones de Fe, Cu, Mn, Zn, Pb y Cd.

Chui y Col (1988), reportan contaminación del suelo en Kowloon, Hong Kong, por metales pesados debido a que una fábrica de plásticos vertía las aguas a los afluentes naturales provocando una contaminación de metales en el suelo y las plantas. El contenido de níquel fue de 385mg/kg y 194 mg/kg de cobre en los suelos; otros metales encontrados fueron Mn y Pb.

García (1984), En un estudio realizado en los municipios de Taxcoapan, Huelvapán y Atitalaquia; en el Estado de Hidalgo, en donde irrigan con aguas residuales se concluyó que los suelos se encuentran contaminados principalmente por Cd y cromo ya que rebasan los límites permisibles.

Grigoryan Jr (1990), Reporta que en Debed Kaver, Armenia (URSS), la irrigación con aguas residuales incrementó el nivel de metales pesados en los suelos como son el plomo, níquel, manganeso y cobre.

Torres (1992). En la evolución de concentración de metales en suelo en los municipios de Jiutepec, Emiliano Zapata y Xochitepec, en el Estado de Morelos, irrigados con aguas residuales concluyó que los suelos presentaron altos niveles de zinc. Le sigue en importancia el fierro y finalmente el plomo, cadmio y cromo. Asimismo, afirma que la concentración de los cinco metales fue casi siempre mayor en los primeros estratos, disminuyendo con la profundidad generalmente.

Comportamiento de metales pesados en el suelo.

La vía que sigue un metal cuando éste es vertido al suelo por medio del riego con aguas residuales son 3 según Torres (1992):

- 1) Tomado por el cultivo.
- 2) Lixiviados hasta llegar a los mantos acuíferos.
- 3) Fijados fuertemente a la matriz del suelo.

La profundidad de penetración de los metales en el suelo depende en mucho del volumen de agua que se infiltra y del coeficiente de adsorción del compuesto. Los metales actúan según diversos mecanismos, basados todos ellos en las interacciones de la fase líquida con la fase sólida.

Estas interacciones son:

- 1) Unión por adsorción
- 2) Precipitación, disolución
- 3) Disolución
- 4) Descomposición biológica
- 5) Mezcla.

Seoanez (1978), Señala que el comportamiento de los metales también depende de su asociación con otros compuestos y su estado químico, así tenemos por ejemplo, que el cobre, níquel, zinc, cadmio, plomo y cobalto, se comportan en forma similar en los suelos. Con pH ácido pueden estar como cationes divalentes y en los suelos neutros o alcalinos pueden combinarse con los iones hidroxilo o con otros metales, tal es el caso del arsénico que se combina con el hierro, aluminio, cobalto, magnesio, y de esta forma queda retenido en el suelo; el cromo se reduce u oxida quedando en el suelo como un precipitado insoluble.

El pH del suelo juega un papel muy importante en el comportamiento de los metales pesados, generalmente a medida y consecuentemente, su concentración en la solución del suelo; cuando el pH aumenta, se reduce la solubilidad y se incrementa la adsorción de los metales en el suelo. Se podría señalar que existe un amortiguamiento de los suelos hacia los metales pesados inactivándolos o reduciendo su probable daño al reaccionar con otros metales, pero esa facultad se deteriora si se suministra mayor cantidad de metales de los que se pueden fijar por el suelo o absorber por las plantas.

En general, los suelos no contienen cantidades significativas de metales pesados, en promedio se encuentran;

En suelo	ppm
Plomo (Pb)	10
Cadmio (Cd)	0.06
Cobre (Cu)	20
Zinc (Zn)	5
Niquel (Ni)	40
Cobalto (Co)	8

Las propiedades químicas de los metales pesados indican que su movilidad en los suelos es regida por el equilibrio entre el agua, los carbonatos, los silicatos y los fosfatos. Estos factores han controlado la deposición y disolución de los yacimientos naturales de los metales pesados, otro proceso de importancia es la interacción de los cationes de los metales pesados con los aniones de la solución del suelo para formar iones complejos y quelatos con aniones orgánicos. Solo queda por considerar las reacciones de intercambio catiónico, los cuales serían el último pero también importante factor que regule la disponibilidad de los cationes de los metales pesados en una solución del suelo. (Torres, 1992).

Adsorción, Precipitación y Disolución de Metales en el Suelo.

Existen diversas teorías para explicar los mecanismos de retención de metales por el suelo, fundamentalmente referidas al Zn, Cr, Ni, Cu, Cd, Pb, Co, y Hg. Estos mecanismos pueden ser reacciones simples o complejas y las principales son: precipitación, occlusión en otros precipitados, asociación con la

superficie de las partículas del suelo, difusión de fases sólidas en los minerales del suelo, incorporación a los biosistemas y unión a los vertidos residuales; por otra parte, pueden estar presentes los propios metales de los minerales del suelo.

Existen posiblemente, ciertos procesos de adsorción que comprenden uniones covalentes con ciertos grupos funcionales de las superficies de las arcillas.

La materia orgánica puede ser considerada como el factor más importante que influye sobre la adsorción de los metales. Esto se basa en la capacidad de quelatación de los compuestos orgánicos. En relación con la materia orgánica se ha visto que los ácidos húmicos y fúlvicos tienen constantes de gran estabilidad para los metales. También se ha comprobado que los compuestos orgánicos solubles complejan bien el Cu, Zn y Mn de la solución del suelo, que los hidróxidos metálicos tienen cierta importancia en los fenómenos de adsorción de los metales en los suelos de naturaleza mineral. (Seoanez, 1978).

Pueden existir muchos componentes en forma diferente de la adsorbida. Entre todos los metales, algunos pueden presentarse en la solución del suelo y, por tanto, en el complejo adsorbente. La saturación parcial del adsorbente con el ión depende de la afinidad y de la concentración, pudiendo aparecer el metal, además, como una sal sódica. Esto indica que la concentración de la solución no depende solamente de las características del intercambio iónico, sino que puede estar afectada también, por la solubilidad de la forma salina. Este fenómeno comprende dos fases diferentes del proceso: una estática y otra dinámica.

En la primera, al estar el sistema en equilibrio, debe existir una concentración determinada en la solución; la segunda se refiere a la intensidad de precipitación y de disolución.

Existe cierto predominio de la precipitación sobre las reacciones de adsorción, y esto depende de diversos factores como son la concentración de metal en la solución del suelo, el pH, la presencia de complejos organo-metálicos y la existencia de parásitos iónicos. Si se forman precipitados, es porque posiblemente, se efectúa una disolución y una adsorción superficial cuando la concentración metálica de la solución del suelo disminuye por lavado o por absorción por las plantas. (Seoanez, 1978).

La solubilidad de los sólidos, depende entre otros factores, del contenido de O_2 , del pH, de la presión del CO_2 .

2

2

LOS METALES PESADOS EN LAS PLANTAS

La influencia y el papel metabólico de metales pesados en las plantas puede ser caracterizado en relación a algunos procesos básicos tales como:

- a) Absorción y transporte dentro de la planta.
- b) Procesos enzimáticos.
- c) Concentraciones y formas de ocurrencia.
- d) Deficiencia y toxicidad.
- e) Competencia de iones e interacciones.

ABSORCION

En general las plantas disponen fácilmente de especies de metales pesados que están disueltos en la solución del suelo en forma iónica o quelatada y en formas acompañadas.

El proceso de absorción de metales se resume en la siguiente forma:

- 1.- Funciona con muy bajas concentraciones en solución.
- 2.- Depende en gran medida de las concentraciones en las soluciones, especialmente en rangos bajos.
- 3.- Depende fuertemente de la presencia de H^+ y otros iones.
- 4.- De la variedad, especie vegetal y etapa de desarrollo.
- 5.- Los procesos son sensitivos a algunas propiedades del suelo, tales como temperatura, aereación y potencial.
- 6.- La acumulación de algunos iones pueden tomar lugar formado un gradiente de concentración.
- 7.- Esta puede ser selectiva para un ión en particular.
- 8.- Las micorrizas desempeñan un papel importante en el ciclo entre el medio exterior y las raíces.

La absorción por las raíces es la mejor vía de metales pesados a la planta, sin embargo, la habilidad de otros tejidos al absorber fácilmente algunos nutrientes, incluyendo metales pesados, también ha sido observada. (Kabata y Pendias, 1986).

ABSORCIÓN RADICAL.

La absorción de metales pesados por la raíz puede ser pasiva (no metabólica) y activa (metabólica).

La absorción pasiva es la difusión de iones de la solución externa hacia la epidermis de la raíz. La absorción activa requiere de energía metabólica y de la presencia de un gradiente químico. Existen varias evidencias de que cuando la solución del suelo tiene presencia de estos iones, la absorción de metales pesados por las raíces de las plantas es controlada por procesos internos de la raíz (Kabata y Pendias, 1986).

Muchas evidencias indican que las raíces muestran gran actividad en la movilización de los metales pesados que están ligados por varios componentes del suelo. Los metales pesados más fácilmente disponibles para las plantas son en general, aquellos que están adsorbidos en minerales arcillosos, los fijados por óxidos y encontrados en los microorganismos son menos disponibles. El agotamiento de metales pesados en solución de la interfase suelo-raíz, refleja un alto rango de absorción de estos para la raíz en comparación con el flujo de masa y mecanismos de difusión en ciertos suelos. Los mecanismos de absorción de metales pesados por la raíz envuelven varios procesos:

- 1) Intercambio catiónico por raíces.
- 2) Transporte dentro de las células por agentes quelatantes y otros transportadores.
- 3) Efectos de la rizosfera.

Iones y otros materiales dentro de la raíz controlan en cierta medida la absorción de nutrientes por la raíz. Los estados de oxidación de cationes en torno a la raíz se cree que influyen en estos procesos. Cambios en el pH del ambiente que rodea a la raíz tienen un papel especialmente significativo en el rango de disponibilidad de ciertos metales pesados. (Kabata y Pendias, 1986).

El grado de reducción es obligatorio en la absorción radicular de Fe. La reducción de otros metales como Mn, Cu, Zn o Hg, en el grado de absorción aparentemente no ha sido bien observado. (Kabata y Pendias, 1986).

TRANSLOCACION.

El transporte de iones dentro de los tejidos y órganos de la planta es debido a muchos procesos:

- 1) Movimientos en el xilema.
- 2) Movimiento en el floema.
- 3) Almacenamiento, acumulación e inmovilización.

Los quelatos son muy importantes en el control de la translocación de cationes en plantas. Sin embargo, numerosos factores tales como pH, el estado de oxidación-reducción, competencia catiónica, hidrólisis, polimerización y la formación de sales insolubles (fosfatos, oxalatos, etc.) gobiernan la movilidad de los metales dentro de los tejidos de las plantas.

El transporte de metales a largas distancias en los árboles depende sobre todo de los tejidos vasculares (xilema) y también en gran medida de la intensidad de transpiración. Las formas químicas de metales pesados en exudado difieren para cada elemento.

Los patrones de distribución y acumulación de metales pesados varían considerablemente conforme la especie de plantas y etapa de crecimiento. (Kabata y Pendias, 1986).

DISPONIBILIDAD

Existe una relación lineal entre la cantidad de metales pesados presentes en la solución del suelo y la cantidad presente dentro de la planta.

Las propiedades específicas de las plantas son muy importantes en la determinación de la biodisponibilidad de metales pesados y son del todo variables en las relaciones suelo-planta. (Kabata y Pendias, 1986).

BIODISPONIBILIDAD, DEFICIENCIAS Y EXCESOS

Kabata y Pendias (1986), dividieron los metales pesados en plantas dentro de los siguientes grupos.

- 1) Aquellos incorporados dentro de materiales estructurales: Si, Fe y raramente Ba y Sr.
- 2) Aquellos encontrados dentro de las moléculas pequeñas en la micelánea, incluyendo antibióticos y porfirinas: As, B, Br, Cu, Co, F, Fe, Hg, I, Si y V.
- 3) Aquellos combinados con grandes moléculas, principalmente proteínas, incluyendo enzimas con propiedades catalíticas: Co, Cr, Cu, Mn, Fe, Mo, Se, Ni y Zn.

4) Aquellos fijados por grandes moléculas de almacenamiento, transporte o funciones no conocidas: Cd, Co, Cu, Fe, Hg, I, Mn, Ni, Se y Zn.

5) Aquellos relacionados a organelos u otras partes (mitocondria, cloroplastos, algunos sistemas de enzimas): Cu, Fe, Mn, Mo, y Zn.

En resumen los metales pesados están envueltos en forma clave en eventos metabólicos tales como : respiración, fotosíntesis, fijación y asimilación de algunos nutrientes mayores (N y S). Los metales traza de la transición grupo metal son conocidos como activadores de enzimas o están incorporados dentro de las metaloenzimas. Como sistemas de transferencia de electrones (Cu, Fe, Mn, Zn) y también como catalizadores en cambios de valencia en el sustrato (Cu, Co, Fe, Mo) algunos papeles particulares de diferentes metales pesados (Al, Cu, Co, Mo, Mn y Zn), los cuales parecen estar involucrados en mecanismos de protección, de cubrir fuertemente y dar resistencia a sequía en algunas variedades de plantas, han sido también reportados. (Kabata y Pendias, 1986).

Los efectos de la toxicidad por metales se describen de la siguiente forma:

- 1) Cambios en la permeabilidad de la membrana celular: Ag, Au, Cd, Cu, F, Hg, I, Pb.
- 2) Reacciones con cationes de metales pesados como: Ag, Hg, Pb.
- 3) Competencia por sitios con metabolitos esenciales As, Sb, Se, Te, W, F.

- 4) Afinidad para reaccionar con grupos fosfato y grupos activos de ADP o AIP, Al, Sc, y Zr. lantánidos.
- 5) Reemplazamiento de iones esenciales (mas fuerte con cationes mayores, (Cs, Li, Rb, Se y Sr).
- 6) Ocupación de sitios para grupos esenciales, tales como fosfato y nitrato: Arsenato, Borato, Bromato, Selenato. (Kabata y Pendias, 1986).

La tolerancia a los metales pesados proviene de varios procesos metabólicos:

- 1) Absorción selectiva de iones.
- 2) Decremento en la permeabilidad de membranas.
- 3) Inmovilización de iones en la raíz, follaje y semillas.
- 4) Eliminación de iones dentro del metabolismo por depositación (almacenamiento) en forma fijado y/o formas insolubles en varios órganos y organelos
- 5) Alteración en patrones metabólicos: incremento del sistema enzimático que esta inhibido, o incremento de metabolito antagónicos o reducido acceso por vía metabólica.
- 6) Adaptación a la toxicidad metálica, por restitución fisiológica de un metal en una enzima.
- 7) Liberación de iones dentro de las plantas por incremento de follaje, muda de hojas, excreción desde la raíz. (Kabata y Pendias, 1986).

**CONCENTRACIONES TOXICAS APROXIMADAS DE
ELEMENTOS TRAZA EN TEJIDOS DE HOJA MADURA
(GENERALIZADAS PARA VARIAS ESPECIES).**

ELEMENTO	NIVEL EXCESIVO O TOXICO (PPM)
Ag	5 - 10
As	5 - 10
B	5 - 200
Ba	500
Be	10 - 50
Cd	5 - 30
Co	15 - 50
Cr	5 - 30
Cu	20 - 100
F	50 - 500
Hg	1 - 3
Li	5 - 50
Mn	300 - 500
Mo	10 - 50
Nr	10 - 100
Pb	30 - 300
Se	5 - 30
Sn	60
Sb	150
Tl	50 - 200
V	5 - 10
Zn	100 - 400
Zr	15

CUADRO 38. (KABATA Y FENOLIAS, 1986).

**EFFECTOS GENERALES DE TOXICIDAD DE
ELEMENTOS TRAZA EN CULTIVOS COMUNES**

ELEMENTO	SINTOMAS	CULTIVOS SENSIBLES
Al	IMPIDE EL DESARROLLO GENERAL, HOJAS VERDE OSCURO, SE TORNA PURPURA EL RESTO DE LA PLANTA, MUERE EL APICE DE LA HOJA Y CORALIMADO Y PARO DEL SISTEMA RADICULAR.	CEREALES
As	MANCHAS NECROTICAS DE UN ROJO OSCURO EN HOJAS VIEJAS, AMARILLAMIENTO U OSCURECIMIENTO DE RAICES, CULTIVO DECAIDO	-----
B	CLOROSIS EN EL MARGEN O APICE DE LA HOJA, OSCURECIMIENTO DE PARTES DE LA HOJA, DECAE EL CRECIMIENTO DE ESTAS PARTES O PUNTOS, Y MARCHITAMIENTO O MUERTE DE HOJAS AVEJENTADAS.	CEREALES, PAPA, TOMATE, PEPINO, GIRASOL, MOSTAZA.
Cd	MARGEN DE LAS HOJAS OSCURO, CLOROSIS, VENAS Y PECILOS ROJIZOS, HOJAS ENROVADAS, RAICES OSCURAS Y CORTAS.	LEGUMINOSAS (FRIJOL, SOYA), ESPINACA, RABANO, ZANAHORIA Y AVEHA.
Co	CLOROSIS INVERNAL EN HOJAS NUEVAS, SEGUIDA POR CLOROSIS INDUCIDA POR Fe Y MARGENES Y APICES DE LA HOJA BLANCOS, PARO EN EL APICE DE LA RAIZ.	-----
Cr	CLOROSIS DE HOJAS NUEVAS, CRECIMIENTO DE LA RAIZ AFECTADA.	-----
Cu	HOJAS VERDE OSCURO, SEGUIDO POR CLOROSIS INDUCIDA POR Fe, CULTIVO DENSO, PLANTAS CORTAS O RAICES QUE DAN APARIENCIA A UN ALAMBRE DE PUAS, CULTIVO DECAIDO.	CEREALES Y LEGUMINOSAS, ESPINACAS, SEMILLERO DE CITRICOS Y GLADIOLA.
F	NECROSIS EN MARGEN Y APICE DE LAS HOJAS Y PUNTOS CLOROTICOS ROJO-OSCUROS EN LAS HOJAS.	GLADIOLA, VID, FRUTALES Y PINOS.

CUADRO 31. (KABATA Y PEÑOLAS, 1986).

EFECTOS GENERALES DE TOXICIDAD DE ELEMENTOS TRAZA EN CULTIVOS COMUNES		
ELEMENTO	SINTOMAS	CULTIVOS SENSIBLES
Fe	FOLLAJE VERDE-OSCURO, LIMITADO CRECIMIENTO DE PARTE AEREA Y RAIZ, HOJAS DE CAFE OSCURO A - PURPURA EN ALGUNAS PLANTAS.	ARROZ Y TABACO
Hg	IMPEDIMENTO SEVERO EN EL DESARROLLO DE SEMILLEROS Y RAICES, CLOROSIS DE LA HOJA Y TOSTADO DE PUNTOS DE LA HOJA.	REMOLACHA AZUCARERA, MAIZ Y ROSAL.
Mn	LESIONES DE CLOROSIS Y NECROSIS EN HOJAS VIEJAS, MANCHAS NECROTICAS CAFE-NEGRUSCAS O ROJAS, ACUMULACION DE PARTICULAS DE MnO ₂ EN LAS CELULAS EPIDERMIALES, SECADO DEL APICE DE LAS HOJAS Y RAIZ CORTA.	CEREALES, LEGUMINOSAS, PAPA Y REPOLLO.
Mo	HOJAS AMARILLENTAS A CAFE OSCURAS, DISMINUYE EL CRECIMIENTO RADICULAR, CULTIVO DECAIDO.	CEREALES
Ni	CLOROSIS INTERVENAL EN HOJAS JOVENES, HOJAS VERDE GRISACEO Y RAICES CAFES Y CORTAS.	CEREALES
Pb	HOJAS VERDE-OSCURO, MARCHITAMIENTO EN HOJAS VIEJAS, POCO FOLLAJE, RAICES CAFES Y CORTAS.	-----
Rb	HOJAS VERDE-OSCURO, POCO FOLLAJE, INCREMENTA LA CANTIDAD DE BROTES.	-----
Se	CLOROSIS INTERVENAL O MANCHAS NEGRAS QUE CONTIENEN ALREDEDOR DE 4 ppm DE Se Y BLANQUEADO O AMARILLADO TOTAL DE HOJAS JOVENES A ALTO CONTENIDO DE Se, MANCHAS ROSADAS EN LA RAIZ.	CEREALES Y ESPINACAS.
Zn	APICES DE LAS HOJAS ABROTICOS O NECROTICOS, CLOROSIS INTERVENAL EN HOJAS JOVENES, CRECIMIENTO RETARDADO DE TODA LA PLANTA Y RAIZ DAÑADA QUE SE ASEMEJA ALAMBRE DE PUAS.	CEREALES Y ESPINACAS.

CUADRO 31. (KABATA Y PENDIAS, 1986).

METALES PESADOS EN ANIMALES DE INTERES ZOOTECNICO

Aunque en los tejidos animales se encuentran la mayoría de los elementos traza, se cree que la presencia de muchos de ellos es debido a que son constituyentes de la dieta que se le suministra al animal, ya que hay forrajes que gracias a que fueron obtenidos de un lugar contaminado o que fueron regados con aguas negras, contienen gran cantidad de estos elementos. (McDonald y col., 1986).

ELEMENTOS TRAZA ESENCIALES Y SU CONCENTRACION APROXIMADA EN EL ORGANISMO	
ELEMENTO	mg/ Kg.
Fe	20 - 80
Zn	10 - 50
Cu	1 - 5
Mn	1 - 4
Se	1 - 2
I	0.3 - 0.6
Na	0.2 - 0.5
Co	0.02 - 0.1

CUADRO 12. (McDONALD, 1986).

A muchos de los elementos traza esenciales se les puede clasificar también como tóxicos, ya que si los animales los reciben en exceso resultan perjudiciales e incluso fatales. Esto es aplicable sobre todo al cobre, selenio, molibdeno y cromo. El organismo animal es incapaz de excretar el cobre eficientemente, por lo que es un veneno acumulativo y un pequeño exceso sobre las necesidades diarias del animal, produce al cabo de cierto tiempo síntomas tóxicos.

SINTOMAS DE TOXICIDAD Y RANGOS TOXICOS DE LOS ELEMENTOS TRAZA (EN ANIMALES)

Fe Las necesidades del animal adulto son normalmente bajas, ya que únicamente un 10% del hierro escapa al ciclo de destrucción y resíntesis de la hemoglobina.

Un exceso de hierro en la dieta puede provocar trastornos alimenticios y se sabe que inhibe la utilización del fósforo.

Cu Si a los animales se les suministra un exceso de sales de cobre, aparecen efectos tóxicos. La ingestión continuada de cantidades de cobre superiores requeridas por el animal da lugar a su acumulación en los tejidos, sobre todo en el hígado. La tolerancia para el cobre varía mucho de unas especies a otras. Los cerdos son muy tolerantes al igual que el ganado vacuno. En cambio las ovejas son especialmente sensibles y se han dado casos

de envenenamiento crónico en las ovejas estabuladas alimentadas con dietas de concentrados que contenían 40 mg/Kg de cobre. En áreas donde el contenido en cobre de la materia seca de la hierba es de 10-20 mg/Kg, con niveles bajos de molibdeno, se han registrado casos de envenenamiento. Es posible que exista una variación genética en la susceptibilidad de un animal al envenenamiento con cobre.

Co Un exceso de cobalto puede ser tóxico para el animal, pero existe un amplio margen entre los requerimientos nutritivos del animal y la concentración tóxica. En las condiciones normales de cría es muy difícil la intoxicación con cobalto. A diferencia del cobre, el cobalto apenas es retenido por los tejidos y el exceso se excreta con rapidez. El nivel tóxico de cobalto para el ganado vacuno es de 1 mg. diario por kilo de peso. Las ovejas son menos sensibles y se ha demostrado que pueden tolerar niveles de hasta 3.5 mg/Kg.

I El nivel tóxico del yodo en la dieta para terneros de 80-112 kg. de peso es de 50 mg/kg, aunque algunos de los animales utilizados en los experimentos se han visto afectados por niveles más bajos. Los síntomas de toxicidad se caracterizan por una menor ganancia de peso y una disminución de la ingestión. En experiencias realizadas en gallinas reproductoras consumiendo dietas de 312-5000 mg. de yodo/kg mg., la producción de nuevos disminuyó durante la primera semana con el nivel

bajo y se interrumpió con el nivel más alto. La fertilidad de los huevos no se vió afectada pero se observaron muertes embrionarias precoces, disminuyó la incubabilidad y se retrasó la eclosión.

Los cerdos parecen ser más tolerantes al exceso de yodo y se considera que el nivel tóxico se encuentra entre los 400 y 800 mg/kg.

Mn Entre la dosis tóxica de manganeso y su nivel normal en los alimentos existe un amplio margen de seguridad hasta tal punto que las gallinas que han recibido dietas con niveles tan altos como 1 g/kg de Mn, no han manifestado ningún síntoma de toxicidad. Los cerdos son menos tolerantes, habiéndose observado un retraso del crecimiento y disminución del apetito al consumir dietas con 0.5g/kg Mn.

Zn La mayoría de los animales tienen una gran tolerancia para el zinc; no obstante, se conocen algunos casos de intoxicación. Una cantidad excesiva de zinc en la dieta disminuye el consumo de alimentos y puede ocasionar deficiencias de cobre.

Mo La toxicidad del molibdeno tiene relación con la enfermedad conocida como "teart" en la que la diarrea y la pérdida de peso son los síntomas dominantes. El ganado vacuno es susceptible a la molibdenosis sobre todo las vacas lecheras y los animales jóvenes. Las ovejas se ven menos afectada y los caballos no

sufren molibdenosis cuando consumen pasto contaminado.

8a La enfermedad del alcali o "blind staggers" es una forma crónica de envenenamiento por el selenio que afecta el ganado equino, vacuno y ovino en las áreas seleníferas de U.S.A. Sus síntomas son atontamiento, rigidez de las articulaciones, pérdida del pelo en la crin y en la cola y deformidades en las pezuñas. El efecto tóxico del selenio disminuye cuando se suministran alimentos con alto contenido de proteína. Los compuestos de arsénico administrados en cantidades traza también tienen una acción protectora.

F El flúor es un elemento muy tóxico y cuando el contenido de la dieta sobrepasa los 20 mg/kg de m.s. se produce un estado de fluorosis en el que los dientes se agujeran y desgastan hasta dejar al descubierto la pulpa. El apetito disminuye con el siguiente retraso del crecimiento y se presentan anomalías en los huesos y articulaciones. En algunas zonas del Norte de Africa se ha observado una fluorosis crónica en el ganado vacuno, ovino y equino, conocida con el nombre local de "darmous" que es causada por la contaminación del agua y los pastos con polvo de fosfato de roca conteniendo flúor.

Cr El cromo es un elemento particularmente tóxico y existe un amplio margen de seguridad entre las cantidades normalmente ingeridas y aquellas que pueden producir un efecto venenoso.

Va Cuando se administraron dietas con 30 mg/kg de m.s. a pollos en crecimiento, el crecimiento se vio disminuido y a 200 mg/kg de m.s. la tasa de mortalidad fue alta. (Mc Donald, 1986).

PLOMO (Pb)

El plomo es tóxico para las plantas y animales incluyendo al hombre; con el riesgo de la bioacumulación, representa un peligro. El plomo se introduce a los cuerpos naturales de agua vía atmosférica y a través de descargas domésticas. Penetra en las plantas por las raíces cuando se encuentra en el suelo y en las hojas cuando se haya en la atmósfera.

Distribución.

El plomo se encuentra en forma natural en la corteza terrestre de un modo relativamente abundante en un promedio de 16 mg/kg. Fue uno de los primeros metales extraídos por el hombre, a partir de la galena (PbS), la cerujita (PbCO₃) y la anglesita (PbSO₄).

La producción mundial minera es aproximadamente de 3,300 tons/año; en América Latina se produce el 14% del total, siendo los más importantes productores Perú (22,600 tons/año) y México (182,261 tons/año). (Galvao y German, 1989). Cuadro 33.

El plomo bajo las formas de diversos compuestos, es usado en numerosos tipos de industrias y actividades, cuya magnitud exacta es desconocida en América Latina y Caribe. Los más importantes son las industrias de baterías, pigmentos para pinturas, alfarería, cables y productos químicos; además se encuentra el plomo en depósitos de chatarra, gasolina (se usa como aditivo en forma de tetraetilo y tetrametilo de plomo), establecimientos petroquímicos, efluentes de minas, actividades de incineración, imprentas (fundición de linotipias, etc.), manufactura de anilinas (Galvao y Corey, 1989).

PRODUCCION DE ALGUNOS METALES EN LATINOAMERICA, 1983 (1)

(TONS METRICAS/ AÑO).

PAIS	ARSENICO	CADMIO	CROMO	MANGANESEO	MERCURIO	PLOMO (2)	PLOMO (3)	PLOMO (4)
ARGENTINA		19	169	30 000		32 000	16 000	14 000
BOLIVIA	107	143		88		11 838		
BRASIL		189	829 900	2 100 100		18 000	20 581	28 939
CHILE				26 050		1 679		
COLOMBIA				20 000		390		
CUBA			32 000					
ECUADOR	9.4							
GUATEMALA						100		
HONDURAS	161							
JAMICA								1 000
MEXICO	4 557	1 983		483 004	221	104 261	162 461	35 000
PERU	1 110	1 081				212 600	67 734	
REPUBLICA DOMINICANA					1.6			
TRINIDAD Y TOBAGO								2 000
TOTAL MUNDIAL	25 276	17 244	8 885 000	22 433 000	6 498	3 324 000	3 204 000	2 025 000
TOTAL LATINO- AMERICA Y EL CARIBE.	5 774	3 579	861 169	2 659 142	222.6	400 158	266 776	80 939
% LATINOAME- RICA Y CARIBE SOBRE TOTAL MUNDIAL	23	21	11	12	3	14	8	4

(1) FUENTE: MINERALS YEARBOOK, U.S. DEPT. OF THE INTERIOR, WASHINGTON, 1986.

(2) PLOMO DE MINERIA.

(3) PLOMO DE REFINACION PRIMARIA.

(4) PLOMO DE REFINACION SECUNDARIA.

Agua.

En aguas de áreas no contaminadas presenta naturalmente concentraciones de plomo de 1 ug/l y alrededor de 8 ug/l en los rios.

El agua, al igual que el aire, se transforma en una fuente de contaminación para la flora, fauna y para el hombre, en medida que sea contaminada para las actividades antropogénicas. En las regiones en donde hay contaminación, estas concentraciones son muy variables incluso se pueden elevar mucho y así se han encontrado niveles de hasta 100 ug/l. (Galvao y Corey, 1989).

Aire.

La presencia del plomo en el aire adquiere interés por la facilidad con que puede penetrar por la vía respiratoria y ser absorbido por los organismos. (Figura 6.)

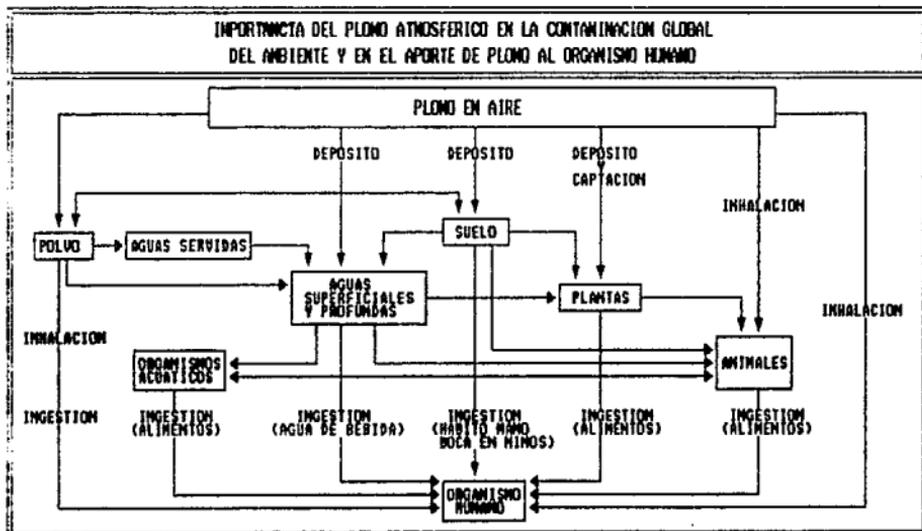


FIGURA 6. (GALVAO Y COREY, 1989).

Las concentraciones mínimas de plomo en aire encontradas son del orden de 0.1 mg/m^3 . En las ciudades con actividad industrial y vehicular importantes, los valores fluctúan entre 1 y 10 mg/m^3 . Por último, en zonas vecinas a ruidiciones el aire puede llegar a valores de $100 \text{ mg de plomo/m}^3$.

Función Biológica y Metabolismo del Plomo (Pb).

El ión libre y los carbonatos de plomo (II) así como el óxido y el sulfuro de plomo (IV) representan más del 90% de plomo disuelto. Como de menor importancia se puede mencionar el sulrato y el monoclóruo de plomo (II). Su comportamiento químico se parece más a los metales divalentes pertenecientes a las tierras alcalinas (grupo II A) que a los elementos de su propio grupo (IV A) de la tabla periódica. Sin embargo, el plomo difiere de los metales del grupo (II A) en su solubilidad de las sales como los nitróxicos, los sulratos, los nitratos y los fosfatos. (Torres, 1992).

Efecto del Plomo (Pb) en el suelo.

En zonas alejadas de la actividad humana, la concentración media de plomo en el suelo es semejante a la concentración natural en la corteza o en las rocas, de 5 a 25 mg/kg . En áreas contaminadas se pueden encontrar en el suelo concentraciones de hasta 8 g/kg . El suelo es contaminado principalmente por depósitos de partículas del aire y por agua contaminada por actividades industriales. (Galvaó y Corey, 1989).

Debido a la alta concentración del plomo es probable enriquecer los suelos con este metal, especialmente en la superficie del horizonte superficial de diferentes suelos de varios países muestran una media de 32 ppm.

La contaminación de suelo con plomo, se considera un proceso irreversible y por tanto un proceso acumulativo en superficie de suelos aunque la entrada sea baja. (García, 1989).

El plomo es el menos móvil entre todos los metales por su relativa baja concentración en solución natural de suelos, se ha considerado que la lixiviación del metal puede suceder como complejos quelatados solubles en materia orgánica. La presencia del plomo en la parte superficial del suelo se debe a las grandes concentraciones de plomo en las superficies de horizontes de suelos orgánicos no cultivados. (García, 1989).

El uso de plaguicidas con contenido de plomo (Arsenato de Plomo, por ejemplo), se debe considerar como elemento adicional de contaminación de suelos, especialmente agrícolas. (Galvao y Corey, 1989).

En Birmingham U.K. Bryce y Smith (1971), en suelos agrícolas demostraron que a un metro de la carretera se encontraba una concentración de 150 ppm; a 25 metros 8 ppm y a 50 metros 1/1 ppm.

Broyer y col. (1972), ejemplifica que la presencia de efectos de altos contenidos de plomo en el suelo pueden producir toxicidad en animales y plantas.

Jones y col. (1973), determinaron el contenido total de plomo en 16 suelos de Inglaterra y estos variaron de 14 a 165 ppm.

Mascareño (1974), determinó la concentración de plomo en suelos del Distrito de Riego 03 de Tulancingo, Hidalgo, México, y estos oscilaban en un promedio de 1.00 a 3.63 ppm.

Lara (1980), reportó una concentración de plomo promedio de 3.08 ppm en suelos agrícolas.

Steinnes (1989), en Noruega determinó la concentración de plomo en suelos y fue de 16 mg/kg y esto afectaba a la microflora y fauna del suelo.

García (1989), reporta una concentración de 0.76 ppm de plomo en suelos del Estado de Hidalgo, México (Distrito de Desarrollo Rural 065).

Torres (1992), en suelos del Estado de Morelos reportó una concentración en suelos de 3.46 ppm.

Efectos del plomo en los cultivos.

Entre los efectos del plomo se conoce que reduce el crecimiento de las raíces, en concentraciones externas inhibe la proliferación celular. Las hojas tienen un color verde-oscuro, marchitamiento en hojas viejas, poco follaje. Es absorbido en grandes cantidades por los cultivos, concentrándose en las membranas del núcleo durante la mitosis y reduce la división celular de los cultivos; también es altamente tóxico a muchas plantas de importancia económica y provoca severos impactos al

ecosistema natural. (Kabata y Pendias, 1986). (Torres, 1992).

El plomo causa una adelantada senectud en la planta recién nacida. A concentraciones de plomo de 100 $\mu\text{g}/\text{ml}$, la respiración en hojas se incrementó. (Lee, 1972).

Efectos sobre cloroplastos aislados, han permitido observar que el plomo inhibe el transporte de electrones en la fotosíntesis, asociada con el fotosistema II, pero no tiene efecto sobre el transporte de electrones que van al fotosistema I. En cloroplastos aislados de malz tiene dos efectos simultáneos:

- 1) inhibición de p700 a nivel de fotooxidación y
- 2) La alteración en la reducción cinética de p/uu.

Lo que trae como consecuencia una disminución en la velocidad de la fotofosforilación y por lo tanto en la producción de carbohidratos fotosintéticos. (Wong y Grovenajee, 1976).

Sarry y col. (1973), determinaron el contenido de plomo en 70 muestras de frutos (tomate, naranja, manzana, etc.) oscilan entre 0.1 y 3.90 ppm; no hace referencia a los límites máximos permisibles de plomo en estos cultivos.

Hoover y col. (1969), determinaron en pastos 1.16 ppm y en manzano 6.39 ppm; sin comentar los efectos en estos cultivos.

Bryce y Smith en 1971, refiriéndose al contenido de plomo en pastos de Birmingham, encontraron que es mayor el contenido mientras más cerca se encuentren en las carreteras y reportó los siguientes resultados: A un metro de la carretera contenían 975 ppm, a 25m se detectaron 577 ppm y a 50m de 160 a 171 ppm.

Broyer (1972), observó una disminución en el peso seco de raíz y ápices de frijol, cebada y jitomate tratadas con 50 μg Pb/l

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

encontrando una mayor concentración en la raíz que en los ápices de la planta.

La avena es una de las especies menos sensibles a niveles de plomo, al ser tratada con contenidos de 10 a 14 microgramos de $Pb(NO_3)_2$, mostró disminución del 34% en peso fresco, 23% en peso seco y 26% en contenido de clorofila; Fuessell y Molinar (1973), también estudiando la sensibilidad al plomo de diferentes especies comestibles, concluyeron la siguiente secuencia decreciente: chíle, betabel, trigo, avena y chícharo.

El trébol después de 10 días de ser tratado con 10 microgramos de $PbCl_2$, se redujo en peso y longitud en todas las plantas en un 34%, en raíces en 70% y la superficie de la hoja en un 26% y a más del doble a concentraciones de 10.3 microgramos de $PbCl_2$. (Maratichiska, 1976).

En arroz, las raíces en crecimiento fueron inhibidas por $2 \times 10^{-2}M$ y la germinación por $10^{-1}M$ de Acetato de Plomo. (Mukherj y Mastri, 1976). La utilización del Acetato de Plomo ($6 \times 10^{-2} M$) en medio líquido afectó la germinación de arroz aproximadamente en un 50% disminuyendo la actividad de proteasa y alfa-amilasa en endospermos después de cuatro días (Mukner) y Mastri, 1976). Además la actividad del RNA fue reducida al 17% pero el DNA fue estimulado en un 12%.

En maíz cultivado en suelo areno-arcilloso tratado con cloruro de plomo, a concentraciones de 125-250 microgramos Pb/gr de peso seco de suelo, después de 20-30 días de tratamiento, las concentraciones de boro, manganeso, cobre y zinc en plantas, fueron reducidas en un 20-35% (Walker, 1977).

En plantas de chicharo recién nacidas, tratadas con plomo, en medio nutritivo, fué inhibida la absorción de iones de hierro, manganeso y zinc. (Koeppel, 1977); él considera que la inhibición es de naturaleza física al bloquear la entrada con ligamentos iónicos o con iones cargados.

Efecto del Plomo en los seres humanos.

Este ha sido uno de los metales considerado desde la antigüedad como nocivo y pestilente, incluso se piensa que fue una de las causas de la caída del Imperio Romano. (Valle, 1986).

Sus principales efectos tóxicos fueron caracterizados desde hace unos 2000 años en la cultura Greco-romana, llamándose saturnismo o plumbismo a la enfermedad causada por la ingestión de este metal. (Valle, 1986).

Una de las rutas de ingreso de plomo en el humano es a través de la ingestión de alimentos contaminados. Las frutas, legumbres y pasturas cultivadas en zonas expuestas a descargas de aguas negras y fundiciones, se pueden contaminar en forma significativa. Los alimentos se pueden contaminar durante su transporte, procesamiento y preparación casera. Se ha encontrado plomo en leche materna y en la de vaca fresca, envasada y evaporada. Los alimentos enlatados tienen un contenido de plomo de 8 a 10 veces mayor que los correspondientes no enlatados. Un factor importante en el contenido de plomo en diversos productos en conserva parece ser la soldadura de plomo que se utiliza en latas. Otra fuente de contaminación de los alimentos es la utilización de utensilios de barro vidriado cocido a baja temperatura. (Vega, 1985).

En algunos países, las pinturas a base de plomo de las paredes de

las casas pueden ser una fuente de ingesta excesiva de plomo en los niños pequeños. (Galvao y Corey, 1989).

El plomo absorbido se distribuye en todo el organismo y se acumula en ciertos compartimientos. En la sangre el plomo se disuelve en el plasma y se une a la hemoglobina del glóbulo rojo (eritrocito). Debido a que el plomo se distribuye rápidamente hacia otros tejidos, el aumento en la concentración del plomo sanguíneo indica una exposición reciente; por tanto, en los casos de exposiciones intermitentes y variables el dato sobre la concentración de plomo en sangre tiene un uso limitado. El plomo se acumula en los tejidos del organismo en forma de quelatos, principalmente en tejido óseo (huesos y dientes). Aproximadamente 95% del plomo corporal total se encuentra en los huesos. En los niños el sistema esquelético crece de una manera exponencial; en la primera infancia el esqueleto aumenta cuarenta veces su masa original y durante este período tiene una mayor capacidad para acumular plomo.

Los síntomas y signos presentados por intoxicación por Pb se presentan en los Cuadros 34, 35, 36 y 37.

**EXPOSICION AGUDA Y PROLONGADA AL PLOMO
EN LA POBLACION GENERAL**

COMPOSICION QUIMICA	CONTAMINACION	SINTOMAS Y SIGNOS DE LA INTOXICACION
Pb INORGANICO	ALIMENTOS	a) POBLACION ADULTA: PROBLEMAS CARDIOVASCULARES
Pb ORGANICO TETRAETILO DE Pb	AGUA	b) POBLACION INFANTIL: IRRITACION DISFUNCION MOTRIZ DISMINUCION DEL COEFICIENTE INTELECTUAL

CUADRO 24. (VEGA, 1985).

EXPOSICION PROLONGADA AL PLOMO

COMPOSICION QUIMICA	CONTAMINACION	SINTOMAS Y SIGNOS DE LA INTOXICACION
Pb ORGANICO	AIRE	<u>ENCEFALOPATIA SATURNINA:</u> IRRITABILIDAD CEFALAGIAS TREMOR MUSCULAR CONVULSIONES INCOORDINACION MOTORA
	ALIMENTOS	<u>NEUROTOXICIDAD PERIFERICA:</u> PARALISIS DE MUSCULOS EXTENSORES HIPERESTESIAS ANALGESIA <u>INSUFICIENCIA RENAL</u> <u>TRACTO GASTROINTESTINAL:</u> COLICOS

CUADRO 35. (GALVAD, 1989).

**RELACIONES ENTRE CONCENTRACIONES DE PLOMO
Y EFECTOS TOXICOS EN EL ADULTO**

CONCENTRACIONES SINTOMAS DE PLOMO CONVULSIONES A LAS QUE SE DEBEN LOS SIGUIENTES EFECTOS (µg/100 ml)	EFECTOS EN LA BIOSIN- TESTIS DEL GRUPO MENÚ	EFECTOS NEUROLÓGICOS	EFECTOS RENALES	EFECTOS REPRODUCTIVOS	EFECTOS GASTRO- INTESTINALES
100 - 120		ENCEFALOPATIA			
90	ANEMIA				
40	AUMENTO DEL ACIDO DELTA AMFIBILEMICO Y DE LAS COPROPORFINAS EN ORINA		NEFROPATIA	ALTERACIONES ENTERICAS	SINTOMAS GASTRO- INTESTINALES (COLICOS)
30		DISMINUCION EN LA CONDUCCION NERVIOSA PERI- FERICA			
15 - 30	ELEVACION DE LAS PRO- PORCIONAS ENTROCTO- YARIAS.				
10	INHIBICION DE LA ENZIMA DELTA-ALAD				

CUADRO 36. (VEGA, 1985).

**RELACIONES ENTRE CONCENTRACIONES DE PLOMO
Y EFECTOS TOXICOS EN EL NIÑO**

CONCENTRACIONES SINTOMAS DE PLOMO CONVULSIONES A LAS QUE SE DEBEN LOS SIGUIENTES EFECTOS (µg/100 ml)	EFECTOS EN LA BIOSIN- TESTIS DEL GRUPO MENÚ	EFECTOS NEUROLÓGICOS	EFECTOS RENALES	EFECTOS GASTRO- INTESTINALES	OTROS EFECTOS
80 - 100		ENCEFALOPATIA			
70	ANEMIA				
40	AUMENTO DEL ACIDO DELTA AMFIBILEMICO Y DE LAS COPROPORFINAS EN ORINA, DISMINUCION DE LA HEMOGLOBINA.	DEFICIENCIA EN EL APRENDIZAJE	NEFROPATIA (AMFIBILE- MICA)	SINTOMAS GASTRO- INTESTINALES (COLICOS)	
30		DISMINUCION EN LA CONDUCCION NERVIOSA PERI- FERICA			INTERFERENCIA CON EL METABO- LISMO DE LA DITAMINA 2
15 - 20	ELEVACION DE LAS PRO- PORCIONAS ENTROCTO- YARIAS.	DEFICION DE ESTIMULOS ELECTRI- COS EN EL SISTEMA NERVO- CENTRAL			
10	INHIBICION DE LA ENZIMA DELTA-ALAD				INHIBICION DE LA PROLIFERACION DE LAS CELULAS

CUADRO 37. (VEGA, 1985).

CROMO (Cr)

El cromo es un metal que se encuentra en la naturaleza en varias combinaciones con otras sustancias. Está distribuido por toda la corteza terrestre, pero presenta una concentración mayor en las rocas básicas, de donde es extraído para su utilización en diversas actividades industriales, principalmente en metalúrgica, química y en producción de pigmentos. Puede presentarse en la forma bivalente con valencia +3 o +6. De estas la más importante en cuanto a sus efectos sobre la salud humana, son la trivalente (+3) y la hexavalente (+6). La forma trivalente es una forma esencial para el metabolismo humano, el cromo hexavalente es tóxico. (Galvao y Corey, 1987).

La producción mundial de cromo es de 8 085 000 ton/año. El 1% de esta cantidad es producida en América Latina, principalmente por Brasil (829 000 ton/año) y Cuba (32 000 ton/año), que participan activamente en la extracción y producción del cromo, especialmente para la industria del acero, de materiales refractarios y de producción de vidrio y cemento. Ver Cuadro 33. La utilización industrial del cromo se hace principalmente con el objetivo de obtener protección por revestimiento de los metales, de fines estéticos y de decoración, de cambios de color en varios tipos de materiales; además, es un importante agente en los curtidos de pieles.

En las actividades mineras, principalmente la extracción de la Cromita ($FeOCr_2O_3$) son la fuente más evidente y que puede causar las concentraciones más altas de polvo de cromo. La exposición no solo es importante para los mineros, sino también para otros individuos no mineros que trabajen en las mismas instalaciones o cercanos a estas.

Las industrias que presentan mayor riesgo por la presencia del cromo, según su rama o tipo, son las de:

- Cemento
- Colorantes
- Construcción
- Curtidurías
- Galvanoplastia
- Material fotográfico
- Material refractario
- metalurgia (producción de acero y otras aleaciones metálicas)
- Pinturas, principalmente las anticorrosivas.

En el aire no contaminado el cromo se encuentra normalmente en concentraciones entre 0.01 - 0.02 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, en el agua son bajas por su baja solubilidad, varían de 0.1 a 5 $\mu\text{g}/\text{L}$. En el océano las concentraciones son inferiores a 5 $\mu\text{g}/\text{L}$. Las actividades y efluentes industriales son los principales contaminantes de las aguas, llegando a elevar las concentraciones de cromo por sobre 25 $\mu\text{g}/\text{L}$. (Galvao y Corey, 1987).

En un estudio realizado por la SARH en pozos de Cuautitlán y Teoloyucan, se encontraron niveles de hasta 1 ppm. (SEDUE, 1985).

Función Biológica y Metabolismo del Cromo (Cr)

No fué hasta 1959 cuando se descubrió la función biológica esencial del cromo trivalente. Las investigaciones se centraban en las propiedades tóxicas de los compuestos de cromo hexavalente. La forma trivalente es la única que tiene actividad biológica y se encuentra en los alimentos, ya que en la materia viva no se produce la oxidación de Cr^{3+} a Cr^{6+} . Por esta razón en los estudios sobre la función del cromo en la nutrición solo hay que tener en cuenta la forma trivalente.

No es fácil evaluar esa función del cromo en el hombre por tres razones. el pequeño número de casos estudiados, la complejidad de los métodos de análisis y la insuficiencia de los conocimientos sobre la naturaleza química de los compuestos de cromo presentes en los alimentos. (Cena, 1984).

Aunque materiales de desecho, muchas veces suministran una apreciable cantidad de nutrientes esenciales, es probable que se encuentren niveles tóxicos de ciertos elementos, especialmente metales pesados y resultar un peligro a largo en el medio ambiente. (Bosaelit, 1975).

La dosis letal del cromo soluble, como el cromato de potasio, el dicromato de potasio o el ácido crómico, es de aproximadamente 5g. La concentración máxima permisible para el cromo determinada como óxido crómico es de 0.1 mg/m³. (Cena, 1984).

El cromo trivalente solo produce reacciones tóxicas a dosis muy altas. No se dispone de informes sobre la toxicidad del cromo trivalente administrado por vía oral. (O.M.S., 1978).

Efectos del Cromo en Suelos y Plantas

Las plantas comestibles contienen cromo en concentraciones de 20-30 microgramos por kilogramo de peso en fresco, es decir, varios cientos de veces inferiores a las que se encuentran en los organismos animales. las concentraciones son en general más altas en los tejidos de los animales salvajes que en el hombre, con excepción del tejido pulmonar humano en donde el cromo se acumula con la edad. En el recién nacido se encuentran concentraciones muy elevadas, pero disminuyen con rapidez en los primeros años de la vida. (Cena, 1964).

Los mecanismos involucrados en la absorción y transporte de cromo no está bien definido. Además, la clarificación puede dificultarse por la incertidumbre de las especies iónicas de cromo presentes en sistemas diferentes. En la adición de Cr (IV), éste parece ser reducido a Cr (III) durante el paso de soluciones de cultivo a hojas de la planta, pero el sitio de esta reducción no es conocido debido a las diferencias pequeñas en los estados fisiológicos de la planta. Esta reducción es más rápida en suelos ácidos que en suelos alcalinos, siendo de esta forma no disponible para la absorción por plantas.

La tolerancia a retener cromo por las raíces es común para todas las especies de plantas, también existen diferencias cuantitativas entre especies de plantas. Las plantas que tienden a acumular hierro parece ser que también acumulan cromo. (Cary, 1977).

Plantas de cosecha (cebada, maíz, coliflor, rábano, zanahoria, remolacha, lechuga, tomate, haba) cultivadas en soluciones de cultivo acumulan Cr (III) o Cr (IV) y retienen un 96% de los elementos en la raíces. Una gran proporción de cromo se encontraron en plantas suministradas con Cr (IV) que en las plantas a las que se suministró Cr (III). (Lanusti, 1979).

Las concentraciones naturales de cromo en plantas se han estimado entre 0.1 y 1 ppm y en los frutos de 25 familias botánicas se han presentado concentraciones entre 0.1 y 0.5 ppm. (Cena, 1984).

Otros datos indican que las concentraciones normales de cromo en alimentos y plantas para alimento son generalmente en el rango de 0.30 a 1.0 ppm. (Sing, 1976).

La forma hexavalente de cromo en suelos es de concierne particularidad porque ésta forma fué demostrada que es tóxica a bajas concentraciones para plantas y animales. El Cr (VI) en concentraciones tan bajas como 0.5 ppm en soluciones nutritivas y 5 ppm en suelo, reducen el tamaño de las plantulas de cultivo. (Bertielt, 1976).

En un estudio realizado en el Valle de Toluca, Estado de México, se encontraron concentraciones en hoja y raíz de 1.37 a 3.87 y 1.02 a 3.87 ppm respectivamente y en el suelo se encontraron a 0.08 a 1.59 ppm de cromo.

Las concentraciones de cromo en plantas altas son marcadamente incrementadas al aplicar cantidades de 320 ppm de cromo, las concentraciones encontradas de cromo en los cultivos retardados de malz con aplicaciones de 1 a 1,360 ppm de cromo son 5 ppm y a 9 ppm, esto sugiere que el cromo es tóxico para los cultivos de las plantas ya que resultan cultivos pequeños al aplicar altas concentraciones de cromo. (Mortuedt, 1975).

Así mismo, se han determinado valores en arbustos de encinos y otras especies de arboles, del orden de 0.2 a 0.6 ppm.

En la clasificación citológica de 54 elementos probados en protoplastos de Nicotiana tabacum, el cromo se consideró entre los elementos tóxicos. (Siegel, 1977).

El cromato es un tóxico más potente que en su forma catiónica divalente afectando los protoplastos e inhibiendo la germinación. Reduce la productividad, ocasiona deficiencia de hierro en algunos cultivos y se bioacumula en las hojas. (Siegel, 1977).

La química del cromo del suelo con referencia a la absorción por plantas parece ser dominado por la tendencia a formar mezclas inertes de óxidos de cromo y hierro. (Cary, 1977).

Hunter y Orella en 1953, indican que los efectos tóxicos del cromo se asocian con un contenido reducido de nitrógeno.

Algunos estudios en suelos indican que los valores más altos de cromo se han descrito en los suelos derivados de basalto y serpentina. (Cena, 1984).

En la Ex Unión Soviética se determinaron concentraciones de 50 y 110 ppm. de cromo en diferentes tipos de suelos, considerándose de 40 a 50 ppm como concentraciones normales. (Cena, 1984).

Los efectos tóxicos del cromo también se ven en los microorganismos del suelo. Es el caso de las bacterias Gram (-) son más afectadas que la bacterias Gram (+) por Cr (VI) ambas a 1 ppm.

La toxicidad de niveles bajos de Cr (VI) a bacterias Gram (-) en cultivos acuosos indican las transformaciones microbianas del suelo, como la nitrificación que puede ser afectada. (Kosar, 1982).

Algunas investigaciones indican que la absorción de cromatos por plantas de cebada fué estimulada por Ca^{2+} , pero se inhibe por SO_4^{2-} y otros aniones del IV. El mecanismo dual o absorción multitrásica, son responsables de la absorción de cromatos, la absorción no ha sido aún resuelta en investigaciones a la fecha. Aún cuando los SO_4^{2-} inhiben la absorción de cromato, puede al menos bajo condiciones de alto requerimiento nutritivo, ser transportado por la planta en presencia de este ion. La cantidad total de cromo es muy bajo comparado a los valores normales de sulfatos.

La razón para la restricción en el transporte del cromato no está establecido, es posible que sea indisponible para transporte debido a la localización espacial en un comportamiento específico subcelular en las células de las raíces (esto es las vacuolas) o la falta de un mecanismo específico para su transporte.

Efectos de Cromo en Seres Humanos.

La vía más expedita y facilitada de ingreso del cromo al organismo es la vía respiratoria. Aproximadamente el 50% del cromo inhalado se absorbe, dependiendo del tamaño de la partícula, de la solubilidad y de la forma química. Los compuestos hexavalentes son más rápidamente absorbidos en el pulmón que los trivalentes, aunque luego en la sangre se biotransforman en trivalentes. Se ha demostrado que la absorción por vía digestiva es ineficaz, ya que no se alcanza o más del 6% de lo ingerido.

El cromo absorbido pasa a la corriente sanguínea, en donde adquiere la forma trivalente y se distribuye por varios órganos, principalmente el sistema retículo endotelial (el hígado, el bazo y los huesos). Las concentraciones detectadas en los tejidos y el tiempo de permanencia en ellos dependen del tipo de compuesto que fue absorbido. Independientemente de todo ello, en el organismo solamente se depositará cromo en su forma trivalente.

El cromo de la sangre es rápidamente removido hacia los tejidos, lo que hace que las mediciones de cromo en sangre no sean útiles como indicadores de exposición.

Gran parte del cromo inhalado queda depositado en el pulmón. La concentración de cromo en el pulmón aumenta progresivamente desde la niñez, reflejando así este fenómeno. (Galvao y Corey, 1987).

Se ha descrito también el flujo transplacentario del cromo, el cual puede encontrarse en el feto en altas concentraciones; sin embargo, no existen evidencias de efectos adversos en él. (Galvao y Corey, 1987).

La presencia de bajas concentraciones de cromo trivalente (óxido crómico o ión crómico), parece tener importancia para el metabolismo humano, ya que éstos elementos tendrían un papel en los factores de tolerancia a la glucosa. Su ausencia completa representa un riesgo para la salud humana.

El Cr (III) parece tener un papel importante en numerosas reacciones enzimáticas relacionadas con la actividad tromboplástica y con la actividad beta-glucuronidasa.

Se requieren a diario de aproximadamente 1 ug de cromo absorbible (+3) para mantener normal el metabolismo de la glucosa y de los lípidos.

No se ha demostrado absorción significativa a través de la piel. (Galvao y Corey, 1987).

Los alimentos constituyen para el hombre la fuente ambiental de cromo natural más importante. Aportes superiores proporcionados por otros medios como el aire y agua. Habitualmente se debe a contaminación artificial correspondiendo a ellos preferentemente a cromo hexavalente.

La presencia de cromo en los alimentos es muy variable, con rangos entre 20 y 600 ug/kg. Presenta valores de 20-50 ug/kg en las verduras. 20 - 200 ug/kg en algunos alimentos marinos. Se estima que la ingestión diaria de cromo en condiciones normales puede variar de 5 a 500 ug, con un valor promedio de 100-300 ug.

Cantidades adicionales pueden ser causadas por la contaminación antropogénica del ambiente en general. (Galvao y Corey, 1987).

Además Cena (1984), nos dice que el hombre sólo absorbe 0.5% de una dosis administrada de compuestos simples de cromo trivalente. En estas condiciones, con una ingestión diaria de 60 mg por término medio, las reservas del cromo (5-10 mg) se agotarían en tres años. Así pues, como la disminución de esta con la edad es lenta, forzò a admitir que una parte del cromo alimentario debe absorberse en mucho mayor proporción. El conocimiento de la semivida biológica del cromo en el hombre facilitaría en gran manera la evaluación de las necesidades humanas. Estudios experimentales demuestran que la rata absorbe el 10-25% del cromo contenido en la levadura de cerveza.

Se han constatado concentraciones de hasta 390 ug de cromo por kg de tabaco, o también, de 1-4 ug/cigarillo, sin que se hayan hecho evaluaciones sobre la proporción que de este metal se absorbe por la vía respiratoria. (Galvao y Corey, 1987).

El cromo es irritante y destructivo para todas las células del organismo. En las muertes por envenenamiento agudo se encuentra Nefritis Hemorrágica (Dreisbach, 1978).

Las concentraciones sanguíneas registradas por diversos autores acusan grandes variaciones y tienden a disminuir a medida que se perfeccionan las técnicas de análisis. En el suero humano se han hallado concentraciones inferiores a 1 microgramo por litro, mediante técnicas de absorción atómica, las concentraciones de cromo en el pelo se sitúan alrededor de un valor mediano de 150

microgramos/kg. y las concentraciones en la orina varían probablemente entre 4 y 7 microgramos por litro. (O.M.S., 1978). La presencia de bajas concentraciones de las formas trivalentes y hexavalentes de cromo en el ambiente, principalmente de trabajo, es dañina para la salud, ya que causan problemas de carácter general, entre los que destacan el asma bronquial, el cáncer del pulmón y el daño renal, casi el 20% de los obreros que trabajan con cromo desarrollan dermatitis.

Diversos autores han estudiado la exposición al cromo en Alemania, Estados Unidos de América e Inglaterra y han encontrado una mayor incidencia de cáncer pulmonar en los trabajadores expuestos al metal, que la población en general después de una exposición de entre 15 y 27 años. Confirmando estos estudios la International Agency for Research on Cancer (IARC), hizo una evaluación de los datos existentes y concluyó que los productos derivados del cromo causan cáncer. (Galvao y Corey, 1987).

Otros efectos como la necrosis del tabique nasal y las lesiones alérgicas, también han sido estudiados y se han encontrado fuertes asociaciones entre exposición y efecto. Se estudió a 107 trabajadores expuestos y se identificó lesiones de laringe en 66% de ellos. Otro estudio evidenció una prevalencia del 29% de perforaciones del tabique nasal en trabajadores de galvanoplastia.

Los valores límites establecidos para el cromo en el ambiente general son los siguientes:

Aire urbano	50 ng/m ³
Agua de rios.....	10 ug/m ³
Agua de océanos	5 ug/m ³
Agua potable	0.05 mg/L (O.M.S.)
Suelo	125 mg/kg en promedio, aunque puede aumentar hasta 250 mg/kg. (No existe límite preciso).
Alimentos	La ingestión diaria no debe exceder de 0.03-0.1 mg/día. (Galvao y Corey, 1987).

Las concentraciones máximas de cromo permisible en el aire se deben observar constantemente. los polvos de vapores crómicos deben ser controlados. Las soluciones de cromatos no deben tener contacto con la piel.

CADMIO (Cd)

El Cadmio está distribuido en toda la corteza terrestre en una concentración de 0.15 a 0.2 p.p.m (Galvao y Corey, 1987). Se presenta generalmente asociado con minerales de zinc y plomo y pueden encontrarse trazas en el carbón y el petróleo (Vega 1985). En todo el mundo se producen hoy día alrededor de 17,244 toneladas, (21%) son producidas en América Latina, principalmente por México (1 983 ton) y Peru (1 081 ton) ver cuadro 53. (Galvao y Corey, 1987).

El Cadmio se encuentra en casi todos los organismos en pequeñas cantidades, aunque no se sabe si tiene importancia para la fisiología de los organismos vivos. La amplia utilización del cadmio en la industria, hace que sea uno de los mas frecuentes contaminantes del ambiente (Galvao y Corey, 1987).

Como el cadmio es altamente resistente a la corrosión, se utiliza en galvanoplastia, especialmente en las industrias de partes para automóviles y aviones, electrónica, equipo marítimo y maquinaria industrial (Vega, 1986) (Galvao y Corey, 1987).

Forma aleaciones que se funden fácilmente con cobre, níquel, oro plata, bismuto y aluminio que se usan para recubrir otros materiales, hacer electrodos para soldar etc. Se utiliza también como estabilizador de plásticos, en la elaboración de lámparas fluorescentes, semiconductores, fotoceldas y joyería. Diversos compuestos de cadmio se utilizan como fungicidas, insecticidas y nematocidas, en la industria fotográfica, para elaborar pigmentos de uso en vidrio, cerámica, textiles y papel. (Vega, 1986) (Pereira y Nefussi, 1986).



El conocimiento de sus efectos sobre la salud ha ganado terreno con el reconocimiento de la enfermedad Itai-itai (Ay-Ay), la cual recibió este nombre por los dolores óseos y musculares en los afectados. Esta fue descrita con ocasión de la contaminación de los alimentos por cadmio originada en una mina cercana a la ciudad de Ioyana, Japón (García, 1984) (Galvao y Corey, 1987).

Fuentes de contaminación en el ambiente.

Las fuentes de contaminación en el ambiente son habitualmente las actividades mineras e industriales. Otras fuentes importantes de contaminación son la incineración de materiales de residuos, la combustión de carbonatos fósiles y el uso de fertilizantes fosfatados (Vega, 1986) (Galvao y Corey, 1987).

AIRE

La forma química más importante en que el cadmio se presenta en el aire es como óxido de cadmio. En las ciudades en donde hay actividades industriales importantes, se han encontrado concentraciones de cadmio en el aire de 0.05 a 1.005 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (rurales). La presencia del cadmio en el aire adquiere interés cuando se piensa en los efectos de este contaminante para la salud humana. En áreas muy contaminadas un individuo puede llegar a inhalar hasta 3.5 μg de Cd al día (Vega, 1986).

AGUA

El agua en áreas no contaminadas presentan concentraciones muy bajas de Cd: 0.04-0.3 $\mu\text{g}/\text{L}$ en océanos y alrededor de 1 $\mu\text{g}/\text{L}$ en ríos. En las regiones en donde hay contaminación por Cd, estas concentraciones se pueden elevar mucho, así se han encontrado niveles de 0.001 hasta 0.0115 mg/L . La importancia de estas

concentraciones en el agua varía según la utilización que a ésta el hombre le dé, o sea, para consumo humano u otros usos (Galvao y Corey, 1987).

Efecto del Cadmio (Cd) en suelos.

En áreas no contaminadas el cadmio se encuentra en el suelo en alrededor de 1 mg/kg (1 ppm) (Galvao y Corey, 1987).

La solubilidad del cadmio está en función de pH del suelo, a valores de 7.5, no es fácilmente movible, por consiguiente la solubilidad de CaCO_3 y $\text{Cd}_3(\text{PO}_4)_2$, controlan su movilidad de suelos, pero la naturaleza de la superficie de absorción y las uniones orgánicas son también de importancia, (Aubert, 1980), por lo cual, es más móvil en suelos ácidos (pH 4.5-5.5) que en suelos alcalinos, siendo más bien inmóvil.

Se han realizado diversos estudios sobre la acumulación de Cadmio en suelos agrícolas basándose en el aumento del pH y capacidad de intercambio catiónico y partiendo del supuesto que en suelos calizos la adsorción del cadmio disminuye, encontrándose que esto no era efectivo para todos los suelos y plantas. Esto apoyado por las siguientes observaciones: Si la concentración en las aguas residuales es de 2.00 mg/L, asumiendo también una lámina de riego anual de 1.5 m considerando que los límites acumulativos para Estados Unidos es de 5, 10 y 20 kg/Ha. y para Inglaterra de 5 kg/Ha, para llegar a estos límites, en un suelo normal, recibiendo esta concentración de metal de aguas residuales y si el suelo tiene una capacidad de intercambio catiónico de 15 meq/100 gr de suelo, se requiere 67 años para ser un suelo contaminado, pero solamente 17 años, si ese suelo presenta una capacidad de intercambio catiónico menor a 5 meq/100 gr de suelo,

es decir, un suelo arenoso. Este valor coincide para ambos países, y más aún, para un suelo con pH mayor de 6.5. Sin embargo, si el suelo tiene un pH menor a 6.5, aún cuando presenta una capacidad de intercambio catiónico de 15 meq/100 gr de suelo (suelo franco o franco-arcilloso), también se requieren 17 años para ser contaminados, es decir se acelera el proceso si el suelo es ácido. Esta es una observación valiosa porque en 17 años se pierde un suelo agrícola que estaba trabajando muy bien (Cajuste, 1977).

Page (1974) mostro que siguiendo una aplicación de 168 ton. métricas de cieno de agua negra por un periodo de 12 años, mediante análisis de datos, practicamente todo el Cd permanecio a 15 cm de profundidad en un suelo ácido.

Efecto de Cd en cultivos.

Matt en 1972 investigó la absorción de cadmio añadido al suelo y su acumulación por las plantas, observando que la mayor acumulación se presentaba en suelos sin encalar (ácidos), un incremento en el pH de 5.9 a 7.2 disminuyó el nivel de cadmio en rábano, de ahí que el encalado inhiba la absorción de cadmio por las plantas.

Page y Coj en 1972, encontraron que la concentración de Cd en los tejidos vegetales indica que, el contenido de Cd no se incrementa substancialmente por el período corto entre la incidencia de la etapa de rápido crecimiento y la antesis, sin embargo, considerables incrementos ocurrieron por un periodo de dos meses entre la antesis y la cosecha de la planta madura, y los resultados de los análisis claramente indican que el Cd agregado

o como una sal de acetato o un cation dirigido es rápidamente disponible para la absorción y traslocación a las partes aéreas de la planta y la semilla.

Bingham y col (1975), encontraron que las plantas sensibles a Cd tales tales como espinaca, soya y lechuga fueron dañadas por el Cd del suelo en el nivel de 4-13 g de Cd/gr de suelo, en cambio, el tomate y la col toleraron los niveles del suelo de aproximadamente 170 g de Cd/g de suelo, sin exhibir síntomas de dano, el arroz fue tolerante en todos los niveles. Así, el contenido de Cd en las plantas varía de acuerdo a la especie vegetal y tejido vegetal, los cereales y legumbres acumulan menos Cd en los retoños que las plantas de hoja ancha tales como lechuga y espinaca.

La concentración de Cd en arroz ha sido por muchos años alrededor de 10 gr Page, 1977.

Casterline citado por García 1989, senala que los análisis de muchas plantas diferentes, desarrolladas en laboratorios y en varias partes del mundo cerca de minas y áreas industriales, han revelado que las plantas no excluyen la incorporación de metales pesados tóxicos especialmente cadmio, durante la asimilación de minerales esenciales.

Vega 1985 senala, que los cultivos como trigo y arroz acumulan Cd y es más alta la concentración en granos que en otras áreas de las plantas.

Las plantas no tienen mecanismos para excretar el Cd y, una vez que lo absorbieron, lo retienen en sus tejidos. Sin embargo, la acumulación generalmente es mayor en las raíces que en la parte aérea de la planta y esto tiende a restringir el movimiento del catión a las cadenas alimenticias (Badillo, 1985).

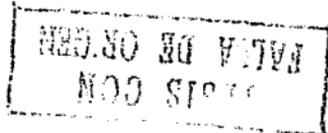
Los efectos perceptibles de la fitotoxicidad del cadmio depende de la especie, algunos de los más comunes son la clorosis que incluye una reducción en el contenido de clorofila, marcites y en ocasiones, necrosis. Este tipo de efecto se debe principalmente a que las altas concentraciones de cadmio inhiben la fotosíntesis y la fijación del dióxido de carbono. Vega (1986).

Badillo (1985). Señala que en los resultados de varios experimentos muestran claramente las diferencias es el grado de toxicidad para diversos cultivos. Por ejemplo, la espinaca, la soya y el mastuerzo chino son mas sensibles al Cadmio mientras que el tomate y la col son completamente resistentes.

Efecto del Cadmio Cd en los Seres Humanos

El riesgo de la contaminación por Cd se ha logrado reconocer como daño para la salud cuando existe contaminación en proporciones elevadas.

El cadmio ingresa al organismo por inhalación o ingestión. El ingreso por la piel no esta comprobado y además, no hay descripciones de casos en los que este tenga importancia. (Galvao y Corey 1987). La ingestión ocurre a través de agua o alimentos contaminados.



Los cuadros agudos habitualmente se deben a la ingesta de alimentos almacenados en vasijas y recipientes con superficies recubiertas de cadmio. El cuadro de intoxicación aguda se presenta con vómitos, diarrea y dolor abdominal.

La exposición gastrointestinal prolongada al cadmio provoca daño al funcionamiento de los túbulos renales, que se expresa por una elevada prevalencia de proteinuria (presencia de proteínas en la orina) en las poblaciones expuestas. En casos extremos de exposición y preferentemente en la población femenina multipara de más de 40 años, se desarrolla una afección (enfermedad de Itai-Itai) en donde además del daño renal se provoca una alteración en el metabolismo del calcio que se manifiesta como una osteomalacia (resblandecimiento óseo generalizado por disminución de calcio disponible, debido a interferencias en la función fijadora fosfocálcica). Con osteoporosis (desosificación con disminución absoluta de tejido óseo, lo que da por resultado un aumento de tamaño de la médula ósea con disminución en el grosor de la corteza y de las trabéculas, y debilidad estructural del hueso. (Vega 1985).

La exposición aguda provoca neumonitis letal en tanto que la exposición prolongada provoca enfisema (alteración anatómica de los pulmones caracterizada por crecimiento anormal de los espacios aéreos, que coexisten con cambios destructivos de las paredes alveolares (Peralta y Bastos 1986).

Los Cuadros 38 y 39 presentan de un modo resumido los principales aspectos clínicos derivados de la exposición aguda y prolongada al Cd.

IFCSIS CON
FALLA DE ORIGEN

**PRINCIPALES ASPECTOS CLINICOS
DE LA EXPOSICION AL CADMIO**

COMPUESTO QUIMICO	CONTAMINACION	SIGNOS Y SINTOMAS DE INTOXICACION
Cd	ALIMENTOS	SINDROME GASTROINTESTINAL AGUDO (VOMITOS, COLICOS, ETC.)
	AGUA	OSTEOMALACIA Y OSTEOPOROSIS ALTERACIONES DE FUNCION RENAL ENFERMEDAD DE ITAI-ITAI

CUADRO 38. (VEGA, 1985).

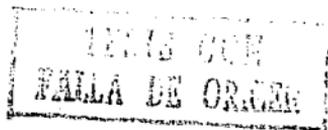
COMPUESTO QUIMICO	CONTAMINACION	CUADROS DE INTOXICACION
VAPORES DE CADMIO	AEREA	INFLAMACION CRONICA DE VIAS RESPIRATORIAS. ENFERMEDAD PULMONAR OBSTRUCTIVA CRONICA.
OXIDO DE CADMIO	ALIMENTOS	INSUFICIENCIA RENAL OSTEOMALACIA
		CANCER PROSTATA

CUADRO 39. (VEGA, 1985).

MANGANESO (Mn)

El manganeso está ampliamente distribuido en la naturaleza en forma de óxidos, carbonatos y silicatos. En la mayoría de los minerales de hierro se encuentra en concentraciones de 50-350 gr/kg. La concentración de la corteza terrestre es de aproximadamente 1000 mg/kg, en el carbón mineral de 0 a 1000 mg/kg y en el petróleo crudo de 0,001 a 15 mg/kg. El 90% de la producción mundial de manganeso se utiliza en la elaboración de acero. También se usa para hacer aleaciones no ferrosas como el bronce de manganeso para maquinaria muy fuerte y resistente al agua de mar o aleaciones de cobre y/o níquel en la industria eléctrica. El dióxido de manganeso se utiliza en baterías secas. Varias sales de manganeso (Mn) se emplean en la elaboración de fertilizantes, productos farmacéuticos, colorantes, catalizadores, fungicidas, en la producción de linóleo y manufactura de cerillos o fósforos. Los lodos y aguas residuales con manganeso se utilizan para producir fertilizantes.

El nivel natural de manganeso (Mn) en el aire es bajo como el manganeso emitido al aire está asociado a partículas pequeñas, puede ser transportado a grandes distancias. La contaminación del aire puede provenir de plantas de ferromanganeso y del tricarbonilo de metilciclopentadienil manganeso (MMF), usado como sustituto del tetraetilo de plomo como aditivo de la gasolina.



La disposición rinal de productos de desechos líquidos o sólidos con manganeso puede contribuir a la contaminación del aire, agua y suelo, lo mismo que la producción y de uso de fertilizantes y fungicidas.

Yoe y Koch en 1955, analizando elementos traza en pastura y paja de quienes detectaron 120 y 51 ppm de manganeso respectivamente, en agua de lagos encontraron 2.1 ppm y en agua potable estuvo ausente.

White R.P. en 1970, especifica que ocurrieron síntomas de toxicidad de manganeso cuando en los tejidos de centeno en base a peso seco, el nivel de manganeso estuvo arriba de 200 ppm. También se refirió a que las aplicaciones del carbonato de manganeso al suelo disminuyeron el nivel de manganeso en las hojas.

Scotter y Miltimore en 1973, en ocho especies forrajeras de Canadá observaron que el manganeso varió de 67 a 236 ppm.

Pavanadasivam en 1973 analizando suelos con alto contenido de materia orgánica encontró hasta 60.8 ppm de manganeso orgánico y 667 ppm de manganeso total.

Farley y Draycott en 1973, comentan que en suelos con menos de 10 ppm de manganeso activo es muy probable que se presenten síntomas de deficiencias en remolacha a un pH del suelo mayor de 7.0.

Umesh y Col en 1973, aseveran que el manganeso en grandes cantidades puede ser tóxico a un pH como 5.8. En terrenos con o sin cal, valores de 50 y 100 ppm de manganeso agregado al suelo a pH que variaba de 4.0 a 4.7 causaban toxicidad al centeno. Valores de 9.6 a 28.5 ppm en el extracto de suelo saturado

ocasionaron toxicidad a las plantas a pH de 4.1 o menor en el suelo.

Mascareño (1974), reporta que los valores máximos de manganeso permisibles en agua de riego de uso continuo en los Estados Unidos son de 2.0 ppm y en cambio para aguas usadas en suelos de textura fina se toleran hasta 20 ppm.

Efectos del manganeso en seres humanos

El manganeso es un elemento esencial. Participa como cofactor en varias reacciones enzimáticas, principalmente en las de fosforilación, síntesis de colesterol y síntesis de ácidos grasos.

El manganeso es un elemento esencial traza para el organismo humano.

La mayor exposición ocupacional se da en la extracción, fundición y refinación de manganeso, en la producción de diversos materiales y actividades de soldadura. (Vega, 1985).

La mayor exposición al manganeso proviene de los alimentos estimándose que los adultos consumen entre 2.0 y 8.8 mg/día. Los niños durante los primeros seis meses de vida pueden consumir entre 2.5 y 25 mg/kg de peso corporal por día. Sin embargo el contenido de manganeso en agua potable puede aumentar en ciertos abastecimientos por el uso de compuestos de este elemento en la fabricación de fertilizantes.

Se estima que el requerimiento diario para una función fisiológica normal es de 3.5 mg.

El manganeso ingresa al organismo por absorción gastrointestinal y por inhalación, en la sangre el manganeso absorbido se une a las proteínas plasmáticas y se concentra en pulmones, hígado, riñones, intestino, corazón, huesos y cerebro. El óxido de manganeso (MnO) tiende a concentrarse en los ganglios basales del cerebro y en el cerebelo.

Del manganeso corporal, el 90 al 95% se excreta, a través de la bilis, por las heces. Su excreción aumenta al aumentar la dosis de exposición. (Vega, 1985).

En el humano el manganeso se distribuye según un modelo de dos comportamientos. En humanos a los que se les inyectó Mn radiactivo, la vida biológica corporal total fué de 37 días. La vida media para el manganeso radiactivo inhalado fué también de 37 días en sujetos normales sin exposición previa al manganeso, en tanto que para sujetos normales que eran mineros expuestos al manganeso la vida media fué de 15 días. La vida del manganeso plasmático es menor a 1.5 minutos.

La exposición al manganeso provoca el desarrollo de síntomas neurológicos, cambios de conducta, cambios óseos en niños, lupus eritomatoso, un estado de debilidad general, anemia y problemas respiratorios.

El cambio en la capacidad de concentración y de atención, acompañado de movimientos involuntarios, señala la posibilidad de un primer nivel de intoxicación en una persona que se encuentra en un medio contaminado por manganeso. La intoxicación aguda provoca dolores de cabeza, somnolencia, irritabilidad, debilidad y contusión mental.

La exposición al polvo de óxido de manganeso produce a concentraciones bajas, irritación de nariz y garganta; en la población expuesta a concentraciones elevadas de entre 0.1-20 mg/m³, aumenta la incidencia de neomonitis. El polvo de óxido de manganeso no es fibrogénico. Véase Cuadros 40 y 41.

La sintomatología de la intoxicación crónica severa por manganeso se puede dividir en: manifestaciones psicológicas de inestabilidad emocional e irritabilidad y cambios neurológicos como son: el aumento del tono muscular, posturas anómalas, temblores, voz monótona y alteraciones en el lenguaje hablado. En los últimos estadios de la intoxicación crónica se desarrolla un síndrome similar a la enfermedad de Parkinson.

El cuadro toxicológico mejora una vez que se interrumpe la exposición; sin embargo, una exposición prolongada puede provocar además del síndrome parkinsoniano, la llamada locura mangánica. (Vega, 1985).

Se ha reportado que grandes cantidades de manganeso en el agua potable ayudan a la proliferación de ciertos microorganismos molestos que, si bien no son patógenos por sí mismos, pueden establecer condiciones propias para el crecimiento de otros microorganismos patógenos.

**EXPOSICION AGUDA Y PROLONGADA AL Mn
EN LA POBLACION GENERAL**

COMPUESTO QUIMICO	CONTAMINACION	SIGNOS Y SINTOMAS DE INTOXICACION
OXIDO DE MANGANESO	AGUA POTABLE (DESECO DE BA- TERIAS SECAS)	NEUROLOGICOS Y PSICOMOTORES
FERRONMANGANESO	AREA EN ZONAS ALEJADAS A LA INDUSTRIA DE LA PRODUCCION DE ALEACIONES	NEUMONIAS BRONQUITIS

CUADRO 40. (VEGA, 1985).

EXPOSICION PROLONGADA AL Mn EN TRABAJADORES

COMPUESTO QUIMICO	CONTAMINACION	SIGNOS Y SINTOMAS DE INTOXICACION
OXIDO DE MANGANESO	AEREA	PSICOMOTORES: ANOREXIA ASTENIA HIPERTONIA MUSCULAR
Mn (II Y III)		NEUROLOGICOS: DISQUIETIA ASTENIA ASTENIA
FERRONMANGANESO		PULMONARES: BRONQUITIS
M	ANOREXIA: ANOREXIA DE APETITO	
AN	ASTENIA: ANOREXIA O PERDIDA DE LA FUERZA; DEBILIDAD; ASTENIA	
AM	ASTENIA: PERDIDA EN LA ARTICULACION DE LAS PALABRAS; PRODUCIDO POR CUALQUIER LESION	
AMM	QUE AFECTA LA FUERZA, A LOS MÚSCULOS DEL TRONCO O A LOS MIEMBROS RESPECTIVOS.	
AMMM	ASTENIA: PERDIDA DE LA FUERZA VITAL O MUSCULAR; DEBILIDAD; ASTENIA.	

CUADRO 41. (VEGA, 1985).

FIERRO (Fe)

El hierro es el metal más abundante en la corteza terrestre, constituye el 5% de las incrustaciones de la tierra.

La concentración de hierro en agua varía generalmente, en E.U. el agua fresca y de uso público se encuentra rangos de 0.01 a 1.0 mg/L. (Ilorres, 1992). La concentración promedio en ríos es de 0.67 mg/L. (Kabata y Pendias, 1986)

Efectos del Hierro (Fe) en suelos.

El hierro es un microelemento del suelo necesario para las plantas. las fuentes naturales en el suelo son: hematita (Fe_2O_3), limonita (H_2O_3Fe), magnetita (Fe_3O_4), goetita ($FeOH$), óxidos de hierro deshidratado, micas, silicatos del tipo 2:1 e hidróxido de hierro coloidal. El hierro es soluble en todos los suelos aerados. las deficiencias de este elemento se presenta en suelos alcalinos. En suelos la concentración de hierro varía entre 7 mg/g a 550 mg/g. (Kabata y Pendias, 1986).

El hierro se presenta en los suelos en estado oxidado en forma de compuestos insolubles, cuando los suelos son inundados por las aguas. la descomposición de la materia orgánica, tiende a eliminar el oxígeno disuelto del agua que esta en contacto con el suelo y los compuestos de hierro son reducidos, dando origen a compuestos solubles.

Se recomienda una máxima concentración de 5 ppm en aguas para usos continuos en el riego de todos los suelos y una concentración máxima de 20 ppm en suelos de neutros a alcalinos para un periodo de 20 años, altas concentraciones de óxido de hierro o hidróxidos incrementan la fijación de fósforo y molibdeno.

Los hidróxidos insolubles tienden a acumularse en los suelos. Los hidróxidos de hierro y manganeso a pesar de que se acumulan en los suelos intemperizados en su estado oxidado, son más solubles en suelos aeróbicos, su disponibilidad aumenta al aumentar la acidez del suelo. (Torres, 1992).

Berrow y Webber (1972), analizaron elementos en 42 lodos de drenaje de Inglaterra y encontraron de 40 a 2000 ppm, siendo semejantes estos valores a los extraídos en suelos normales.

Efecto del Hierro (Fe) en cultivos.

Los granos y frutas son bajos en hierro, usualmente rangos desde 1 a 20 mg/kg. (Underwood, 1977).

Hausenbuiller (1973), considera para todas las plantas los siguientes niveles: de 10-80 ppm como concentraciones deficientes, 30-150 ppm como normales y los excesos los considera como tóxicos.

Scotter y Miltimore (1973), estudiando en Canadá el contenido de minerales en 23 muestras de ocho especies forrajeras encontraron de 36 a 332 ppm.

Burridge (1972), analizó elementos traza en plantas de avena en estado de madurez, encontrando de 36 a 72 ppm de hierro, reportándose en alfalfa arriba de 800 ppm.

Las recomendaciones de Wolf (1985), en relación a los contenidos de fierro en plantas son:

Concentraciones bajas

Frijol	40 - 49 ppm
Maiz	26 - 49 ppm
Arroz	70 - 79 ppm

Concentraciones suficientes

Frijol	50 - 300 ppm
Maiz	50 - 350 ppm
Arroz	75 - 200 ppm
Cebolla	60 - 300 ppm

Concentraciones altas

Frijol	> 300 ppm
Maiz	> 350 ppm
Arroz	> 200 ppm
Cebolla	> 300 ppm

Efecto del Fierro (Fe) en Seres Humanos.

El fierro es un elemento esencial para la nutrición humana. Está contenido en varias proteínas, como la hemoglobina, la mioglobina y algunas enzimas, entre las que se encuentra el citocromo C y las xantinaoxidasa.

Los requerimientos individuales regulan la cantidad de fierro que se absorbe a partir de la dieta, lo cual varía desde 1% hasta 20%. (Vega, 1985).

El hierro en el agua superficial se presenta generalmente en estado férrico. El consumo diario de este elemento se ha estimado entre un rango de 15 a 22 mg. Las concentraciones de hierro en el agua potable son normalmente menores a 0.3 mg/l y el consumo a partir de los alimentos es sustancialmente más alto.

El consumo de altas cantidades de hierro en forma crónica produce hemosiderosis o nemocromatosis. La primera se refiere a un incremento generalizado de hierro en los tejidos corporales (particularmente en el hígado y en el sistema reticuloendotelial). La segunda es una hemosiderosis que presenta ya cambios fibróticos en el órgano afectado y pigmentación de la piel del enfermo. En Sudáfrica se ha reportado la llamada "siderosis de Bantú", que se presenta como acumulación de hierro en las células de Kupffer del hígado y en las células reticuloendoteliales. (Vallé, 1966).

ZINC (Zn)

El zinc es un metal relativamente suave y que tiene una fuerte tendencia a reaccionar con compuestos inorgánicos, así como algunos orgánicos. El compuesto más usado en la industria es el óxido de zinc, el cual tiene una baja solubilidad en la mayoría de los solventes, otros compuestos también usados son el sulfato de zinc, cloruro de zinc, sulfato de amonio y zinc y carbonatos de zinc.

Los principales usos del zinc son la producción de aleaciones no corrosivas, latón y en productos de hierro y acero galvanizado. El zinc se oxida sobre la superficie y protege al metal atrapado de la degradación, tales productos aparecen ampliamente en automóviles e instrumentos del hogar, puede ser útil en la producción de acero, galvanización y productos de hierro; es útil en partes de automóviles. El zinc usado en hule y como un pigmento blanco, acumula las mayores cantidades de compuestos de zinc. El sulfato de zinc se emplea terapéuticamente en medicina humana en el tratamiento de deficiencia de zinc. (Torres, 1992).

La producción en el mundo de zinc se está incrementando, en rangos de cerca de 5% por año, cerca de 0.5 millones de tons. en 1900 a 5.5 millones de tons. en 1972. El total de emisiones de zinc a la atmósfera durante actividades de esmalte en E.U. durante 1961, puede ser estimada en 50,000 tons. (Torres, 1992).

Efectos del Zinc (Zn) en suelos.

La concentración del zinc en suelos, se relaciona con el pH del suelo y limitados a suelos ácidos tienen efectos de toxicidad prolongada. En áreas ácidas la cantidad requerida para toxicidad señala una concentración máxima de 1 mg/l para usos continuos. Asumiendo adecuados usos, para elevar el pH arriba de 6.0, las concentraciones máximas recomendadas para usos continuos en todos los suelos es de 2.0 mg/l, por un período de 20 años en suelos neutros y alcalinos, la recomendación máxima es de 10 mg/L en suelos de textura fina calcarea y en suelos orgánicos las concentraciones pueden exceder estos límites por un factor de 2-3 con baja probabilidad de toxicidad en 20 años. (Torres, 1992).

Efecto del Zinc (Zn) en cultivos.

Los niveles normales de zinc varían de 10 a 100 mg/kg en la mayoría de los cultivos y plantas de pastura. La toxicidad por zinc en plantas se observa solamente en áreas donde hay fuentes de emisión. (Torres, 1992).

Considerando granos, vegetales y frutas, son bajos en zinc, generalmente menor a 5 ppm.

Scotter y Miltimore (1973), analizaron zinc en ocho especies de plantas forrajeras del Canadá encontrando concentraciones de 87 a 273 ppm de zinc.

Samish (1971), reporta que altos niveles de calcio en el suelo, disminuyen la absorción de zinc por las plantas. El análisis de zinc en tejidos vegetales desarrollados en suelos contaminados con metales pesados vario de 33 a 107 ppm.

Yoe y Koch (1975), en pastura de avena, así como en agua de bebida encontraron 30 ppm en los tres casos, detectando en el agua de lagos 30 ppm de zinc.

Berrow y Webber (1972), indican que existen problemas para el crecimiento de plantas cuando los niveles de zinc soluble en ácido acético se elevan a más de 1.0 ppm en suelos.

La concentración de 5.0 ppm de zinc es el valor máximo permisible en aguas de riego según la S.S.A.

Efectos del Zinc (Zn) en los Seres Humanos.

El zinc es necesario para la función de varias enzimas de mamíferos. Se han identificado más de 20 metaloenzimas de zinc. es también un componente integral de la DNA-polimerasa; una enzima necesaria para dividir la célula. La deficiencia de zinc hace crecer la producción de ADN y ARN, lo que con lleva a una disminución de la síntesis de proteínas. El zinc interfiere también a nivel del sistema endócrino y en el metabolismo de lípidos y carbonhidratos.

El zinc es esencial para los seres humanos. Los requerimientos diarios de zinc recomendados son 15 mg para adultos y 25 mg para las madres en etapa de crianza.

Largas dosis de zinc, causan desordenes gastrointestinales, incluyendo vómitos y diarrea. La dosis alta emitida esta considerada como de 300 mg. Exposiciones a altas concentraciones de $ZnCl_2$, puede ser fatal, creando daño agudo a las membranas mucosas de la nasofaringe y tracto respiratorio. No se ha descrito envenenamiento crónico por Zn en humanos. (Torres, 1992).

III. MATERIALES Y METODOS

AREA DE ESTUDIO

Localización geográfica.

El Municipio de Teoloyucan se localiza en el Estado de México, al Norte del Distrito Federal y a 8 km de Cuautitlán, aproximadamente entre las coordenadas 19°43'11" y 19°47'38" de Latitud Norte y entre los 99°43'15" y 99°12'57" de Longitud Oeste del meridiano de Greenwich.

Limites

Limita al Norte con los municipios de Coyotepec, Huehuetoca y Zumpango; al Sur con los municipios de Cuautitlán Izcalli y Cuautitlán de Romero Rubio; al Este con los municipios de Zumpango y San Andrés Jaltengo y al Oeste con los municipios de Coyotepec y Tepetzotlán. Ver Figura 7.

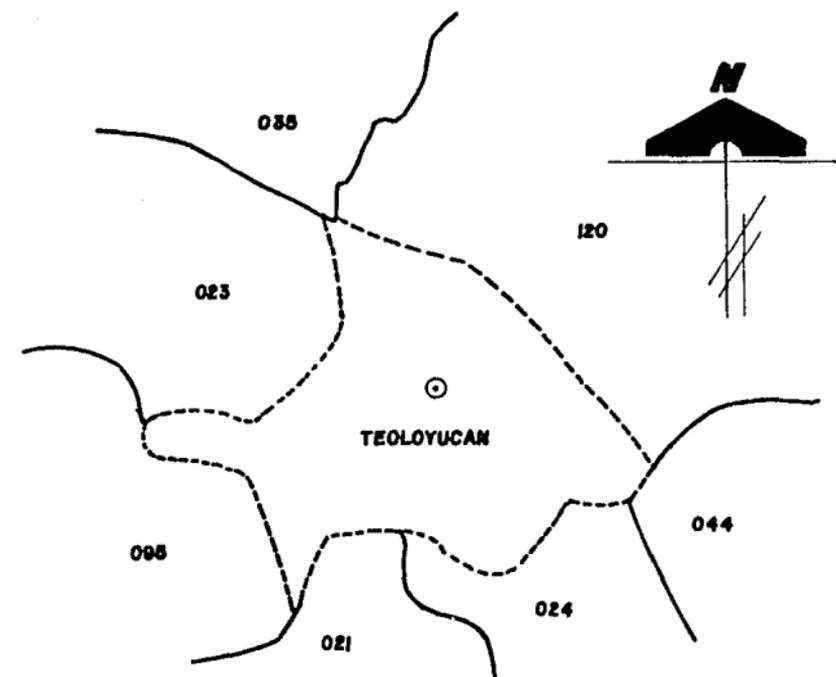
Extensión

La extensión territorial del municipio es de 31.52 Km², por lo que ocupa el sexto lugar en el Distrito Judicial y Rentístico del que forma parte.

División Política

Pertenece al Distrito Judicial y Rentístico de Cuautitlán, que está integrado por los municipios de Cuautitlán, Coyotepec, Huehuetoca, Melchor Ocampo, Tepetzotlán, Tultepec, Tultitlán y Cuautitlán Izcalli.

Fig. 7 Límites Municipales de Teoloyucan Edo. de México.



- 038 HUEHUETOCA.
- 120 ZUMPANGO DE OCAMPO.
- 044 SAN ANDRES JALISCO.
- 024 CUAUTITLAN DE R. RUBIO.
- 021 CUAUTITLAN IZCALLI.
- 098 TEPOTZOTLAN.
- 023 COYOTEPEC.

FUENTE: SISTEMA ESTATAL DE INFORMACION 1985.

Para fines administrativos y políticos, el territorio municipal está conformado por: una Cabecera Municipal formada por los barrios de Tepanquiahuc, Tlatenco y Tlatilco, en este último se encuentra la presidencia municipal; aparte de los mencionados cuenta con otros barrios como son: Acolco, Anal, Axalpa, Atzacolco, Caliacac Santa Maria, Coaxoxoca, Santa Cruz, Santa Cruz del Monte, San Juan, Santiago, Santo Tomás, San Sebastián, Tlaxihicalco, San Bartolo y tres colonias: La Era, Nueva Venecia y Santo Tomás. Ver Figura B.

Altura Sobre el Nivel del Mar

La Cabecera se encuentra a una altura de 2,400 mm, 14 metros más alto que la Ciudad de México.

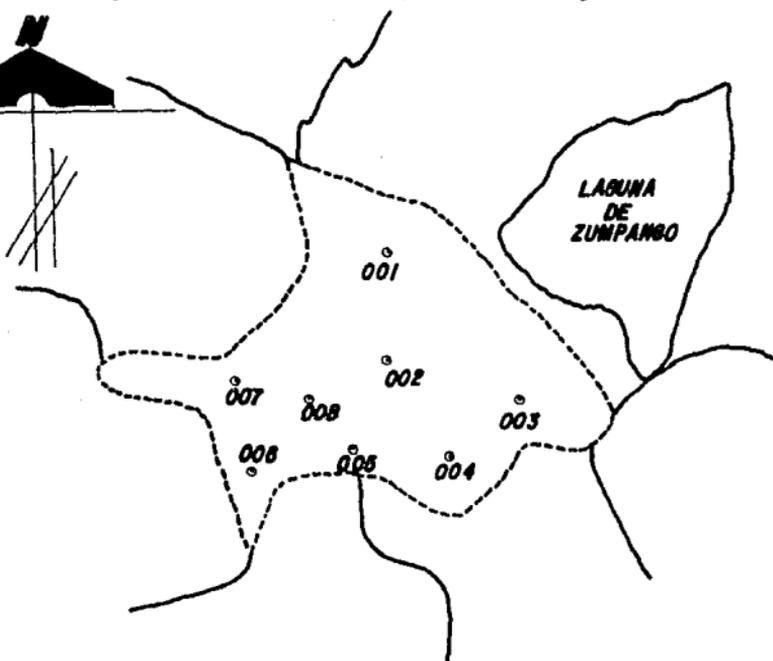
Orografía

Teoloyucan carece de formaciones orográficas de importancia, sólo cuenta con pequeñas lomas al Oeste, entre ellas la llamada "Loma del Grullo", la mayor parte del territorio es un valle muy fértil.

Hidrografía

La hidrografía está representada por dos ríos, uno de ellos que baja del cerro de la Bufa y cuyo nombre es Río Cuautitlán, que desde la época prehispánica proporcionaba el vital líquido para regar las tierras de cultivo de Teoloyucan. El Río Cuautitlán es tributario del Río Tula, en el Estado de Hidalgo. El otro es llamado Río Chico, viene de Tepotzotlán, y también al igual que el Cuautitlán, pasa próximo a la cabecera.

Fig. 8 Principales Barrios del Mpio. de Teoloyucan México.



- 001 SANTA MARIA CALIACAC.
- 002 SANTO TOMAS.
- 003 SAN JUAN.
- 004 SANTIAGO.
- 005 TEPANQUIASUA.
- 006 SAN SEBASTIAN.
- 007 ZIMAPAN.
- 008 AXALPA.

FUENTE: SISTEMA ESTATAL DE INFORMACION 1985.

El municipio carece de presas y bordos, no tiene manantiales de ningún tipo; el agua potable que se consume en la cabecera y en los pueblos que la componen, se extrae de pozos profundos. Existe una batería de pozos localizados en la orilla del Río Cuautitlán que abastece a parte del área metropolitana.

Climatología

Temperatura

La temperatura media anual es de 15.7°C, aproximadamente; Enero es el mes más frío con un promedio de 11.8°C y Junio el mes más caliente con 18.3°C. La oscilación anual de las temperaturas medias mensuales es de 6.5°C, por lo que puede considerarse con poca oscilación térmica.

Precipitación

El régimen de lluvias es de verano, es decir, que la precipitación se concentra básicamente de mayo a octubre; en el invierno se recibe una cantidad mínima (menos del 5% del total anual), de aquí que se considera a ésta como estación seca.

Al año se recibe un total de aproximadamente 605 mm; julio es el mes más lluvioso con 128.9 mm y febrero el mes más seco con 3.8 mm.

Analizando los datos de temperatura y precipitación disponible y de acuerdo con el sistema de Köppen modificado por García, el clima de la región es: C (Cw) (W) b (1'), esto es, clima templado, subhúmedo con lluvias en verano, con verano fresco con una temperatura media del mes más caliente menor a 22°C, con poca

oscilación térmica.

Flora

La flora local es escasa debido a las condiciones especiales de los suelos que forman el territorio municipal.

Entre los árboles que crecen en el municipio se puede citar los siguientes: pirú, eucalipto, mimosa, alcantor, fresno, casuarina, jacaranda, sau: y sauce lloron, mezquite y nuizache.

Los árboles frutales que se encuentran, aunque en cantidades muy escasas son: durazno, manzano, granada, capulín, niguera, tejocote y morera.

Entre las hortalizas se encuentra a la col, coliflor, calabaza, chayote, chilacayote, lechuga, cebolla, chile y tomate.

Entre las cactáceas podemos mencionar al maguey, nopal y cactus.

Los principales cultivos son: maíz, alfalfa, frijol, trigo y napa.

Características Edáficas

Los suelos del municipio de Teoloyucan, Edo. de México, son de formación aluvial y se originaron a partir de depósitos de material ígneo derivado de las partes altas que circundan la zona.

Los suelos son relativamente jóvenes en su proceso de desarrollo, presentan un perfil de apariencia homogénea en el que no se aprecian fenómenos de liuvación o eluviación muy marcadas, por lo que es difícil diferenciar horizontes de diagnóstico a simple vista. Son suelos profundos, con más de un metro de profundidad.

De acuerdo al sistema de clasificación FAO-DETNAL (1981), estos suelos han sido clasificados como vertisoles pélicos (Vp). Son suelos que presentan una textura fina, arcillosos, pesados, difíciles de manejar por ser plásticos y adhesivos cuando están húmedos y duros cuando se secan, forman grietas profundas cuando se secan y pueden ser impermeables al agua de riego o lluvias.

De acuerdo con el sistema de clasificación de la 7a. aproximación, han sido clasificados dentro del orden Inceptisol, suborden Andep, gran grupo Umbrandept, como Umbrandepts mólico vérticos. Son suelos jóvenes que están en proceso de formación a partir de depósitos de material reciente; no presentan fenómenos de iluviación e intemperismo o eluviación muy marcada. Presentan un horizonte superficial oscuro, relativamente grueso, con estructura bien desarrollada, pH mayor de 6 y una relación entre C-N entre 10 y 12 en suelos cultivados, con un alto contenido de material amorfo como el alofano en su fracción arcillosa.

PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS EN GENERAL DE LOS SUELOS DE
TEOLOYUCAN

Textura	Arcillosa
Densidad aparente	1.11 g/cm ³
Densidad real	2.34 g/cm ³
Espacio poroso	53%
Color seco	Gris
Color húmedo	Gris oscuro
Conductividad eléctrica	No salino
pH real	7.5
pH potencial	6.5
Cationes intercambiables	
Ca	3115 kg/ha.
Mg	915 kg/ha.
K	1050 kg/ha.
Saturación de bases	36%
Capacidad de intercambio catiónico.	36 meq/100g
Fósforo	46 kg/ha.
Nitrógeno	0.053%
M.O.	1.41%

Sistema Estatal de
Información 1985.

LOCALIZACION DE LOS SITIOS DE MUESTREO

En la figura 10., se presenta el área de estudio y los sitios donde se llevaron a cabo los muestreos de suelo y tejidos vegetales.

Muestreo de Suelos

El muestreo de suelos se llevo a cabo al azar tomándose un total de 24 muestras compuestas, tomadas de cada uno de los predios muestreados, a un profundidad de 0 a 25 cm. recogiendo se co una espátula de madera 2 kg. de suelo por predio(muestra) en una bolsa de plastico negra, posteriormente después de tamizarla las muestras se hizo una muestra compuesta resultado un total de 12.

Muestreo de Tejido Vegetal

La recolección de muestras de tejido vegetal (maiz, alfalfa) se realizo el mismo tiempo que las muestras de suelo. El tejido vegetal se colectó en bolsas de papel, muestreandose raíz, tallo, hoja(tollaje) y fruto(mazorca de maiz); se recolectaron en total 60 muestras compuestas de tejido vegetal, 30 de maiz y 24 de alfalfa;posteriormente se hizo una nueva muestra compuesta para proceder con el análisis de laboratorio quedando 12 muestras compuestas para maiz y 8 para alfalfa.

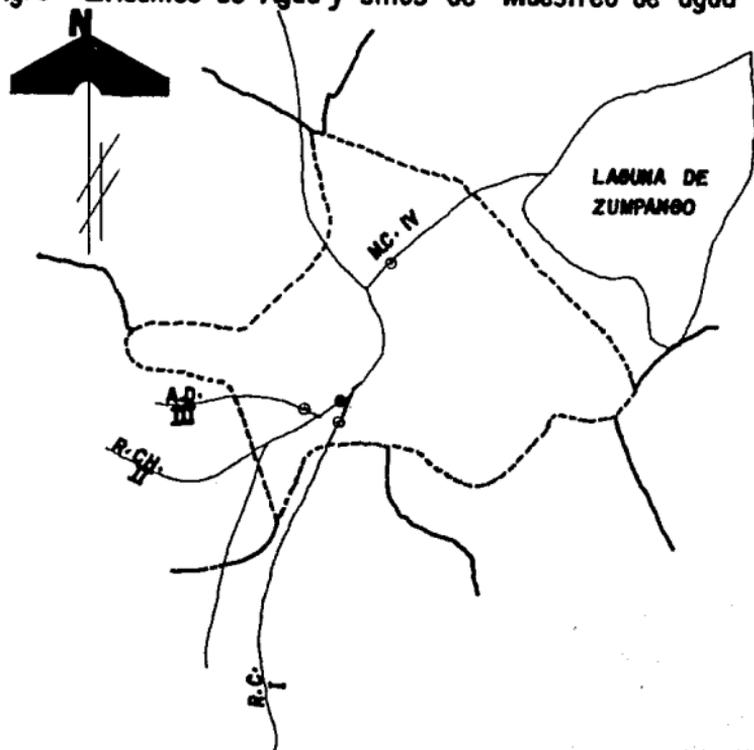
Muestreo de Agua

Se muestrearon los afluentes que entran en la zona de estudio, los cuales son: Río Cuautitlán, Río Chico, Arroyo de Desechos y se tomo una muestra compuesta la cual es resultado de la unión de los 3 anteriores.

El material y técnicas utilizadas en el muestreo fueron las indicadas por los técnicos de la SEDAGRO.

El muestreo se realizo el día 4 de noviembre de 1992 de las 11 de la mañana a las 13 hrs. véase Figura 9.

Fig.9 Efluentes de Agua y sitios de Muestreo de agua



I R.C. RIO CUAUTITLAN.

II R.CH. RIO CHICO.

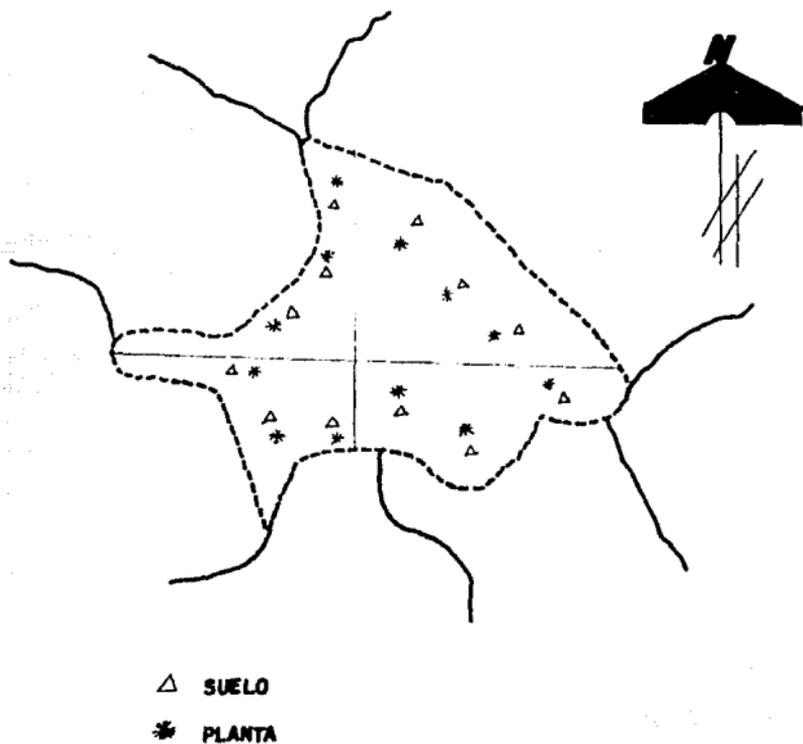
III A.D. ARROYO DE DESECHOS.

IV MC. MUESTRA COMUESTA.

○ **SITIOS DE MUESTREO. DE AGUA.**

FUENTE: INEGI 1985.

Fig.10 Sitios de Muestreo de Suelo y Planta.



M E T O D O L O G I A

Las muestras fueron trasladadas al laboratorio de Química de suelos y de aguas de la Secretaría de Desarrollo Agropecuario (SEDAGRO), en Metepec, Estado de México.

Las muestras de suelo fueron secadas a temperatura ambiente, sin que se le diera directamente la luz solar y sobre papel de straza; ya seco fue disgregado y cernido en un papel tamiz de seda con abertura de 2mm de diámetro y se guardaron en bolsas de plástico y etiquetadas para su posterior análisis.

Las muestras de tejido vegetal se limpiaron y se lavaron con agua de la llave con jabón orgánico y finalmente se lavaron con HCl al 1% y agua destilada; posteriormente fueron secadas en la estufa a una temperatura entre 65 °C y 70 °C por 72 horas aproximadamente. Cada muestra fue molida después de estar completamente seca con un molino de ágata y guardadas en frascos de vidrio para poder realizar los análisis respectivos. Las muestras fueron mineralizadas usando la mezcla (1:4) con ácido sulfúrico-ácido clorhídrico (Wear y Evans, 1986).

Para las determinaciones de agua se utilizó la metodología recomendada por US-EPA. Environmental Protection Agency, 1974.

Todas las determinaciones de metales pesados en agua, planta y suelo se realizaron en un espectrofotómetro de absorción atómica, Perkin-Elmer modelo No. 460.

IV. ANALISIS DE RESULTADOS

Para la interpretación y discusión de los resultados de agua, se apoyó en los Cuadros 25, 26, 27 y 28, en los cuales se indican los valores máximos permisibles para el uso de aguas residuales con fines de riego agrícola, de acuerdo a sus características físicas, químicas y biológicas.

Primeramente se analizarán y se discutirán los resultados de las aguas y posteriormente la concentración de metales pesados en suelo y plantas.

AGUA

Los sitios de muestreo de agua fueron los siguientes (ver Figura # 9):

Rio Cuautitlán,	sitio # 1
Rio Chico,	sitio # 2
Arroyo de desechos,	sitio # 3
Muestra compuesta,	sitio # 4

POTENCIAL DE HIDROGENO (pH)

Los valores de pH que se obtuvieron en los sitios 1 y 4 fueron de 7.12 y 7.33, lo cual indica que son contaminados por desechos de origen industrial, en los sitios 2 y 3 el pH fué de 6.84 para ambos casos, lo cual indica que estos son contaminados por desechos municipales.

Los valores de pH en los diferentes sitios de muestreo se encuentran dentro de los valores máximos permisibles para riego agrícola.

TEMPERATURA

La temperatura existente en los cuatro sitios de muestreo oscilo de 16, 15, 17 y 15.5°C respectivamente, los cuales se encuentran dentro de los límites establecidos.

COLOR

El color en los sitios 1,2,3 y 4 se encontraron los siguientes valores: 50, 300, 200 y 300 upi-co. En los reglamentos no se encuentran valores máximos permisibles, sin embargo para áreas verdes de uso recreativo se recomienda un máximo de 75 upi-co.

TURBIEDAD

Las aguas presentan una gran turbiedad lo que indica una gran cantidad de partículas en suspensión. El valor obtenido fué de 40 utj., no se tiene un valor máximo permisible para riego.

OXIGENO DISUELTO

El oxígeno disuelto en los cuatro sitios de muestreo fué de 0.0 ml/l., lo cual indica que la actividad anaerobia de los microorganismos efectuan la oxidación de sales inorgánicas obteniendose productos mal olientes. En base en esto se afirma que son aguas de mala calidad (se consideran 4 ml/l. de oxígeno disuelto para considerarlo de buena calidad). No se tiene un valor máximo permisible para uso de riego agrícola.



CONDUCTIVIDAD ELECTRICA

Para poder utilizar aguas residuales para uso agrícola no debe ser mayor de 1000 umhos/cm.

La conductividad eléctrica en los sitios 1, 2, 3 y 4 fue de 216, 1080, 405 y 1215 umhos respectivamente, encontrándose dentro de los límites permisibles los sitios 1 y 3 y los sitios 2 y 4 rebasan las normas. Esto implica que con valores mayores a los establecidos rara vez se obtienen buenos resultados agrícolas y únicamente los cultivos más tolerantes a las sales se pueden desarrollar bien, siempre y cuando se aplique agua en abundancia y el drenaje del suelo sea adecuado.

BORO

Los valores de boro encontrados en las muestras de agua fueron mayores de 0.1 mg/l en los cuatro sitios, el valor permisible es de 0.75 mg/l y no se rebasa la norma; pero en pequeñas cantidades pueden representar un peligro por que el boro provoca síntomas de toxicidad diversa en los seres vivos.

POTASIO

Las cantidades de potasio fueron de 13; 6; 41 y 9 mg/l. en los cuatro puntos de muestreo respectivamente. Este ión es un elemento esencial para las plantas superiores por lo cual no ejerce efecto nocivo para el suelo y las plantas.

ALCALINIDAD

Los niveles obtenidos de alcalinidad (CaCO_3) son bajos, ya que para agua potable son de 400 mg/l y los resultados de las muestras 1, 2, 3 y 4 de la zona de estudio fueron 56, 22, 286 y 40 miligramos por litro respectivamente.

DUREZA TOTAL (CaCO_3)

El nivel deseado de la dureza es de 75 mg/l., en las muestras se obtuvieron valores de 153.55; 120.25; 264.55 y 136.9 mg/l. para los sitios 1, 2, 3 y 4 respectivamente.

CLORUROS

El valor máximo permisible para cloruros es de 147.5 mg/l., para los sitios 1, 2, 3 y 4 se obtuvieron valores de 23.3, 49.7, 9.7 y 23.3 mg/l. respectivamente, los cuales son aceptados para la irrigación.

NITRATOS

Los valores de nitratos en los cuatro sitios de muestreo fue de 0.2 mg/l. los cuales se encuentran dentro de la norma de criterios ecológicos.

NITRITOS

En cuanto a nitritos obtenidos en las muestras de agua fueron menor a 5 mg/l., lo cual indica que las aguas con respecto a este elemento pueden ser utilizadas para riego ya que el límite máximo permitido es de 6 mg/l.

SOLIDOS SEDIMENTABLES

En las muestras 1, 2, 3 y 4 se encontraron los valores siguientes 6.26, 17.26, 8.83 y 12.32 mg/l. respectivamente; el valor máximo permisible para riego agrícola no debe pasar de 6 mg/l., lo cual indica que estas aguas pasan los valores permisibles.

DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO

Los valores en las muestras 1, 2, 3 y 4 fueron de 41.8; 1019.2; 178.4 y 627.2 mg/l. respectivamente, estos valores oscilan de una concentración fuerte (1019.2 y 627.2 mg/l.) a una concentración débil (41.8 y 178.4 mg/l.) no se tiene un valor máximo permisible para uso de riego agrícola.

DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO

Los valores máximos permisibles para riego agrícola es de 100 mg/l., en las muestras de agua 1, 2, 3 y 4 fueron de 23.2, 694.4, 112.3 y 408.1 mg/l. respectivamente. Los sitios 2, 3 y 4 pasan los límites permisibles.

COLIFORMES TOTALES Y FECALES

Los niveles de coliformes totales y coliformes fecales para los sitios de muestreo resultaron de mayor de 24 000 en 100/ml., este valor es muy alto e importante puesto que nos indica que el agua no es apta para riego agrícola, ya que el límite máximo permitido es de 1000 coliformes totales como fecales.

GRASAS Y ACEITES

El valor máximo permisible para uso de riego agrícola es de 10 mg/l., los valores de las muestras 1, 2, 3 y 4 fueron de 13.2, 1490.6, 31.8 y 518.7, los cuales rebasan los valores permisibles.

DETERGENTES

En las muestras 1, 2, 3 y 4 se encontraron los siguientes valores 6.26, 17.26, 8.83 y 12.32 mg/l., lo cual indica que estas aguas pasan los límites máximos permisibles para riego agrícola.

METALES PESADOS EN AGUA

Rio Cuautitlán Sitio 1

En el Rio Cuautitlán se encontró en el análisis realizado, que el cadmio sobrepasa por más de cuatro veces el límite establecido. El otro elemento que excedió los límites fué el manganeso teniendo un resultado de 0.02 p.p.m., los demás metales pesados se encuentran dentro de la Norma Oficial Mexicana. (ver gráfica 1 y 2)

Rio Chico Sitio 2

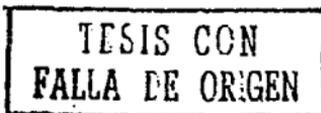
El Rio Chico como el Rio Cuautitlán observamos excedentes de cadmio y manganeso (0.04 y 0.12 p.p.m. respectivamente) por lo que las aguas de este río y las del rio Cuautitlán no son aptas para riego agrícola. Los demás metales pesados se encuentran dentro de la Norma Oficial Mexicana (ver gráfica 3 y 4).

Arroyo de desechos Sitio 3

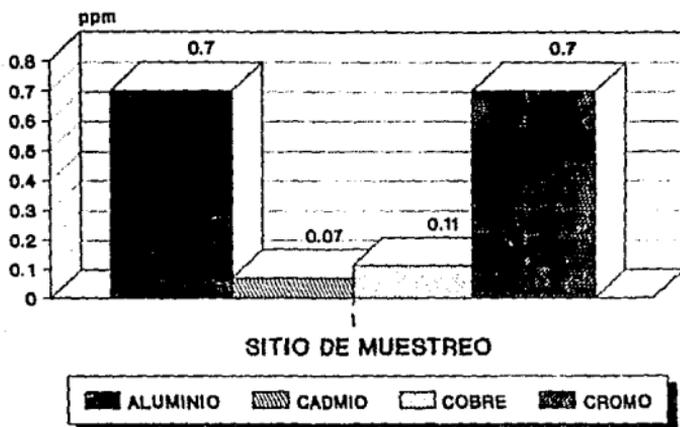
Este arroyo de desechos que aunque no se utiliza para riego rebaza los límites establecidos, obteniendo en cadmio 0.06 p.p.m. y para manganeso 0.11 p.p.m. La importancia que tiene este afluente es de que se une posteriormente al canal de donde se utiliza agua para riego (muestra compuesta). Los demás metales tienen valores entre los límites permisibles. (ver gráfica 5 y 6).

Muestra compuesta Sitio 4

En la muestra compuesta nuevamente se exceden los valores de cadmio (0.04 p.p.m.) y manganeso (0.52 p.p.m.) y los valores de los demás metales se encuentran dentro de los límites establecidos. (ver gráfica 7 y 8).

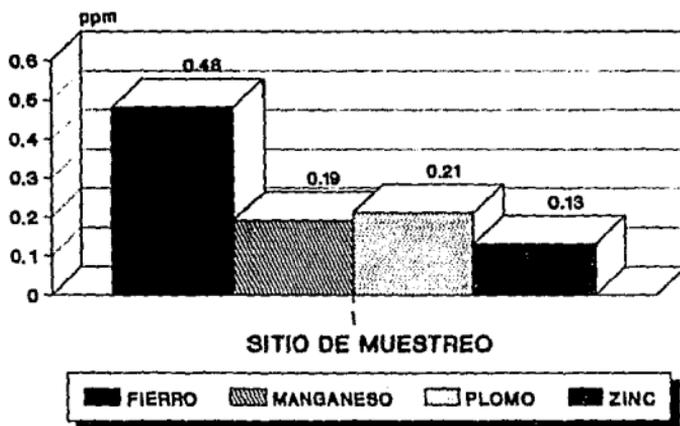


CONCENTRACION DE METALES PESADOS EN
AGUAS DEL RIO CUAUTITLAN



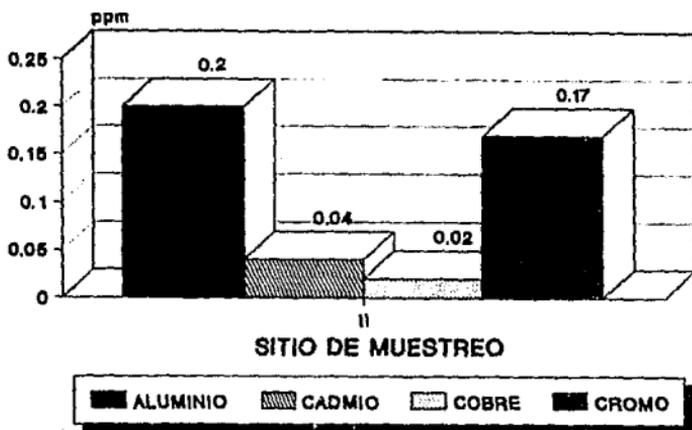
GRAFICA 1

CONCENTRACION DE METALES PESADOS EN
AGUAS DEL RIO CUAUTITLAN



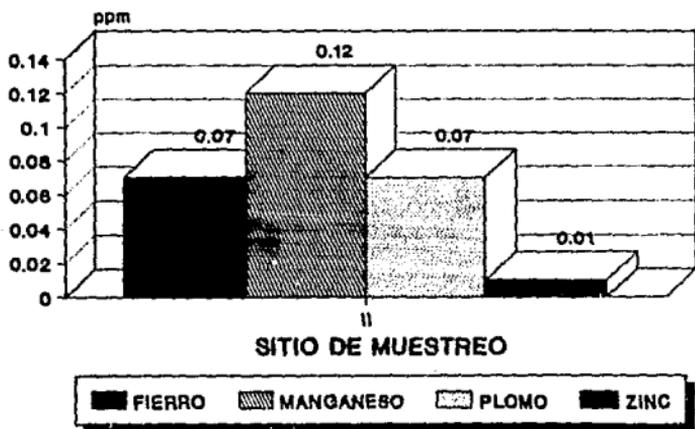
GRAFICA 2

CONCENTRACION DE METALES PESADOS EN AGUAS DEL RIO CHICO



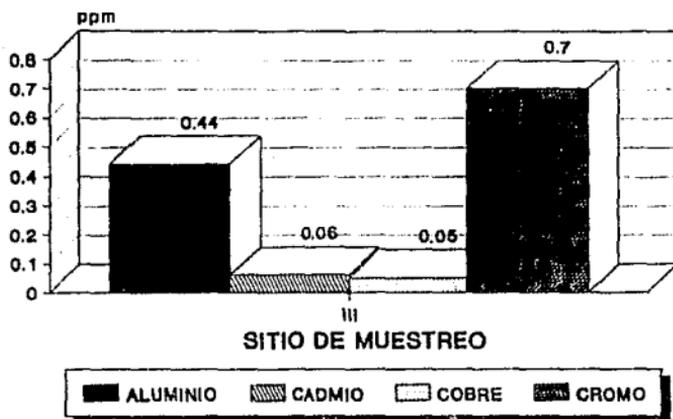
GRAFICA 3

CONCENTRACION DE METALES PESADOS EN AGUAS DEL RIO CHICO



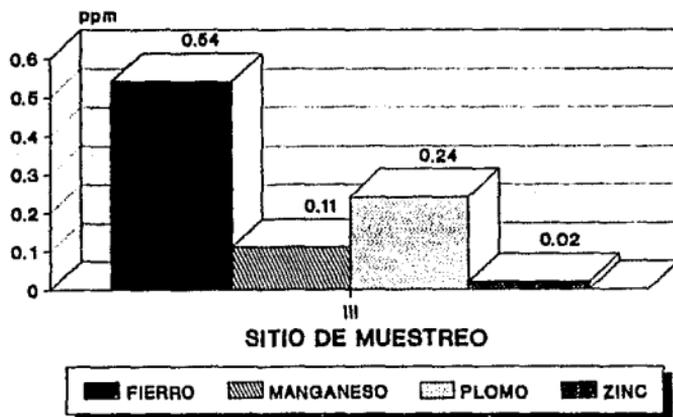
GRAFICA 4

CONCENTRACION DE METALES PESADOS EN AGUAS DEL ARROYO DE DESECHO



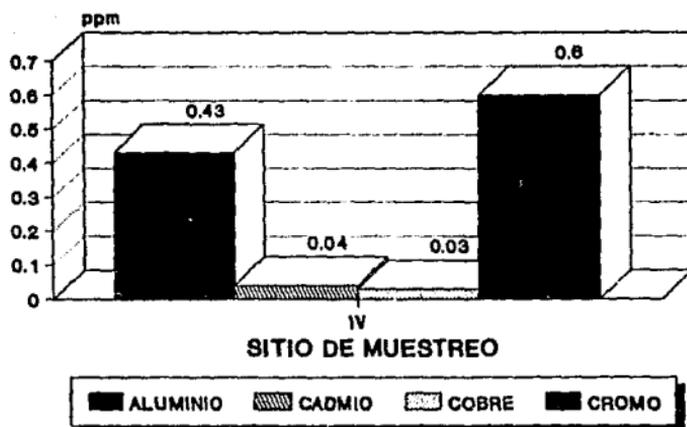
GRAFICA 5

CONCENTRACION DE METALES PESADOS EN AGUAS DEL ARROYO DE DESECHOS



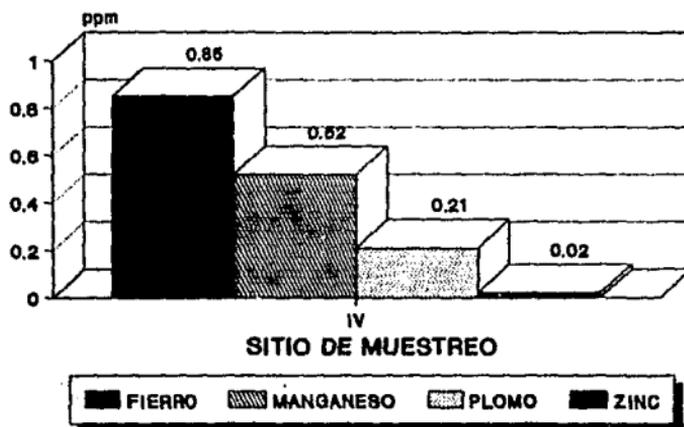
GRAFICA 6

CONCENTRACION DE METALES PESADOS EN AGUAS DE LA MUESTRA COMPUESTA



GRAFICA 7

CONCENTRACION DE METALES PESADOS EN AGUAS DE LA MUESTRA COMPUESTA



GRAFICA 8

METALES PESADOS EN SUELO Y PLANTA

SUELO

Cromo (Cr)

Los valores de cromo oscilan entre 0.9 p.p.m. a 4 p.p.m. como se observa en la gráfica número 9, estos valores exceden las 0.5 p.p.m. que se reportan como normal, ya que valores superiores a este tienen un impacto antropogénico.

Cobre (Cu)

Los valores de cobre se observan en la gráfica número 10, estos reflejan un valor de 20 p.p.m. No se tienen valores permisibles en suelos, pero es importante que se tome en cuenta ya que a ciertos niveles provocan síntomas de toxicidad.

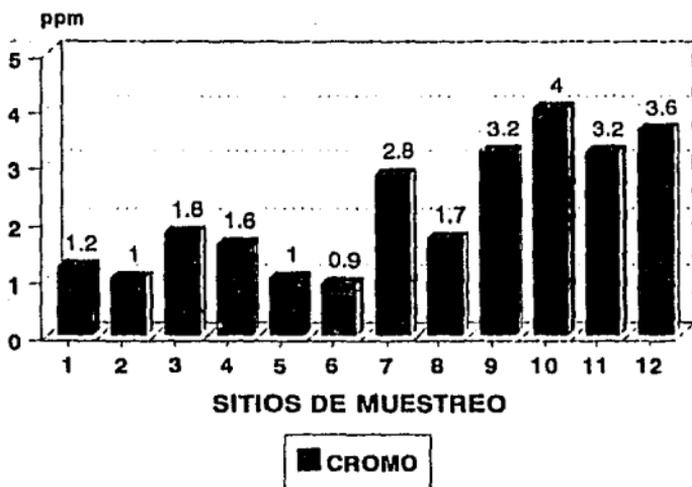
Plomo (Pb)

Los valores permisibles en plomo va de 0.1 a 10 p.p.m., las partes por millón en los suelos muestreados van de 0.24 a 1.0 como se observa en la gráfica 11, a pesar de que se tienen concentraciones bajas de plomo es importante considerarlas ya que existe bioacumulación.

Manganeso (Mn)

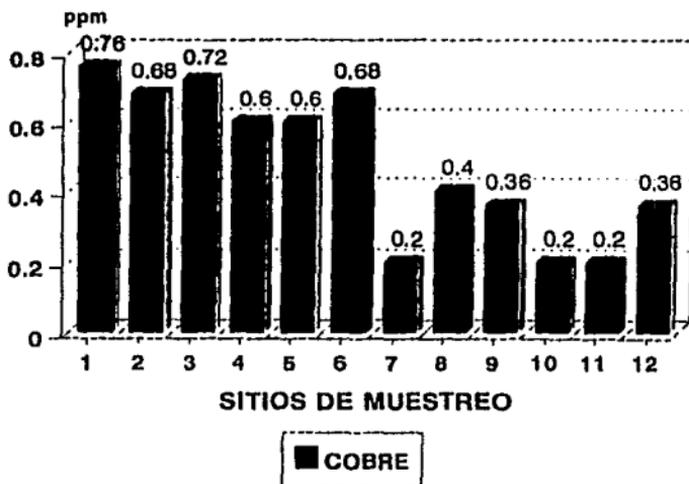
En las muestras tomadas de suelos se obtuvieron valores de 4.0 p.p.m. a 40 p.p.m. de manganeso. En la literatura no se encontró valores promedios permisibles, sin embargo, es importante tomar en cuenta este metal, ya que presenta toxicidad asociada con suelos ácidos.

CONCENTRACION DE CROMO EN SUELO



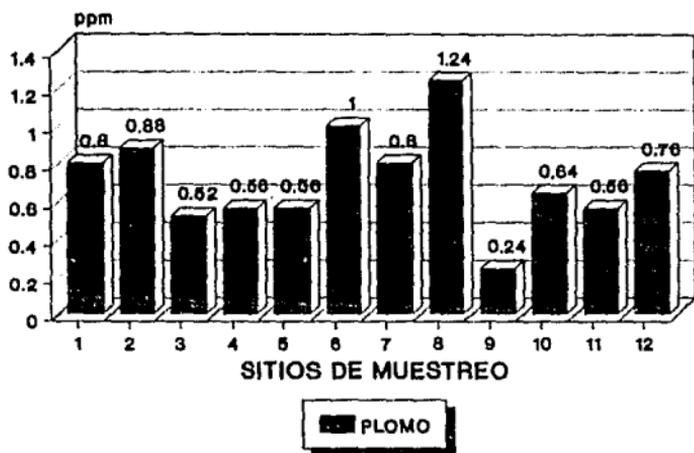
GRAFICA 9

CONCENTRACION DE COBRE EN SUELO



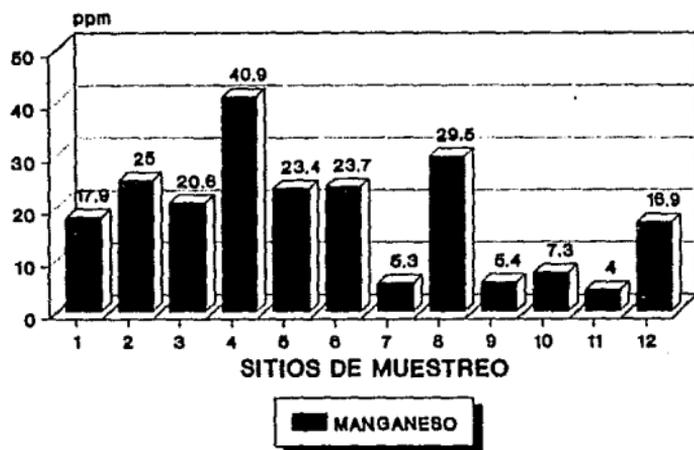
GRAFICA 10

CONCENTRACION DE PLOMO EN SUELO



GRAFICA 11

CONCENTRACION DE MANGANESO EN SUELO



GRAFICA 12

Cadmio (Cd)

En los resultados obtenidos y gráficos (gráfica 13) se observan valores de 0.04 p.p.m. a 0.48 p.p.m., que a pesar de que estos valores no rebazan el límite máximo permisible (0.5 p.p.m.), es necesario tomarlo en cuenta ya que se encuentra en grandes cantidades en las aguas de riego y es un elemento acumulativo en la cadena alimenticia. Por lo que su presencia es un peligro para la alimentación humana.

Zinc (Zn)

Los valores de zinc obtenidos en los diferentes sitios de muestreo fué de 0.12 p.p.m. a 18.18 p.p.m., como lo vemos en la gráfica 14. Todos los demás valores se encuentran dentro de los límites máximos establecidos.

En los suelos del municipio se obtuvieron grandes cantidades de cromo, seguido por cobre y manganeso, se debe de tener cuidado con el cromo ya que presenta valores tóxicos. Este elemento provoca deficiencias de hierro principalmente en plantas, además efectos de toxicidad en las cadenas tróficas y principalmente en el hombre debido a su bioacumulación.

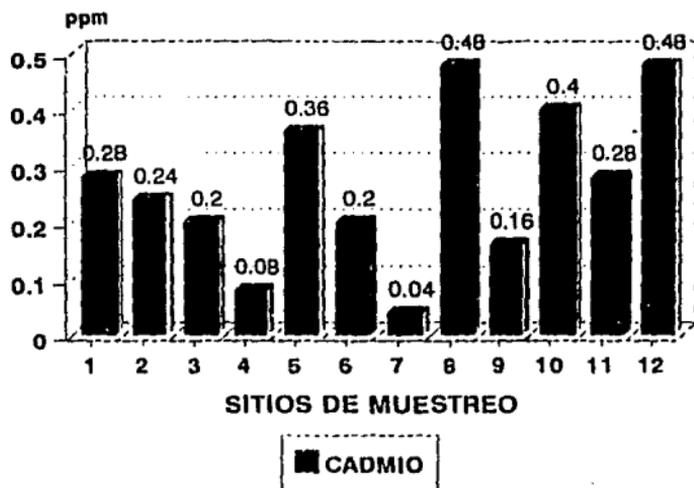
En menor cantidad se presentan los metales como el zinc, cadmio y plomo, a pesar de esto no debe dejarse pasar por alto, ya que debemos recordar que son elementos bioconcentrables y bioacumulables.

Plantas.

Maiz (foillaje).

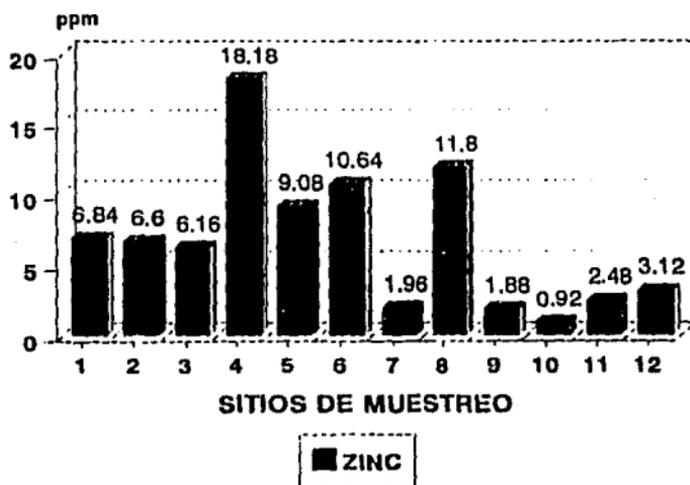
En las gráficas número 15 a la 20 se muestran los valores encontrados en los diferentes sitios de muestreo, se pueden observar que todos los valores de los metales son normales excepto uno, que fué el cromo que se encuentran en una cantidad tóxica de 11.6 p.p.m. siendo que el límite según Kabata y Pendias 1986, no debe exceder de 5 p.p.m.

CONCENTRACION DE CADMIO EN SUELO



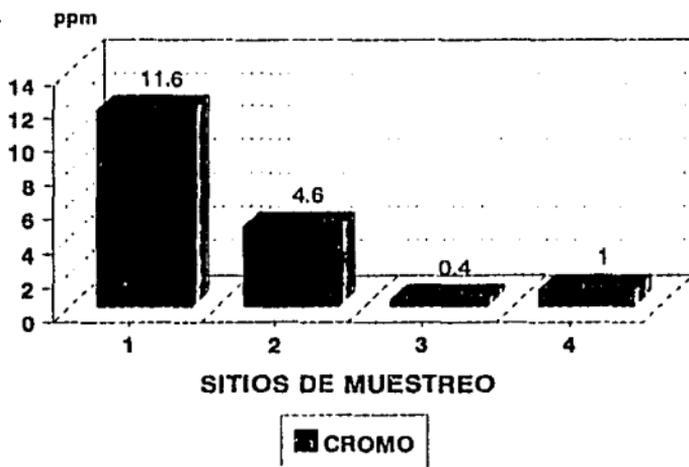
GRAFICA 13

CONCENTRACION DE ZINC EN SUELO



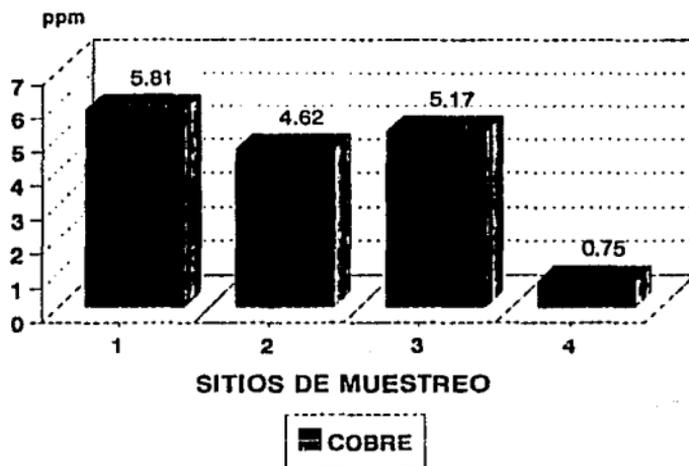
GRAFICA 14

CONCENTRACION DE CROMO EN PLANTA DE MAIZ (FOLLAJE: TALLO Y HOJA)



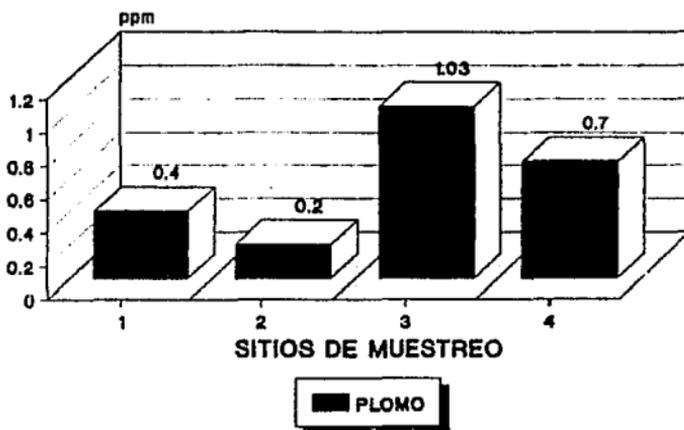
GRAFICA 15

CONCENTRACION DE COBRE EN PLANTA DE MAIZ (FOLLAJE: TALLO Y HOJA)



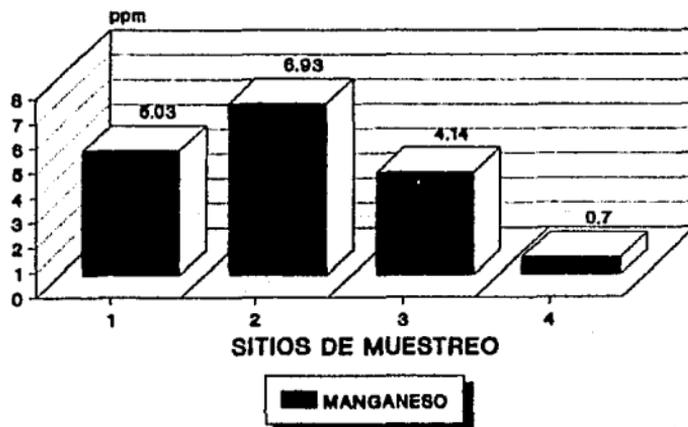
GRAFICA 16

**CONCENTRACION DE PLOMO EN PLANTA DE MAIZ
(FOLLAJE: TALLO Y HOJA)**



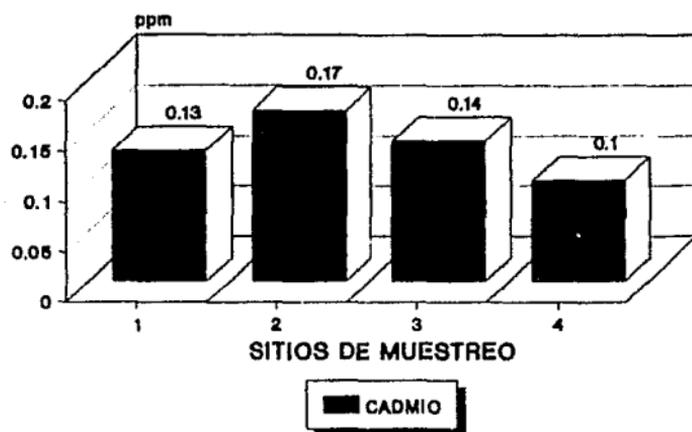
GRAFICA 17

**CONCENTRACION DE MANGANESO EN PLANTA
DE MAIZ (FOLLAJE: TALLO Y HOJA)**



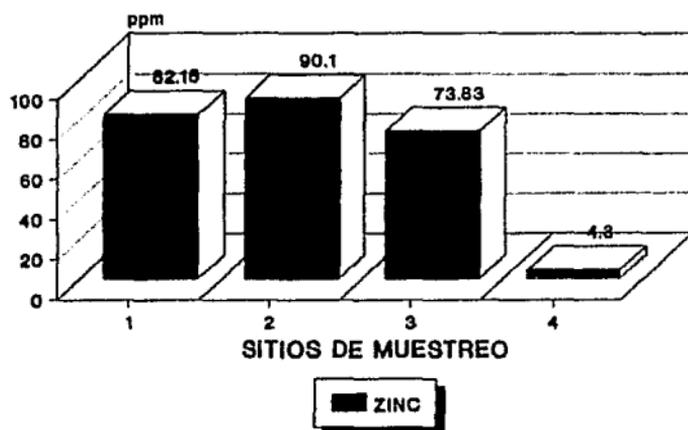
GRAFICA 18

CONCENTRACION DE CADMIO EN PLANTA DE MAIZ (FOLLAJE: TALLO Y HOJA)



GRAFICA 19

CONCENTRACION DE ZINC EN PLANTA DE MAIZ (FOLLAJE: TALLO Y HOJA)



GRAFICA 20

Maiz. (mazorca).

En las gráficas del número 21 a la 26 se reportan los valores obtenidos en fruto, en ellas se observan mayores cantidades de metales pesados que en el follaje, los valores más altos son : cobre con 9.79 p.p.m., plomo con 5.34 p.p.m., manganeso 25.82 p.p.m. y cadmio con 1.87 p.p.m.

En México no se cuenta con un reglamento que especifique sobre los límites máximos permisibles sobre este cultivo.

Maiz. (raiz).

Los datos obtenidos en las muestras de raíz de maiz se muestran en las gráficas número 27 a la 32 en las cuáles se logra ver que al igual que en mazorca se obtuvieron cifras altas en metales como cobre con 9.92 p.p.m., plomo con 5.40 p.p.m., manganeso 46.57 p.p.m. y cadmio con 1.87 p.p.m. Los metales que se presentaron más bajos fueron zinc y cromo.

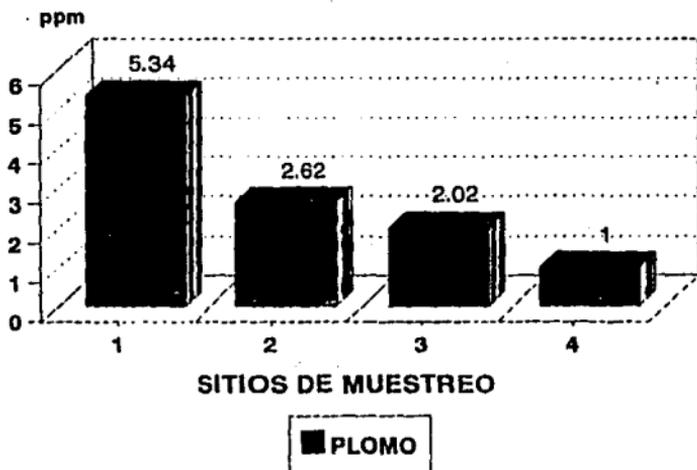
Alfalfa. (follaje).

Los resultados obtenidos en alfalfa se encuentran en las gráficas de la número 33 a la 38, en ellas se logra ver que el unico metal que está fuera del límite permisible es el cromo con 10.12 p.p.m., los demás metales se encuentran dentro de los valores normales de concentración en hojas.

Alfalfa (raiz)

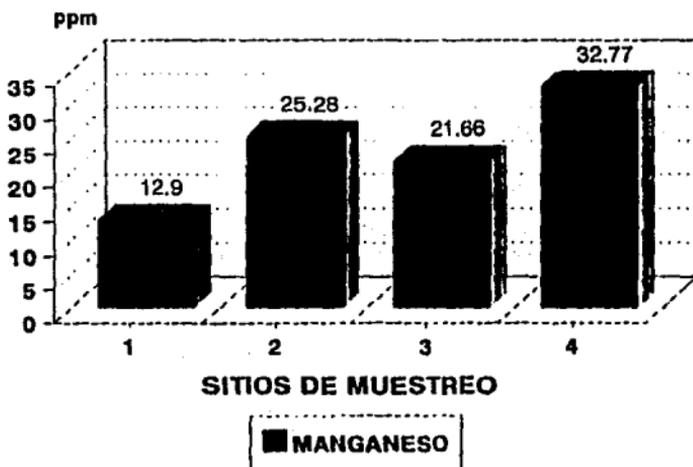
En las gráficas número 39 a la 44 se reportan los resultados de alfalfa del sistema radicular. Las concentraciones tóxicas de los metales no se puede determinar ya que no se tiene un reglamento con los valores máximos permisibles.

CONCENTRACION DE PLOMO EN PLANTA DE MAIZ (FRUTO: MAZORCA)



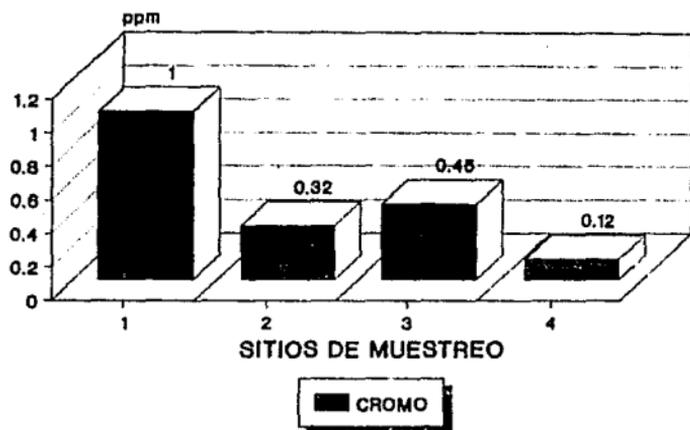
GRAFICA 23

CONCENTRACION DE MANGANESO EN PLANTA DE MAIZ (FRUTO: MAZORCA)



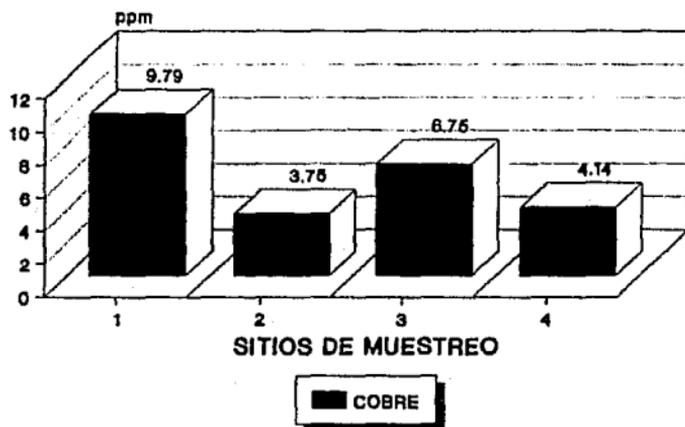
GRAFICA 24

CONCENTRACION DE CROMO EN PLANTA DE MAIZ (FRUTO: MAZORCA)



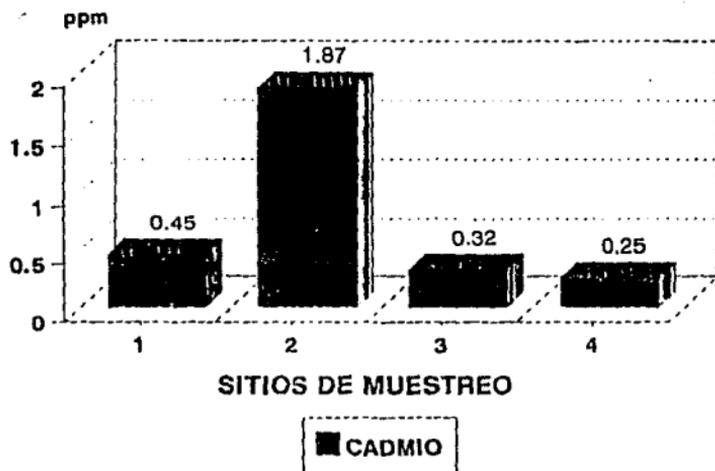
GRAFICA 21

CONCENTRACION DE COBRE EN PLANTA DE MAIZ (FRUTO: MAZORCA)



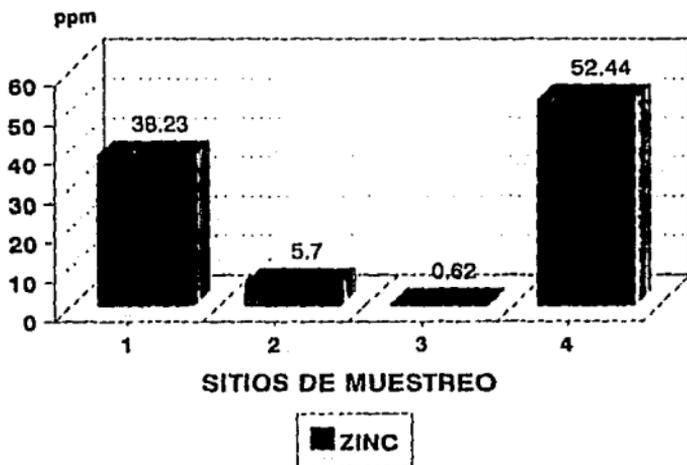
GRAFICA 22

CONCENTRACION DE CADMIO EN PLANTA DE MAIZ (FRUTO: MAZORCA)



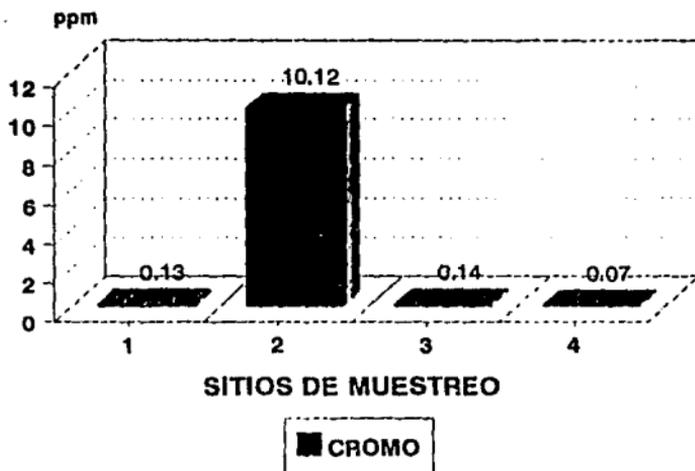
GRAFICA 25

CONCENTRACION DE ZINC EN PLANTA DE MAIZ (FRUTO: MAZORCA)



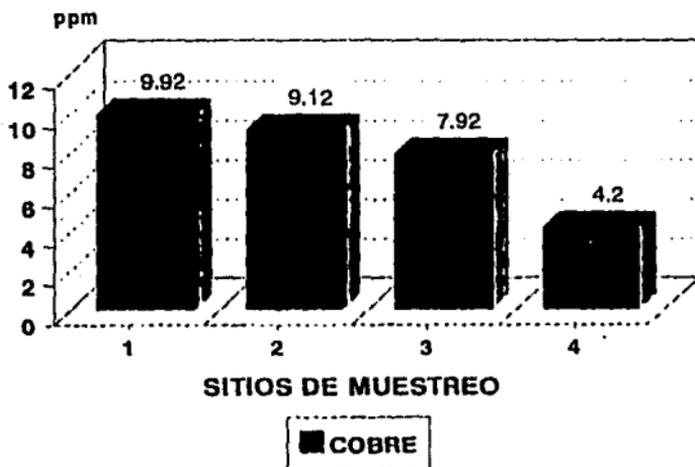
GRAFICA 26

CONCENTRACION DE CROMO EN PLANTA DE MAIZ (RAIZ)



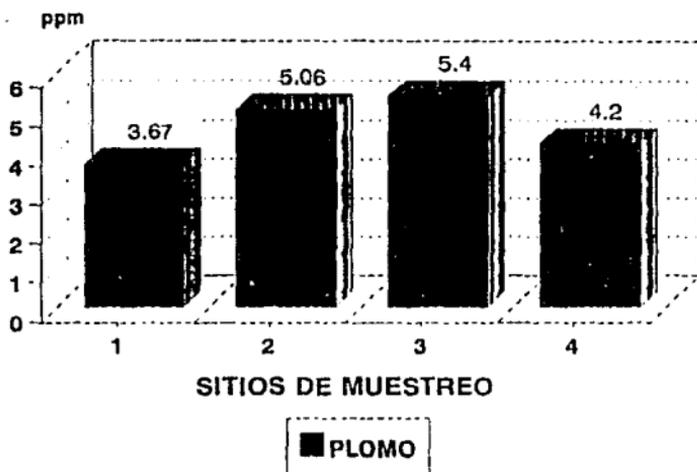
GRAFICA 27

CONCENTRACION DE COBRE EN PLANTA DE MAIZ (RAIZ)



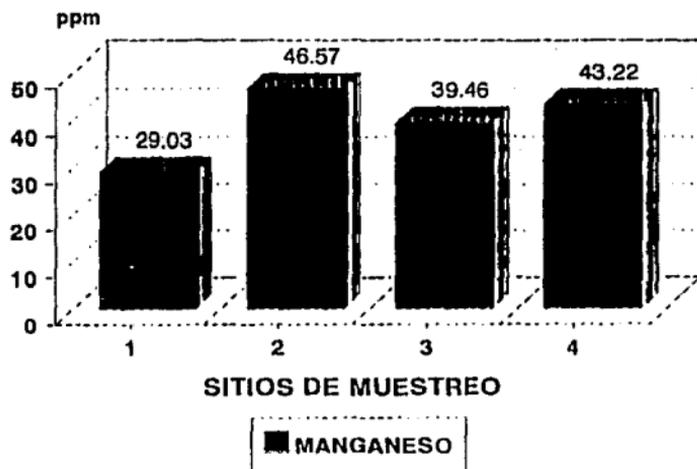
GRAFICA 28

CONCENTRACION DE PLOMO EN PLANTA DE MAIZ (RAIZ)



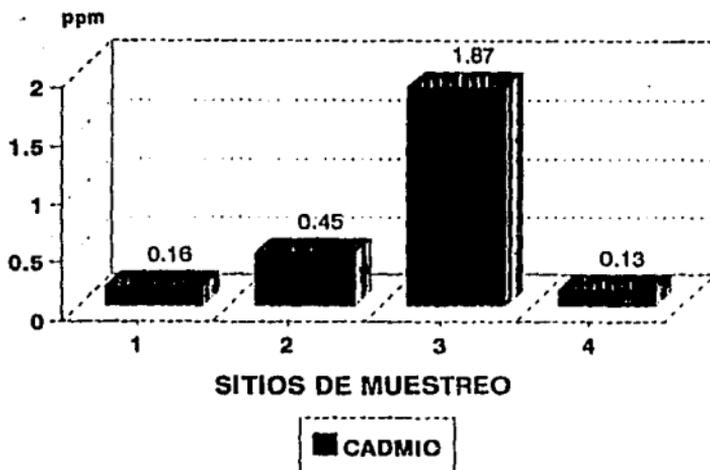
GRAFICA 29

CONCENTRACION DE MANGANESO EN PLANTA DE MAIZ (RAIZ)



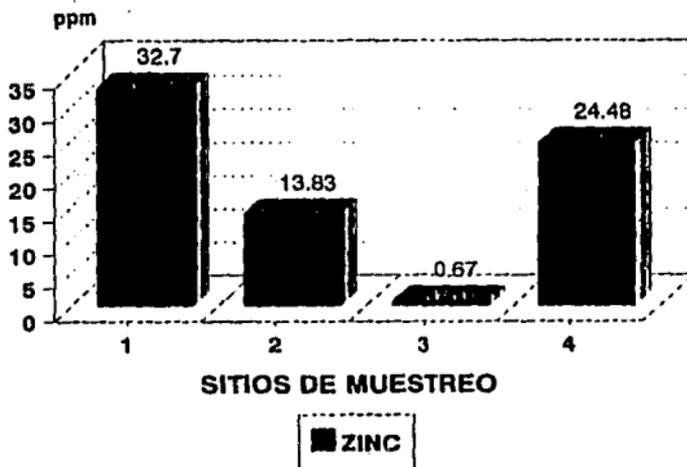
GRAFICA 30

CONCENTRACION DE CADMIO EN PLANTA DE MAIZ (RAIZ)



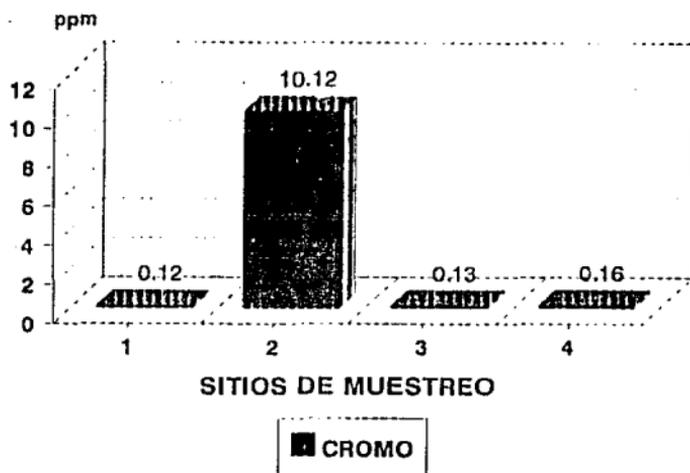
GRAFICA 31

CONCENTRACION DE ZINC EN PLANTA DE MAIZ (RAIZ)



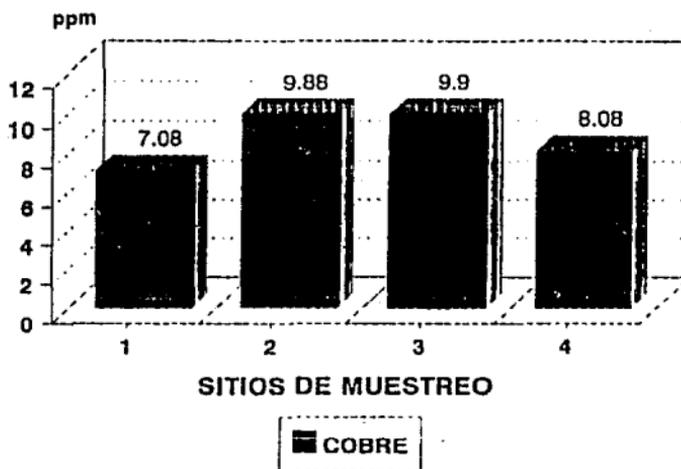
GRAFICA 32

CONCENTRACION DE CROMO EN PLANTA DE ALFALFA (FOLLAJE: TALLO Y HOJA)



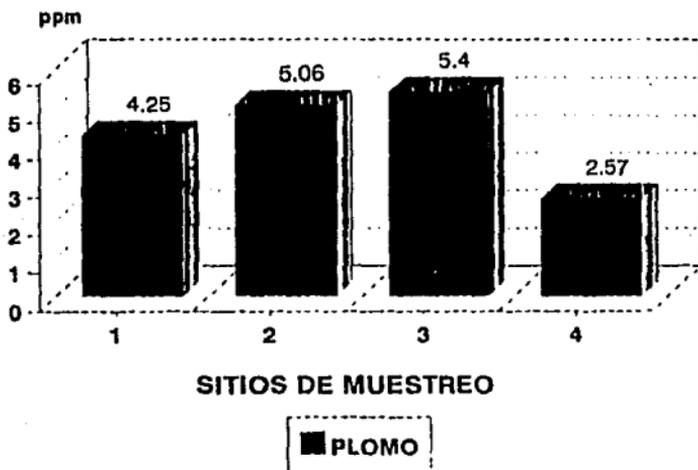
GRAFICA 33

CONCENTRACION DE COBRE EN PLANTA DE ALFALFA (FOLLAJE: TALLO Y HOJA)



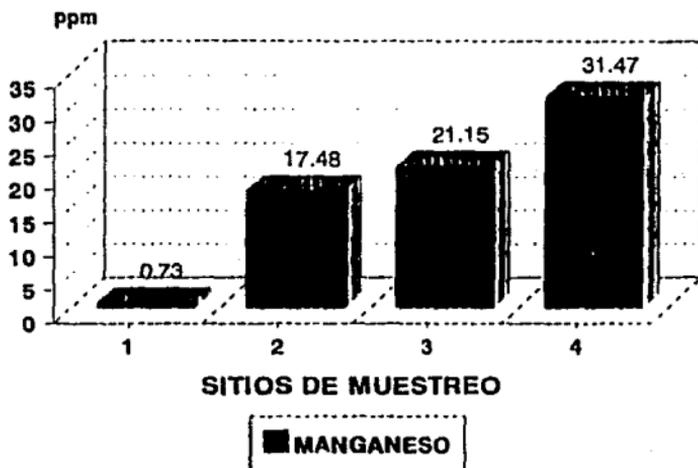
GRAFICA 34

CONCENTRACION DE PLOMO EN PLANTA DE ALFALFA (FOLLAJE: TALLO Y HOJA)



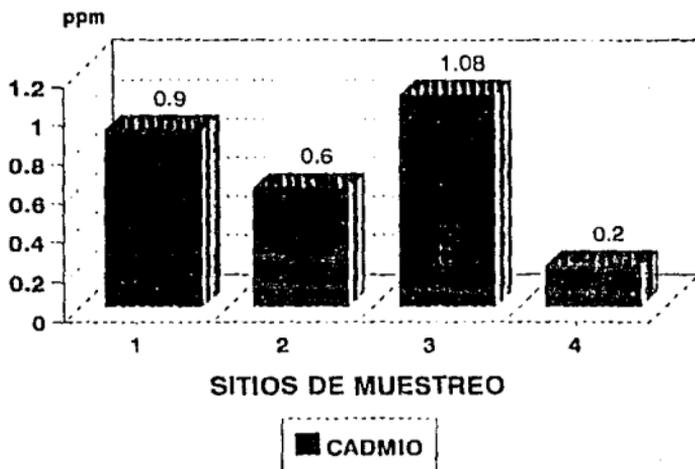
GRAFICA 38

CONCENTRACION DE MANGANESO EN PLANTA DE ALFALFA (FOLLAJE: TALLO Y HOJA)



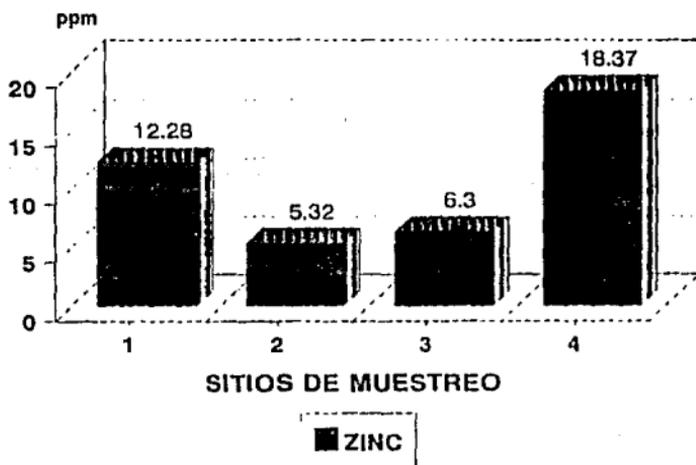
GRAFICA 39

CONCENTRACION DE CADMIO EN PLANTA DE ALFALFA (FOLLAJE: TALLO Y HOJA)



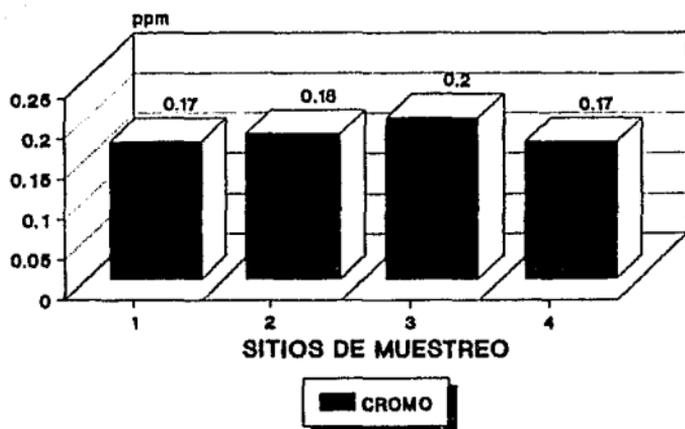
GRAFICA 37

CONCENTRACION DE ZINC EN PLANTA DE ALFALFA (FOLLAJE: TALLO Y HOJA)



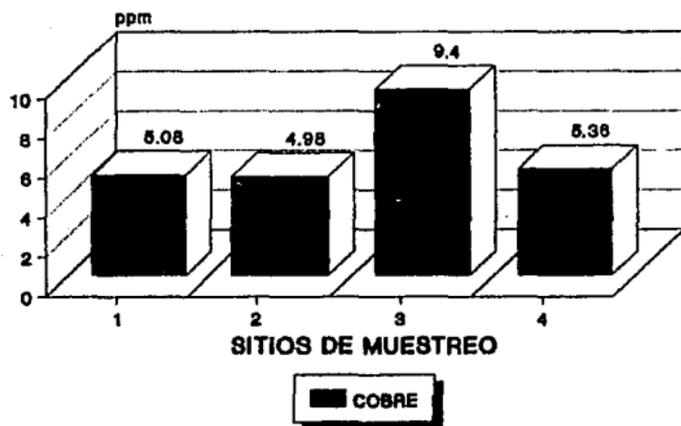
GRAFICA 38

CONCENTRACION DE CROMO EN PLANTA
DE ALFALFA (RAIZ)



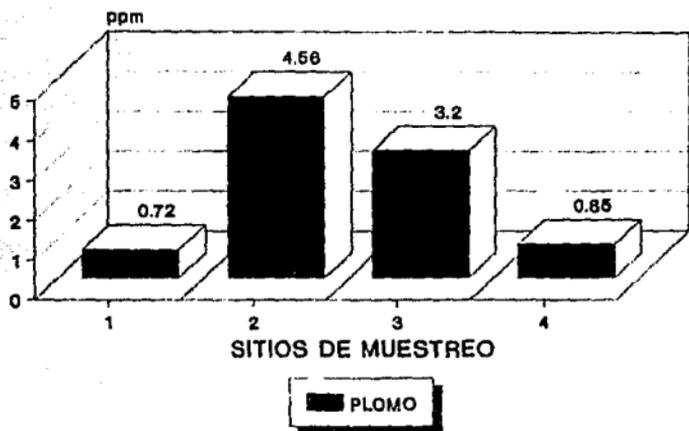
GRAFICA 39

CONCENTRACION DE COBRE EN PLANTA
DE ALFALFA (RAIZ)



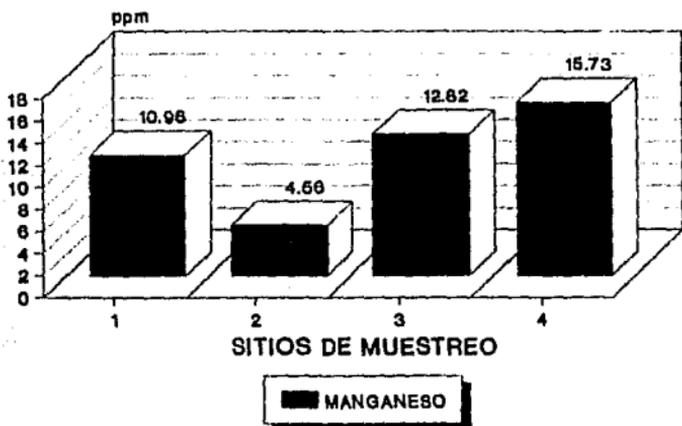
GRAFICA 40

CONCENTRACION DE PLOMO EN PLANTA DE ALFALFA (RAIZ)



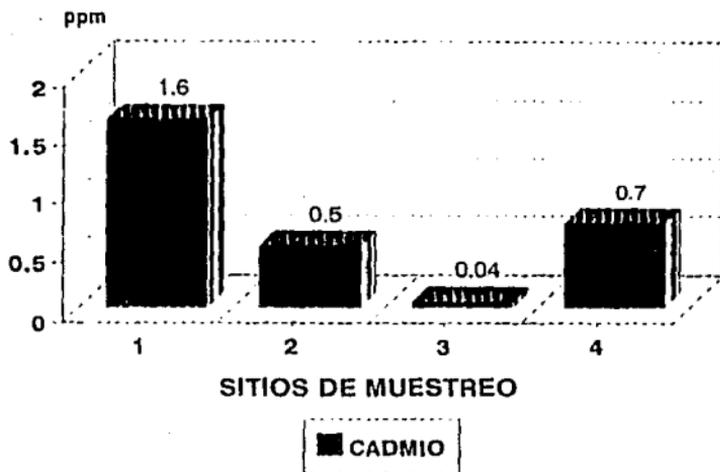
GRAFICA 41

CONCENTRACION DE MANGANESO EN PLANTA DE ALFALFA (RAIZ)



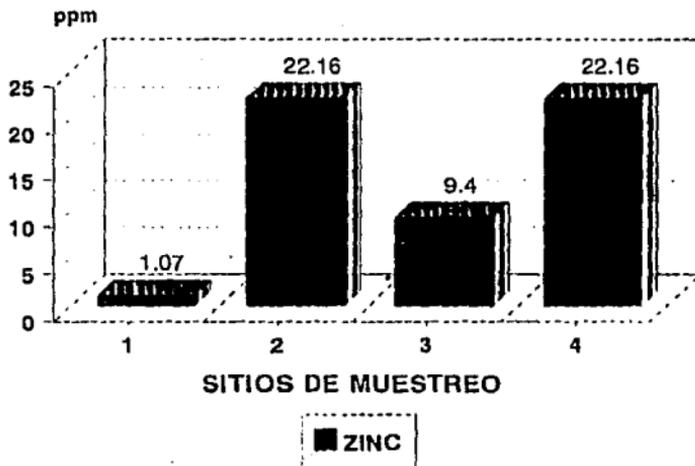
GRAFICA 42

CONCENTRACION DE CADMIO EN PLANTA DE ALFALFA (RAIZ)



GRAFICA 43

CONCENTRACION DE ZINC EN PLANTA DE ALFALFA (RAIZ)



GRAFICA 44

V. CONCLUSIONES

El agua de los diferentes afluentes del municipio de Teoloyucan utilizados para riego agrícola y los cuales no son considerados como aguas residuales para riego, no tienen las características establecidas por las instituciones nacionales como SARH, SEDESOL, S.S.A. ECO-QMS, para su uso en la agricultura y que al utilizarlas es probable que se contamina el suelo, los tejidos vegetales y el medio ambiente en general.

Dentro de los valores máximos permisibles para agua de uso agrícola se encontró que se rebasaron en las siguientes determinaciones : oxígeno disuelto, sólidos sedimentales, conductividad eléctrica, detergentes, grasas y aceites, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, coliformes totales, coliformes fecales y grados tóxicos de cadmio y manganeso.

El uso de estas aguas en el riego agrícola provocan los efectos que a continuación se describen :

- Al tener una nula cantidad de oxígeno disuelto se refleja una gran contaminación por desechos orgánicos y a su vez hay una gran producción de cantidades de sulfuros, mercaptanos y otros compuestos de mal olor que provocan una polución en el medio ambiente y hay una nula actividad de hábitat acuático.
- Se puede decir que las aguas del municipio tienen grandes descargas de origen industrial, ya que para la conductividad eléctrica son mejores conductores de corriente los ácidos, bases y sales que las moléculas de compuestos orgánicos.

- Al existir grandes cantidades de detergentes en las aguas para riego se impide que el oxígeno del aire sea transferido al agua tendiendo a provocar condiciones anaerobias. Puesto que los detergentes, tienden a formar capas de espumas muy estables que son arrastradas por el viento llevando consigo grandes cantidades de microorganismos patógenos afectando la salud pública; además los detergentes afectan los rendimientos de los cultivos y las características físicas y químicas del suelo.

- En las grasas y aceites forman grandes capas que tienden a cubrir superficies del agua y suelo e interfieren con la acción biológica de los mismos.

- Situándose en que las condiciones de drenaje de los suelos del municipio son pobres por ser su textura arcillosa se disminuye el oxígeno disponible, y si se utilizan aguas residuales con alto requerimiento de oxígeno sea por demanda química de oxígeno o por demanda bioquímica de oxígeno la situación se agrava, ya que las plantas son afectadas por la poca disponibilidad de oxígeno en el suelo.

- La cantidad tan grande de coliformes fecales y totales (más de 24,000 por 100 ml) que contiene el agua la hace aún más indeseable, ya que puede provocar un grave problema de salud pública por la presencia de enfermedades gastrointestinales en la población, además de que no se debía sembrar ningún tipo de hortaliças en esta zona, sin embargo, es una actividad muy común.

- Los metales presentes en el agua podrían causar problemas de salud pública por la característica de bioconcentración y bioacumulación en el ambiente principalmente el cadmio y manganeso que rebasaron los límites permisibles.

- La concentración de metales en el suelo y planta no obstante que se encuentran en pequeñas cantidades estas son muy importantes por que se incorporan en la cadena alimenticia y pueden provocar efectos nocivos en la salud pública.

VI. ALTERNATIVAS

- Que las descargas de agua de desecho industrial se traten antes de ser arrojadas a los afluentes.
- Que el agua de uso agrícola que se utiliza en el municipio sea tratada en la zona donde se unen los tres afluentes que sirven de riego agrícola.
- Como mínima medida se deben de disminuir las descargas de metales pesados por la industrias y principalmente de cadmio y manganeso, ya que estos se encuentran en niveles tóxicos en el agua.
- En base en este estudio se debe ya considerar la zona de Teoloyucan como un lugar donde se riegan con aguas residuales, puesto que, en la actualidad no está reconocida como tal y por consiguiente no se han tomado medidas adecuadas de tratamiento de aguas o su control.
- Iniciar los estudios de factibilidad para la construcción de una planta de tratamiento físico-químico-biológico, para evitar la posible pérdida a largo plazo de la zona agrícola y poder evitar los problemas de salud pública que se pudiera presentar por la circulación de estas aguas residuales.

- En los resultados de investigación de tolerancia, es necesario recopilar y analizar la información internacional, con el fin de establecer el mejor conjunto posible de parámetros y sus respectivos límites máximos permisibles para la protección de los ecosistemas acuáticos, los seres vivos en general, las fuentes de abastecimiento de agua potable y las actividades agrícola, ganadera, pecuarias y acuícola.

BIBLIOGRAFIA

- Albridge B.L. (1986), TOXICOLOGY AND BIOLOGICAL MONITORING OF METALS IN HUMANS: LEWIS publishers Págs. 252.
- Alexandre. P. (1979), VALORISATION DES BOVES-UTILIZATION EN AGRICULTURE. La Tribune DU OCEBEDEAU. Núm. 424, Marzo - 1979. Francia. Págs. 137.
- Alpuche González. L. (1991), PLAGUICIDAS ORGANOCORADOS Y MEDIO AMBIENTE. Ciencia y Desarrollo. Enero-Febrero 1991. Vol. XVI. Núm. 96. Págs. 45-54.
- Arango Maldonado, José Manuel (1990). PANORAMA GENERAL SOBRE LA REUTILIZACION DEL AGUA EN EL RIEGO AGRICOLA EN MEXICO. Taller de reuso del agua en la Agricultura. Experimental México-Israel. Págs 19-23.
- Arevalo Vargas, Jorge (1984), ALGUNOS COMPONENTES DEL CRECIMIENTO DE VIDES. Cvs. (Caringnape y Cabernet sauvignon, - bajo riego con aguas negras). Tesis UACH. Méx. Págs. 20-92.
- Ayanegui Jaritz, B. y García G. A. (1986), IMPACTO SOBRE EL SUELO POR LA DISPOSICION DE AGUAS RESIDUALES CRUDAS Y TRATADAS. Facultad de Ingeniería. UNAM. Págs. 35-39.
- Badillo G.F. (1986), CADMIO, CURSO BASICO DE TOXICOLOGIA AMBIENTAL. Ed. Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud. O.M.S. Metepec, Méx. Págs. 161-303.
- Barry T. K.B. (1972), LEAD AND CADMIUM CONTENT OF SOME VEGETABLE FOODS. TUFFS. J. Sci. Pd. Agric. 23:1493-1498.
- Bertlett R.J. and Kimble J.M. (1976), BEHAVIOR OF CHROMIUM IN SOILS: I, II HEXAVALENT FORMS. J. ENVIRON. Qual. Vol. 5: Núm. 4. Págs. 383-386.
- Blancarte Z.M. (1981), CINETICA DE REMOCION DE DETERGENTES DE USO INDUSTRIAL EN UN SISTEMA DE LODOS ACTIVADOS. Tesis (Ing. Bioquímico). IPN, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Méx. Págs. 45-109.
- Bingham V.K. (1975), GROWTH AND CADMIUM ACCUMULATION OF PLANTS GROWN ON A SOIL TREATED WITH A CADMIUM ENRICHED SEWAGE SLUDGE. J. ENVIRON QUAL. 4 (2): 207-211.
- Borys H.W. y Alturbe Díaz. H.A. (1982), RESPUESTA DE LAS VIDES A LAS AGUAS NEGRAS DEL CANAL DE TULA HGO. EFECTO DE LA ESPUMA EN EL VIÑEDO. XV. Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo, México., A.F. Resúmenes Págs. 170.
- Bosch García, Carlos. (1985), LA TECNICA DE INVESTIGACION DOCUMENTAL. 11a. edición., Editorial Trillas, Págs. 73.

- Boswell Fred. C. (1975), MUNICIPAL SEWAGE SLUDGE AND SELECTED ELEMENT APPLICATIONS TO SOILS. EFFECT ON SOILS AND FESCUE J. ENVIRON, QUAL. Vol. 4. Núm. 2 Págs. 270.
- Bozada Lorenzo, (1987), MEDIO AMBIENTE EN COATZACOALCOS VERACRUZ. Centro de Ecodesarrollo. Universidad Veracruzana. - Méx. Págs. 70.
- Broyer. T. Bridge L. (1972), SOME ASPECTS OF LEAD IN PLANT NUTRITION. Plant and Soil 36: 301-313.
- Brubaker S.E. (1978), PARA VIVIR EN LA TIERRA, Ed. Pax Méx. Págs. 38.
- Bryce and Smith. (1971), LEAD POLLUTION A GROWING HAZARD TO PUBLIC HEALTH. Britain 7 (2). Págs. 54-56.
- Calderón, José Luis (1991), PROGRAMA AGUA LIMPIA Y EL MANEJO DEL AGUA RESIDUAL, MEMORIA DEL TALLER AGUA Y DESARROLLO SOSTENIDO. Cd. Obregón Sonora. Méx. Págs. 43.
- Carbajal P.J.J. (1970), DETERGENTES BIODEGRADABLES, TESIS (ING. - QUIMICO). UNAM. Págs. 75.
- Carg Earl E. and Olson. O. (1977), CONTROL DE CHROMIUM CONCENTRATIONS IN FOOD PLANTS ABSORPTION AND TRASLOCATION OF CHROMIUM BY PLANTS. J. AGRIC.FOOD CHEM. Vol. 25, - Núm 2:300-304.
- Casanelles. (1983). LA CONTAMINACION HOY. Editorial Teide S.A. - Barcelona, España. Págs. 2-41.
- Cena B.J.M. (1984). EVALUACION DE LA CONTAMINACION POR CROMO EN AGUAS DE RIEGO, SUELO Y PLANTAS DEL VALLE DE TOLUCA, Tesis. UACH. Méx. Págs. 73.
- Chanlett E. (1976), LA PROTECCION DEL MEDIO AMBIENTE. INSTITUTO - DE ESTUDIOS DE ADMINISTRACION LOCAL. Madrid España. Págs. 52.
- Chui T.Z. (1988), CONTAMINACION OF SOIL AND PLANT BY RECYCLING OF SCRAP PLASTICS, ENVIROMMENT- INTERNATIONAL. 1988. 14:6. 525-529.
- Comisión Constructora e Ingeniería Sanitaria (1971). CARTILLA DE SANEAMIENTO, S.S.A. Méx. Págs. 63.
- Comisión Nacional del agua (1990), REGLAMENTO, Méx. Págs. 4.
- CONAFRUT, (1982), EL ANALISIS QUIMICO INSTRUMENTAL EN LA FRUTICULTURA. PRINCIPIOS E INSTRUMENTACION. Méx. Págs.11-27.

- Contreras M.J. (1983), PROYECTO DE ESTUDIO SOBRE TIPOS DE CALIDAD DE AGUA DEL CURSO ESTUDIO DE CALIDAD DEL AGUA, SARH. Págs. 1-30.
- Cruz I.R. (1975), RESPUESTA DEL TRIGO A DIFERENTES NIVELES DE ABS-Y FERTILIZANTES. Tesis (Ing. Agrónomo. Esp. en Irrigación), ENA, Chapingo, Méx. Págs. 134.
- Cruz, M. (1991), EVALUACION DE METALES PESADOS. UACH, Méx. Págs. 140.
- Cuellar R.C.H. Y P.P. Martínez (1978), ALTERNATIVAS PARA EL CONTROL DE DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES EN MEXICO, - 1er. CONGRESO NACIONAL DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL. Guadalajara Jalisco. Méx. Vol. I. Págs. - 7-21.
- Dasarett L.J. (1982), CASARETT AND DDULL'S TOXICOLOGY: The basic science of poison. New York. USA Págs. 132-136.
- Dean D.R. (1960), SYNTHETIC DETERGENTS IN SEWAGE SLUDGE. JOURNAL - OF AGRICULTURAL SCIENCE 8 (2): February 1960. Págs. 139-148.
- De Dios H.J. (1977), PRODUCCION DE MAIZ FORRAJERO REGADO CON AGUAS NEGRAS EN EL DISTRITO DE RIEGO 88, CHICONAUTLA, Méx. Tesis. ENA. Méx. Págs. 35-93.
- Departamento de Sanidad del Estudio de Nueva York (1980), MANUAL- DE TRATAMIENTO DE AGUAS NEGRAS. ED. LIMUSA. Méx. - Págs. 94.
- Diario Oficial (1990), REGLAMENTO PARA EL APROVECHAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN EL RIEGO AGRICOLA EN MEXICO. Méx.
- Díaz Z.6. (1981), EL IMPACTO DE LOS DETERGENTES EN LOS RECURSOS - HIDRAULICOS DE MEXICO. SARH. Págs. 20.
- Dreisbach R.H. (1978), MANUAL DE ENVENENAMIENTOS. 3a. edición. - Editorial el Manual Moderno. Méx. Págs. 189-190.
- Ediciones del Instituto Mexicano de Recursos Renovables A.C. (1972), PRIMER SEMINARIO SOBRE EVALUACION DE LA CONTAMINA - CION AMBIENTAL. Méx. Pág. 18.
- Environmental Protection Agency (EPÁ), (1987), ENVIRONMENTAL - POLLUTION CONTROL ALTERNATIVES: Municipal, Wastes - Center for Environmental Research Imformation. USA, - Págs. 79.

- Entrada López, L.H. (1983), ESTUDIO DE LA CALIDAD DEL AGUA Y PREVENCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN. SARH. Págs. 30-43.
- Ewen M.C.F. and Stephenson. (1977), THE USE AND SIGNIFICANCE OF PESTICIDES IN THE ENVIRONMENT, JOHN WILEY AND SONS (EDS), Nueva York, Págs. 166-179.
- Fernández V.G. y Fuentes G.V. (1986), EVALUACIÓN ESTADÍSTICA DE RENDIMIENTOS AGRÍCOLAS, UTILIZANDO AGUA DE RIEGO DE DIFERENTE CALIDAD. Facultad de Ingeniería, UNAM. Págs. 13-16.
- Figueroa A.M. CROMO, CURSO BÁSICO DE TOXICOLOGÍA AMBIENTAL, Ed. CENTRO PANAMERICANO DE ECOLOGÍA HUMANA Y SALUD, O.M.S. Metepec, Méx. Págs. 241-243.
- Fink D.H. (1970), ABSORPTION OF ANIONIC DETERGENTS BY SOILS, Journal of Water Pollution Control Federation. 42 (2). February 1970, Págs. 265-271.
- Flores M.T. (1984). ESTUDIO DE LA DEGRADACIÓN DE DETERGENTES EN UN SISTEMA DE LODOS ACTIVADOS. Memorias del IV Congreso de Ing. Sanitaria y Ambiental. Octubre. Morelia Michoacán. Méx. Págs. 280-284.
- Faud, Alfredo (1991 CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA EN MÉXICO, Información Científica y Tecnológica. Vol. 13, Núm. 13, 1991 Méx. Págs. 71-93.
- Gallegos G.R.M. (1985), DETERMINACIÓN DE RESIDUOS DE DETERGENTES DE AGUA DE RIEGO EN TOLUCA. Tesis (Biología), UNAM. Págs. 32-33.
- Galvan García, Matilde (1983). ESTUDIO DE LA CALIDAD DEL AGUA Y PREVENCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN. Págs. 47-53.
- Galvao L.A. y German C.O. (1989), PLOMO. Serie Vigencia 8. Ed. Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud O.M.S. Metepec, Méx. Págs. 65.
- García Z. Ma. A. (1989). ESTUDIO DEL GRADO DE CONTAMINACIÓN POR PLOMO, CADMIO Y CROMO EN SUELOS Y TEJIDOS VEGETALES POR EL USO DE AGUAS RESIDUALES EN LOS MUNICIPIOS DE TLAXCOAPAN, TLAHUELILPAN Y ATITALAQUÍA, HIDALGO, TESIS. UNAM, FES-C. Págs. 120.
- Gómez H.J. y Salinas O. (1973), PROBLEMAS DE EUTROFICACIÓN EN PROCESOS INDUSTRIALES. En Primera Reunión Nacional sobre Problemas de Contaminación Ambiental de Mejora del Medio Ambiente. Méx. Págs. 22-48.
- González V.C. (1986). ESTABLECIMIENTO DE PASTO SALADO BAJO RIEGO CON AGUAS NEGRAS EN EL LAGO DE TEXCOCO, UACH, Págs. 104.

- Grigoryan K.V. (1990), EFFECT OR IRRIGATION WATERS POLLUTED WITH INDUSTRIAL. SOVIET-SOIL-SCIENCE 1990, 22-2 Págs. - 121-128.
- Hernández F.A. (1987), TEOLOYUCAN, MONOGRAFIA MUNICIPAL, GOBIERNO DEL ESTADO DE MEXICO, Págs. 13-24.
- Higgins I.J. (1975), THE CHEMISTRY AND MICROBIOLOGY OF POLLUTION LONDON, ACADEMIC PRESS. Págs. 248.
- Hurtado C.6 y Sánchez R.J. (1989). ESTUDIO TECNICO PARA EL APROVECHAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES DE ZUMPANGO, EDO. DE MEXICO, CON FINES DE RIEGO AGRICOLA, TESIS, UNAM, FES-C Págs. 222.
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. (IMTA), SARH, (1986), - Aprovechamiento de aguas residuales en Distritos de Riego, Méx. Págs. 94-95.
- Instituto Nacional del Consumidor, NÚm. 11, 18, 21, 22 (1978), 49 (1981) y 65 (1982), Méx.
- Jonguitud F.M. y Col. (1976), ESTUDIO DEL IMPACTO DE LOS DETERGENTES EN EL RECURSO HIDRAULICO. 5a. ETAPA SRH, Méx. Págs. 186.
- Jones H.R. CADMIUM CONTENT OF SOIL HEANS GROWN IN SEWAGE SLUDGE A MENDED SOIL. J. ENVIRON QUAL 2 (3): 351-353.
- Jones T. W. (1972), LEAD UPTAKE FROM SOILS BY PERENIAL RYEGRASS- AND ITS RELATION TO THE SUPPLY OF AN ESSENTIAL ELEMENT PLANT AND SOIL 38:605-619.
- Juárez C.M. (1971), EFECTOS DE LOS COMPONENTES DE LAS AGUAS NEGRAS (BORO Y ABS), EN EL DESARROLLO DE LA LECHUGA Y EN EL FRIJOL, BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO. Tesis (Maestría en Ciencias Agrícolas Esp. en Riego y Drenaje). ENA. Colegio de Postgraduados, Chapingo. Méx. Págs. - 77.
- Kabata A y Pendias R.N. (1986), TRACE ELEMENTS IN SOILS AND PLANTS. FOURTH PRINTING, CVS Press Inc. Boca ratón. Florida E.U.A. Págs. 40-93.
- Khrisma Murti, G.S. (1966), SOIL AND SORPTION OF LINEAR Alkilate sulfonate, soil Science society American proceeding- 30 (6) november, 1966 Págs. 685-698.

- Lahusti M.P.P. (1979), ACCUMULATION OF Cr. IN PLANT CROP. J. Sci. FOOD AGRIC. 30 (2): 136-142).
- Layman. P. (1984), REVISION DEL MERCADO DE LA INDUSTRIA DE LOS DE TERGENTES. NOTICIAS TECNICAS INFOTEC (8-8417597). Págs. 17-40.
- Leal y del Torno (1983), Manual del curso estudio de calidad del agua. SARH Págs. 97.
- Lima Enriquez, Juan M. (1988), TRATAMIENTO BIOLOGICO DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS DE LA POBLACION DE SAN SALVADOR EL VERDE EDO. DE PUEBLA. Universidad Autónoma de Puebla. Págs. 1-18.
- Linsley R.K. and Franzini J.B. (1979), WATER RESOURCES ENGINEERING- Mc Graw-Hill New York. USA. Págs. 38-55.
- Martínez P.P. y González F.J. (1971), EVALUACION DE LOS ESTUDIOS SOBRE EL ABS Y EL LAS. EFECTOS EN LA AGRICULTURA Y LA FAUNA la. ETAPA, URH, Méx. Págs. 45.
- Martínez Rocha, José Raúl (1987), CONTAMINACION DEL AGUA Y METODOS CORROSIVOS, UACH, Méx. Págs. 19-41.
- Mascareño Castro, Felizardo (1974). ESTUDIO PRELIMINAR SOBRE CONTAMINACION DE SUELOS Y DE LA PRODUCCION AGRICOLA EN EL DISTRITO DE RIEGO 03, POR EL USO DE AGUAS NEGRAS DE LA CIUDAD DE MEXICO. Tesis. ENA. Chapingo, Colegio de Postgraduados. Págs. 114.
- Melcalf and Eddy. (1979), WASTEWATER ENGINEERING, SERIES IN WATER RESOURCES AND ENVIRONMENTAL, MC. Gran Hill, USA. - Págs. 31-108.
- Mclean, H.C. y Co. L. (1974), ARSENIC CONTENT OF VEGETABLES GROWN IN SOILS TREATED WITH LEAD ARSENITE; J. of economic entomology 37 (2), Págs. 315-316.
- Minerals Yearbook (1986), U.S. Dept. of the interior, Washinton.
- Mitastein L.P. y Burridge J., en el Mezquital, el riego con aguas negras, Méx. Págs. 43.
- Moeller E y Fernández L. (1986), EFECTO DEL DETERGENTE PRESENTE - EN LAS AGUAS DE RIEGO SOBRE EL DESARROLLO DE SIETE-CULTIVOS BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO, HACH, Méx. Págs. 21-66.
- Montané R. (1973), EFECTOS DE LA CONTAMINACION POR DETERGENTES EN LOS SERES VIVOS EN REUNION NACIONAL SOBRE PROBLEMAS DE LA CONTAMINACION AMBIENTAL I., MEXICO MEMORIA - S.S.A. Págs. 477-486.

- Morell J.L. (1976), LAND APLICATION OF WASTE MATERIALS. SOIL CONSERVATION SOCIETY OF AMERICA. Págs. 89-110.
- Moreno L.O. (1983), ESTUDIO DE ALGUNOS TRAMOS DE LOS PRINCIPALES EFLUENTES DEL RIO TULA. Subsecretaría del Mejoramiento ambiental, Méx. D.F. Págs. 45-87.
- Morones E.J. y Moreno A.F. (1983), AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES E INDUSTRIALES. MANUAL DEL CURSO ESTUDIO DE CALIDAD DEL AGUA, SARH. Págs. 75.
- Mortvedt J.J. and Giordano P.M. RESPONSE OF CORN TO ZINC AND CHROMIUM IN MUNICIPAL WASTES APPLIED TO SOIL. J. ENVIRONMENTAL QUAL. Vol. 4 N.º 2 Págs. 170-173.
- Murguía V.E. (1973), EFECTO DE LA CONTAMINACION DEL AGUA SOBRE PLANTAS Y ANIMALES EN SEMINARIO SOBRE EVALUACION DE LA CONTAMINACION AMBIENTAL. ATLIHUETZIA, TLAX. Méx. Memoria IRMMR. Págs. 79-92.
- Nemorrow. N.L. (1973). SCIENTIFIC STREAM POLLUTION. Analysis series in water resources and environmental engineering - McGraw-Hill USA. Págs. 374-411.
- Norma Técnica Ecológica (NTE-004/91), SEDUE (1991).
- Ollervides G. J. (1986), DIAGNOSTICO DE EFICIENCIA DE TRATAMIENTO PLANTA ECCACIV Y ESTRATEGIAS PARA MEJORARLA. MEMORIA V CONGRESO NACIONAL DE ING. SANITARIA Y AMBIENTE. Sociedad Mexicana de Ingeniería Sanitaria y Medio Ambiente. Págs. 95-124.
- Pacheco M.A. (1983), MEDICIONES DE CAMPO, ESTUDIO DE CALIDAD DEL AGUA. Manual del Curso. SARH. Págs. 219.
- Page A.L. and A.C. Chang (1975), TRACE ELEMENT AND PLANT NUTRIENT CONSTRAINTS OF RECYCLING SEWAGE SLUDGE ON AGRICULTURAL LAND. THE SECOND NATIONAL CONFERENCE ON COMPLETE WATER REUSE: WATER REUSE: WATER'S INTERFAS WITH ENERGY, AIR AND SOLIDS Chicago Illinois, E.U. Págs. 201-209.
- Parmidas, Felipe (1983), METODOLOGIA Y TECNICAS DE INVESTIGACION EN CIENCIAS SOCIALES. 18a. edición. Editorial Siglo XXI. Méx. Págs. 211.
- Peralta F.M.L. (1986), ALGUNAS CONSIDERACIONES DE LOS REQUERIMIENTOS DE CALIDAD DEL AGUA PARA USO URBANO EN AREAS MARGINADAS. Departamento de Sociología Rural. UACH, Méx. (Documento Mecanografiado).

- Pereira B.A. y Nefussi (1986), ASPECTOS TOXICOLÓGICOS DE AGENTES QUÍMICOS. Ed. Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud O.M.S. Metepec, Méx. Págs. 16-55.
- Popa M.E. (1967), EFFECT OF PHENOL AND LAS (ANILYL-SULFONATE) AND ABS (ALKYL-BENZENE-SULFONATE) DETERGENTS ON TOMATO DEVELOPMENT AND CROPS IN HYDROPONIC CULTURES. Hydroponics 8 (2) February (1976). Págs. 136-161.
- Quillet, (1978), DICCIONARIO ENCICLOPEDIA QUILLET, Tomo segundo B-Compraventa. Editorial CUMBRE, S.A. Méx.
- Ríos A.J.R. y (1979), EFECTO DEL BORO Y SODIO EN EL RENDIMIENTO DE LOS CULTIVOS EN EL DISTRITO DE RIEGO 03 TUA HGO. Chapingo, Méx. Revista Nueva Epoca Núm. 19. Págs.-17-21.
- Rivera Gómez, F. (1970), EFECTOS DEL DETERGENTE PRESENTE EN LAS AGUAS DE RIEGO, SOBRE EL DESARROLLO DE SIETE CULTIVOS BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO, Tesis (Ing. Agrónomo Esp. en suelos). ENA, Chapingo, Méx. Págs. 52.
- Robeck G. (1963), DEGRADATION OF ABS AND OTHER ORGANICS IN UNSATURATED SOILS, JOURNAL OF WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION 35 (10), October (1963), Págs. 1212-1236.
- Romero R.R. (1983), CRITERIOS FÍSICOS Y QUÍMICOS DE CALIDAD. Manual del Curso Estudio de Calidad del agua, SARH, Méx. Págs. 107-129.
- Rose D.S. and Bartlett R.J. (1981), BEHAVIOR OF CHROMIUM IN SOILS, IV TOXICITY TO MICROORGANISMOS. J. ENVIRON, QUAL VOL. 10, Núm. 2, Págs. 145-147.
- Sabey B.R. and Hart W.E. (1975), LAND APPLICATION OF SEWAGE SLUDGE I, EFFECT OF GROWTH AND CHEMICAL COMPOSITION OF PLANTS. J. ENVIRON, QUAL. 4 (2), Págs. 252-256.
- SARH - SSA (1975), REGLAMENTO PARA LA PREVENCIÓN Y CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN DE AGUAS, Méx. Págs. 43.
- SARH (1976), SUBSECRETARÍA DE LA CONSTRUCCIÓN, DIRECCIÓN GENERAL DE IRRIGACIÓN Y CONTROL DE RÍOS. Boletín de Divulgación Técnica Núm. 8, Méx.
- SARH (1984), MANUAL DE APROVECHAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES EN EL RIEGO AGRÍCOLA. Págs. 49-67.
- SEP (1983), LA MINERÍA EN MÉXICO. Págs. 13.

- SRH (1973), GENERALIDADES DEL DISTRITO DE RIEGO NUM. 03, DE TULA HGO. Hoja de Divulgación Núm. 1, Mixquiahuala Hgo.
- SSA (1977), LEGISLACION AMBIENTAL DE MEXICO, SECRETARIA DE MEJORAMIENTO DEL AMBIENTE, Méx. Págs. 52
- Scientific American. (1981), LA BIOSFERA. 3a. edición, Madrid. - España. Págs. 260.
- SEDUE, (1988), CONTROL DE LA CONTAMINACION EN MEXICO. Ed. Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud. O.M.S. Metepec Méx. Págs. 33-77.
- SEDUE, (1982), LEY FEDERAL DE PROTECCION AL AMBIENTE. Enero (1982) Págs. 27-98.
- SEDUE s/f. REGLAMENTO PARA LA PREVENSIÓN Y CONTROL DE LA CONTAMINACION DE AGUAS, Serie Normatividad ecología Núm. 4, Méx. D.F. Págs. 15.
- Secanez H.C. (1978), APROVECHAMIENTO Y TRATAMIENTOS AGRARIOS DE LAS AGUAS RESIDUALES URBANAS. INIA- Ministerio de agricultura. Madrid, España. Págs. 14-54.
- Serrano y Col. (1983), LA CONTAMINACION POR METALES PESADOS EN LA ZONA DE LINARES. Anales de Edafología y Agrobiología 1983, 42: 11/12 Págs. 1913-1929.
- Shuval, H. (1977), HEALTH CONSIDERATIONS AN "WATER RENOVATION AND REUSE". H. SHUVAL (Editores) Academic Press, Nueva York, Págs. 33-70.
- Siegel S.M. (1977), THE CITOTOXIC RESPONCE OF NICOTIANA PROTOPLASMS TO METAL IONS; A SORVEY OF THE CHEMICAL ELEMENTS WATER, AIR, SOIL, POLL. 8:293-304.
- Sing B.E. and Steinnes (1976), UPTAKE OF TRACE ELEMENTS BY BARLEY IN ZINC-POLLUTED SOILS: 2, LEAD, CADMIUM, MERCURY, SELENIUM, ARSENIC, CHROMIUM AND VANADIUM IN BARLEY, SOIL SCI. Vol. 121, Núm. 1, Págs. 38-43.
- Solis Soto, Jorge (1988), INVESTIGACION E INFORME SOBRE LAS PRINCIPALES FUENTES DE CONTAMINACION Y ALGUNOS EFECTOS SOBRE LOS CUERPOS DE AGUA EN EL EDO. DE VERACRUZ. Universidad Veracruzana, Xalapa Ver. Págs. 20-30.
- Steinnes B.K. (1989), HEAVY METAL POLLUTION BY LONG RANGE ATMOSPHERIC TRANSPORT IN NATURAL SOILS OF SOUTHERN NORMAY, WATER-AIR AND SOIL POLLUTION 1989, 45: 3/4, Págs. 207-218.
- Stephano H.A. (1971), EFECTOS EN EL GANADO BOVINO DEL AGUA QUE CONTIENE DETERGENTES. Veterinaria, tesis, Méx. Págs. 2-40.

- Swisher R.D. (1970), SURFACTANT BIODEGRADATION. NEW YORK, M. DEKKER (SURFACTANT SCIENCE SERIES), Vol. 3. Págs. 496.
- Tecla J. Alfredo y Garea Ramos, Alberto (1981), TEORIA, METODOS Y TECNICAS DE LA INVESTIGACION. 13a. edición. Editorila Taller abierto. Págs. 161.
- Tejeda, González, Carlos (1986), EL RIEGO CON AGUAS RESIDUALES EN-MEXICO; EFECTOS EN LA SALUD Y PROPUESTAS TECNICAS. Re vista de Ingeniería Ambiental. Sociedad Mexicana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental A.C. Págs. 48-73.
- Tejeda González, Carlos (1986), PROGRAMA NACIONAL PARA EL APROVECHA MIENTO DE AGUAS RESIDUALES, IMTA, SARN, Méx. Págs. 87-93.
- Thowann R.V. (1983), SYSTEMS ANALYSIS AND QUALITY MANAGEMENT, Mc - Graw-Hill. New York, USA. Págs. 15-66.
- Torres A. (1985), NUEVA CARTOGRAFIA DEL ESTADO DE MEXICO.
- Torres Morales, J.C. (1992). EVALUACION DEL IMPACTO DE LOS METALES PESADOS DEL AGUA RESIDUAL DE LA CIUDAD INDUSTRIAL DEL VALLE DE CUERNAVACA (CIVAC), EN EL RECURSO SUELO Y EN CULTIVOS EN LOS MUNICIPIOS DE JIUTEPEC, EMILIANO ZAPATA Y KOCHITEPEC, EDO. DE MORELOS. TESIS UNAM, FES-C. Págs. 132.
- U.S. Environmental Protection Agency (1972) WATER QUALITY CRITERIO, USA.
- Valle Vega, Pedro (1986), TOXICOLOGIA DE ALIMENTOS. Ed. Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud. O.M.S. Metepec, Méx. Págs. 143-159.
- Vázquez Yañez, Carlos (1982), DETERIORO AMBIENTAL, SUS CAUSAS Y EFECTOS. Consejo Nacional para la enseñanza de la Biología A.C. Ed. Continental S.A. Méx. Págs. 63.
- Vega G. Sylvia (1985), EVALUACION EPIDEMIOLOGICA DE RIESGOS CAUSADOS POR AGENTES QUIMICOS Y AMBIENTALES. TOXICOLOGIA III, ASPECTOS ESPECIFICOS DE LA TOXICOLOGIA DE ALGUNOS CONTAMINANTES. Ed. Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud, O.M.S. Metepec, Méx. Págs. 190.
- Verry Jack, M. (1968), AGUA SU CALIDAD Y TRATAMIENTO. American Water Works Association. Ed. UTEHA, Méx. Págs. 31.
- Vizcaino Murray, Francisco (1976), LA CONTAMINACION EN MEXICO. Fondo de Cultura Económica. Méx. Págs. 17-24.
- Wanielista, M.P. (1979), STORMWATER MANAGEMENT QUANLITY AND QUALITY, Ann Arbor S.C. publisher Inc. Ann Arbor. Michigan, USA. Págs. 40.

- Wilson D.G. (1977), "HANDBOOK OF SOLID WASTE MANAGEMENT" Var Hogrand Reinhold Company. Págs. 752.
- Wolfgang Purchel (1976), LAS REDES URBANAS DE SANEAMIENTO. Tratado General del agua y su distribución. Tomo VII, Editorial URMO, S.A. Bilbao España, Págs. 15-16.