



19
2 ej.

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
"CUAUTITLÁN"**

**ESTUDIO TÉCNICO PARA EL APROVECHAMIENTO
DE LAS AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES DE
ZUMPANGO, ESTADO DE MÉXICO, CON
FINES DE RIEGO AGRÍCOLA.**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO AGRÍCOLA
P R E S E N T A N
**GERARDO HURTADO CARRILLO +
JOEL SANCHEZ ROJAS**

DIRECTOR DE TESIS:
M.C. EDVINO JOSAFAT VEGA ROJAS

CUAUTITLÁN IZCALLI, EDO. DE MEX.

1989

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

INDICE

I.	RESUMEN E INTRODUCCION	6
II.	OBJETIVOS E HIPOTESIS	10
III.	REVISION BIBLIOGRAFICA	12
3.1.	Antecedentes del uso de las aguas residuales	16
3.1.1.	Reuso de las aguas residuales en los Valles de México y el Mezquital	16
3.1.2.	Reuso de las aguas residuales en Monterrey, N.L.	17
3.1.3.	Reuso de las aguas residuales en otras regiones del país	19
3.1.4.	Regiones con mayor potencial de reuso de las -- aguas residuales	19
3.1.5.	Factibilidad del reuso del agua en México	20
3.2.	Generalidades de las aguas residuales	22
3.2.1.	Clasificación según su origen	22
3.2.2.	Características físicas	23
3.2.3.	Características químicas	24
3.2.3.1.	Características químicas orgánicas	26
3.2.3.2.	Características químicas inorgánicas	27
3.2.4.	Características biológicas	30
3.2.5.	Valores promedio de las características de las aguas residuales	33
3.2.6.	Clasificación de las aguas para riego agrícola	34
3.3.	Efectos del riego con aguas residuales	40

3.3.1.	Efectos en cultivos	40
3.3.2.	Efectos en suelos	42
3.3.2.1.	Efectos de los nutrientes contenidos en las aguas residuales	42
3.3.2.2.	Efectos de la materia orgánica contenida en las aguas residuales	53
3.3.2.3.	Efectos de los metales pesados contenidos en las aguas residuales	55
3.3.2.4.	Efectos de las sales disueltas de las aguas residuales	57
3.3.2.5.	Efectos de los microorganismos presentes en las aguas residuales	59
3.3.3.	Efectos en consumidores y trabajadores agrícolas	59
3.3.3.1.	Efectos de los metales pesados	59
3.3.3.2.	Acción de los microorganismos	60
3.4.	Proceso de tratamiento de las aguas residuales e instalaciones necesarias	67
3.4.1.	Tratamientos de preaplicación	67
3.4.2.	Procesos de tratamiento de aguas residuales y su eficiencia	71
3.4.2.1.	Tratamiento primario	71
3.4.2.2.	Tratamiento secundario	72
3.4.2.3.	Tratamiento terciario	72
3.4.3.	Pretratamiento	76
3.4.3.1.	Cribas	76
3.4.3.2.	Dispositivos para remoción de arena	80

3.4.3.3.	Estaciones de bombeo	86
3.4.4.	Remoción de sólidos sedimentables	91
3.4.4.1.	Sedimentadores primarios	91
3.4.4.2.	Tanque Imhoff	98
3.4.4.3.	Lagunas	102
3.4.5.	Remoción de grasas, aceites y materia flotante	108
3.4.5.1.	Remoción de grasas y aceites	108
3.4.5.2.	Remoción de materia flotante	109
3.4.6.	Desinfección	111
3.4.6.1.	Cloración	112
3.4.6.2.	Hipocloritos y otros compuestos de cloro	114
3.4.6.3.	Ozonización	116
3.4.7.	Disposición de lodos	118
3.4.7.1.	Espesamiento de lodos	118
3.4.7.2.	Digestión de lodos	118
3.4.7.3.	Desecado de lodos	121
3.4.7.4.	Disposición final de lodos	127
3.5.	Calidad del agua que se puede utilizar en riego	129
3.5.1.	Tipos de cultivos que se pueden regar de acuerdo a la calidad del agua residual	131
3.5.2.	Disposiciones legales del uso de las aguas residuales.	137
IV.	AREAS DE ESTUDIO	139
4.1.	Aspectos físicos	139
4.1.1.	Localización	139

4.1.2.	Climatología	139
4.1.3.	Hidrología	144
4.1.4.	Geología	145
4.1.5.	Tipos de suelos	146
4.2.	Aspectos socio-económicos	147
4.2.1.	Demografía	147
4.2.2.	Estructura ocupacional	148
4.2.3.	Educación	149
4.2.4.	Ingresos	150
4.3.	Economía de agua potable y agua residual	150
4.3.1.	Aprovechamiento y demanda de agua potable	150
4.3.2.	Proyección de la población	155
4.3.3.	Proyección de la demanda de agua potable y del gasto de agua residual en la localidad de Zumpango	157
V.	METODOLOGIA	160
5.1.	Caracterización analítica de suelos y aguas del - - área de estudio.	161
5.2.	Método para la obtención de la necesidad de riego	165
VI.	RESULTADOS	167
6.1.	Análisis y clasificación de las aguas residuales del lugar	167
6.1.1.	Resultados de los análisis de agua de riego utili- zada en la zona de estudio	167

6.2.	Análisis y clasificación de los suelos del lugar	172
6.3.	Necesidades de agua para irrigación de los cultivos recomendables para la zona y delimitación del área bajo riego con las aguas residuales del lugar.	177
VII. ALTERNATIVAS DE CONDUCCION, TRATAMIENTO Y DESINFECCION DE LAS AGUAS RESIDUALES		180
7.1.	Consideraciones básicas de diseño de plantas de tratamiento	180
7.2.	Selección de procesos	184
7.3.	Alternativa I, Tanque Imhoff	191
7.4.	Alternativa II, Laguna de oxidación	202
VIII.DISCUSION		207
IX. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		213
BIBLIOGRAFIA		219

I. RESUMEN

El presente trabajo se realizó con la finalidad de mostrar la importancia que tiene en la actualidad el aprovechamiento correcto de las aguas residuales municipales, ya que la escasez de agua para riego ha ocasionado que los agricultores empleen agua residual para regar sus cultivos. El analizar esta problemática y dar algunas alternativas es el objetivo de este estudio.

El municipio de Zumpango, se determinó como zona de estudio, dado que algunas unidades de riego del lugar extraen el agua residual del Gran Canal mediante bombeo y la utilizan sin darle ningún tratamiento, lo que les trae un beneficio a corto plazo, pues obtienen el recurso y sacan la producción por algunos años, pero a la larga se van deteriorando las condiciones físico-químicas y biológicas del suelo, además de que algunos productos se contaminan.

En este estudio se indican las principales características físico-químicas y biológicas de las aguas residuales municipales en general y de los suelos presentes en la zona, así como la climatología y los cultivos que se pueden adaptar mejor a esta zona, para poder analizar la interacción entre estos elementos y definir la problemática para poder plantear alternativas.

Se estudiaron los principales tratamientos que se utilizan para el acondicionamiento de las aguas residuales municipales, a fin de que reunir las características necesarias para el riego agrícola. Por lo que, se hizo necesaria la caracterización de la zona, en donde se consideraron aspectos físicos, sociales y económicos, así como un estudio técnico para definir las instalaciones necesarias para una planta de tratamiento.

Al analizar diferentes procesos que se utilizan para el tratamiento de las aguas residuales municipales, se determinaron dos posibles alternativas

para el aprovechamiento correcto de este tipo de aguas y tomando en cuenta -- las condiciones que presenta el municipio de Zumpango, Estado de México, se -- definieron las características de las plantas de tratamiento.

En la primera alternativa se propone una planta de tratamiento de aguas residuales, con un tratamiento primario por medio del tanque Imhoff y con la aplicación de lodos a terrenos de cultivo; la segunda alternativa es un tratamiento a base de lagunas de estabilización, asumiendo que no se remueven los lodos de la laguna. En el diseño de estos dos tipos de tratamiento se indi-- can las instalaciones necesarias, con base a la calidad del agua residual del lugar, así como las dimensiones de éstas con base al volumen del agua que se va a manejar. Se calcularon las dosificaciones de cloro para la desinfección y se indica el manejo que se le da al lodo.

Por último, se ponen de manifiesto las conclusiones obtenidas al anali-- zar las ventajas y desventajas que presenta el uso de las aguas residuales en riego agrícola, resaltando los factores más importantes por considerar, los - alcances sociales, técnicos y económicos, que la creación de una planta de -- tratamiento de las aguas residuales, puede tener en los agricultores del Munij cipio de Zumpango.

INTRODUCCION

En la actualidad uno de los principales problemas que enfrentan los agricultores del país, es la escasez de agua de buena calidad para riego agrícola. Este fenómeno ha ido creciendo, debido a que, la población es cada día mayor y como se considera que las necesidades de aguas blancas que tiene la población deben de ser satisfechas con prioridad y posteriormente tratar de cubrir los requerimientos agrícolas e industriales, tenemos como resultado que, la ausencia de aguas blancas en la agricultura es cada vez mayor.

Para tratar de cubrir las demandas de aguas blancas de algunas zonas urbanas del país, se están sobreexplotando los mantos acuíferos y aun así no se han podido cubrir estos gastos, ocasionando con esto un desequilibrio ecológico en la zona, dado que los mantos acuíferos no se están recargando con la misma cantidad de agua que se está sustrayendo, originando que estos mantos se sequen paulatinamente y el agua se tenga que traer de lugares más profundos y/o que se tenga que traer de lugares más lejanos, originando esto que, el suministro de agua blanca sea más costoso.

Como se indicó anteriormente, las zonas urbanas tienen prioridad en el uso de aguas blancas, por lo cual se ha visto que parte del volumen de aguas blancas extraídas de pozos, que se destinaban a riego agrícola, actualmente se usan para tratar de minimizar las deficiencias de agua en las zonas urbanas.

Por lo expuesto antes, vemos que es necesario que se haga un uso más íntegro del agua, es decir, optimizar la explotación del recurso en sus diferentes estados cualitativos, ya sea agua blanca o agua residual.

Como en el riego agrícola no es indispensable que el agua que se utilice sea agua blanca, puesto que muchos cultivos se pueden regar con aguas residua

les, siempre y cuando este tipo de agua se encuentre libre de elementos tóxicos para el cultivo y de contaminantes que se pudieran acumular en la planta y que al ser consumidos los productos agrícolas por el hombre deterioren su salud, por lo que se propone en este estudio que se utilice al máximo las aguas residuales en el riego agrícola.

Para hacer un uso correcto de las aguas residuales en la agricultura, es necesario realizar estudios locales para determinar las características físicas, químicas y biológicas de estas aguas y de los tratamientos más adecuados para que reúna las cualidades que se requieren en riego agrícola.

Las aguas residuales tratadas son mejores para riego agrícola que las aguas blancas, dado que contienen un mayor porcentaje de nutrientes y llegan a mejorar las condiciones físico-químicas de los suelos salinos, lo cual se ha visto en los estudios realizados por la Comisión del Lago de Texcoco.

La elección del cultivo que se piense introducir es muy importante, ya que se deben considerar los siguientes aspectos:

Que se adapte a las condiciones climatológicas del lugar.

Que sea tolerante al mayor número de características de las aguas residuales sin tratamiento, para que los tratamientos sean más sencillos.

Que sean cultivos redituables, para que justifiquen y cubran la inversión.

Este tema lo hemos escogido, puesto que lo consideramos de gran actualidad e importancia, ya que la escasez de agua blanca ha obligado a muchos agricultores a utilizar aguas negras pero no le dan ningún tratamiento, por lo que el Sector Salud (S.S.) ha reportado un alto índice de mortandad, por el consumo de productos agrícolas contaminados.

II. OBJETIVOS DEL TRABAJO

Objetivo General

Determinar bajo que condiciones es factible el aprovechamiento de las aguas residuales municipales de Zumpango, Estado de México, en riego agrícola.

Objetivos Particulares

Seleccionar los estudios y las obras necesarias para que las aguas residuales municipales de Zumpango, sean aprovechadas adecuadamente en riego agrícola, sin que presenten efectos perjudiciales en el suelo y/o en los cultivos.

Definir los cultivos más propicios para ser regados con aguas residuales municipales tratadas, con base en las condiciones climatológicas y de las características físico-químico-biológicas del suelo y del agua, existentes en la zona de estudio.

Delimitar el área de riego que se pueda alcanzar, de acuerdo al uso consuntivo de los cultivos que se van a introducir y al caudal de aguas residuales municipales que se registran en la localidad.

HIPOTESIS

La instalación de una planta de tratamiento de aguas residuales en Zumpango, Estado de México, disminuirá el peligro que representa para el hombre y animales el consumo de productos agrícolas contaminados.

La instalación de una planta de este tipo mejorará la calidad del agua residual municipal y con esto los efectos nocivos sobre el suelo y los cultivos disminuirán.

III. REVISION BIBLIOGRAFICA

Las aguas negras, normalmente, tienen una gran variabilidad en su composición; contienen sustancias que generalmente, son favorables para la agricultura, por lo que su aplicación, hace suponer, que se mejoran las condiciones de productividad del suelo.(7) El riego con aguas negras puede favorecer un buen desarrollo vegetativo; sin embargo, esto no implica que el producto que se obtenga por el uso de estas aguas sea de buena calidad, ya que de cierto tiempo la planta comienza a manifestar síntomas diversos con este tipo de aguas, como son un lento crecimiento de la planta, síntomas de clorosis y formación de pequeñas manchas café en el follaje de la parte media y basal de la planta.(1)

Por otra parte Berrow y Webber citado por Arevalo (1) indican que recientemente el suministro de estiércol ha decaído, por lo que el cieno de aguas negras ha llegado a ser más ampliamente usado en tierras de cultivo.

Observaciones directas hechas a los cultivos regados con aguas negras demuestran que su acción es altamente benéfica para el incremento de las cosechas por la cantidad tan apreciable de nutrientes que trae en disolución y en suspensión y, además, porque los residuos orgánicos modifican las características físicas de los suelos, por ejemplo, haciendo más permeables los suelos arcillosos y aumentando la capacidad de retención de la humedad en los suelos arenosos.(2)

En el estudio agrológico de la Comisión de Estudios del Territorio Nacional, afirma que no es necesario la adición de fertilizantes al suelo, debido a que las aguas negras incorporan a éste una buena parte de nutrientes.

La Comisión Hidrológica de la Cuenca del Valle de México en su estudio "El Uso Agrícola de las Aguas Negras" de 1966, citado por Bautista de - -

Dios (2) señala un cuadro analítico obtenido de muestreos de aguas negras -- que se tomaron durante 1967 en el Gran Canal, en diversas fechas de los meses de febrero a noviembre del mismo año, en la cual se reporta como promedio 28 p.p.m. de nitrógeno que para una lámina de riego de 40 cms. nos aporta al suelo y asimilable para la planta alrededor de 110 kg. de nitrógeno total por -- hectárea. Estas aportaciones son altamente importantes, lo que explica los -- altos rendimientos que se obtienen cuando el riego se realiza con aguas ne -- gras.

Biar, citado por Briones (3) menciona que una gran variedad de cultivos están siendo irrigados con aguas residuales en México y a través del mundo. Conforme la necesidad de áreas de distribución para aguas residuales se increm^{ta} y los suministros de agua dulce se vuelven insuficientes, el hectareaje irrigado con agua residual tiende a elevarse prestando poca atención a los -- problemas de manejo y toxicidad que pueden derivarse de esta práctica.

Deben considerarse como componentes importantes de las aguas negras, por los efectos que pueden causar al suelo y a las plantas los detergentes (ABS) y los metales pesados.

Las investigaciones realizadas sobre el efecto de los detergentes (ABS), que integran parte importante de las aguas negras, han indicado que; los suelos tienen capacidad de adsorción de ABS siendo ésta mayor en la capa superfi^{ci}al, la eliminación de ABS adsorbido no es fácil en períodos cortos, y no se observaron efectos significativos en el suelo, hasta concentraciones de 10 -- p.p.m. de ABS. Por lo que puede mencionarse que las adiciones de detergentes (ABS) disueltos en las aguas negras, resultan benéficas para los suelos, más que perjudiciales.(7) Cantidades mayores de 60 p.p.m. de ABS, en las aguas negras se puede considerar como altamente tóxicos. A estos niveles se acumulan grandes cantidades de ABS, particularmente en las raíces de las plantas,

con la consiguiente reducción del rendimiento.(2)

La Revista "Ingeniería Agronómica", No. 18, (1981), menciona lo siguiente: La presencia de detergentes en el agua residual incrementa la evapotranspiración de algunos cultivos, el ABS en ausencia de fertilizante aumenta el rendimiento de trigo hasta concentraciones de 24 p.p.m. Dosis mayor indujeron disminución del rendimiento, los muestreos de suelos regados durante diferentes periodos de tiempo, demuestran que no se acumula el sodio, el ABS, ni las sales solubles.

El riego con aguas negras y la aplicación de una solución de espuma al follaje ocasionaron un efecto muy negativo en el número total de hojas, longitud de brote, área foliar y peso seco de follaje.(1)

Por lo que respecta a los metales pesados, éstos son precipitados en los lodos del agua residual durante un tratamiento y son por lo mismo mantenidos fuera del efluente que va a ser utilizado para irrigación. Sin embargo, algunos quelatos de iones metálicos solubles son formados por la combinación de metales pesados y orgánicos en el efluente y otros iones en disolución verdadera con el agua escapan al tratamiento. Cuando el agua residual es aplicada al suelo, los metales pesados son retenidos en la superficie de las arcillas cargadas electronegativamente. Los elementos presentes en los lodos y efluentes que pueden resultar tóxicos para los cultivos son: aluminio (Al), boro (B), cobalto (Co), cromo (Cr), flúor (F) y níquel (Ni).(13)

El boro, con una cantidad mayor de 3 p.p.m. ya puede considerarse tóxico.(2)

El componente biológico es importante en las aguas residuales, ya que el componente orgánico es un medio de cultivo que permite el desarrollo de los microorganismos. La incidencia de este componente biológico se manifiesta en cinco áreas diferentes: a) Descomposición de los compuestos orgánicos conte-

nidos en las aguas residuales, b) Eliminación de determinados compuestos orgánicos que son tóxicos para los vegetales y microorganismos del suelo, lugar a donde irán estos residuos, antes o después, c) Desaparación de microorganismos patógenos por competencia en el uso de recursos y oxigenación de las aguas residuales urbanas, d) Participación en los ciclos biogeoquímicos del N, P y S, elementos éstos que son fundamentales al estado de nitratos, fósforos y sulfatos, para la nutrición vegetal pero que de otra manera no son asimilables, o bien son tóxicos para el componente vivo del suelo, e) Reacciones de la materia orgánica transformada y del componente microorgánico frente a los constituyentes minerales del suelo, participando en la formación de microagregados organominerales, variando la solubilidad de determinados iones y su movilidad a lo largo de los diferentes horizontes del perfil, orientando la edafogénesis subsecuente en una u otra dirección por alteraciones de propiedades físicas, como la permeabilidad o la aireación y de propiedades biológicas, como la presencia de una u otra secuencia microbiológica que permite el desarrollo de determinados ciclos biogeoquímicos en uno u otro sentido, -- con un empleo de tiempo más o menos largo para llegar a un mismo fin.(23)

La calidad bacteriológica de las aguas residuales comunmente es insatisfactoria para la irrigación de cultivos alimenticios.(13) El límite permitido es de 1000 organismos coliformes por 100 mililitros de agua residual para la irrigación de legumbres que se consumen en fresco. En California, el Departamento de Salud Pública citado por Briones (3) permite que aguas residuales sedimentadas, sin desinfección, sean aplicadas mediante riego de superficie en huertas, viñedos, forrajes, cultivos de fibra y hortalizas para producción de semilla. La irrigación de cultivos alimenticios requiere de una agua residual desinfectada, que contenga una concentración de 2.2 coliformes totales por 100 mililitros.

En los análisis bacteriológicos practicados a las verduras, hortalizas y legumbres adquiridas en mercados y supermercados de la Ciudad de México, se infiere que casi todas ellas tienen el mismo grado de contaminación que las cultivadas en terrenos regados con aguas negras, de los productos lavados en distintas formas, se deduce que entre mejor es la limpieza a la que se somete menor es el grado de contaminación, esto hace sugerir que la contaminación es probablemente sólo de tipo superficial.(28)

3.1. ANTECEDENTES DEL USO DE LAS AGUAS RESIDUALES

En nuestro país, se ha practicado, desde hace algunas décadas, el reuso del agua residual en la agricultura, debido a que este tipo de agua son muy estimadas por los agricultores; sin embargo, ha sido en los últimos años, cuando se han iniciado programas específicos de estudios y proyectos para determinar la factibilidad técnico-económica del empleo de las aguas residuales en este sector productivo, así como los efectos que puede producir, a corto, mediano y largo plazo, en cultivos, suelos y salud de los humanos y animales.

3.1.1. Reuso de las aguas residuales en los Valles de México y el Mezquital

El reuso más significativo de aguas residuales de origen municipal es el que se ha venido realizando, desde el principio del siglo, en las zonas comprendidas en el Valle del Mezquital (Estado de Hidalgo) y de México.

Con las aguas residuales generadas en la zona metropolitana del Estado y Valle de México, se riegan 9440 ha, con un volumen de 97 millones de m³. Estas aguas se emplean también en el riego de aproximadamente 46 000 ha, en los distritos de riego 03, en Tula, Hidalgo, 27 en Ixmiquilpan, Hidalgo y 110 en

Alfajayucan, Hidalgo. El volumen total empleado fuera del Valle de México es de 1083 millones de m³ anuales, tomados de la salida del Gran Canal, Emisor Poniente, Emisor Central y de los ríos Tula, Salado y Alfajayucan. En el Valle de México se siembra, principalmente, maíz, avena, cebada, trigo y hortalizas; mientras que en el Valle del Mezquital sobresale la siembra de alfalfa, avena forrajera, cebada, chile, frijol y tomate.

En la tabla 3.1.2. a y b se presenta un panorama del aprovechamiento de las aguas residuales dentro y fuera del Valle de México.

3.1.2. Reuso de las aguas residuales en Monterrey, N. L.

El reuso de las aguas residuales en la Ciudad de Monterrey, N. L., una de las principales ciudades del país en población e industria, se inició en el año de 1954, con la finalidad de dar solución al problema de escasez de agua para abastecimiento;(17) sin embargo, la demanda en el suministro de agua es cada vez mayor.

Para responder a esta demanda, se han incorporado nuevas fuentes de abastecimiento, se ha tratado de hacer un uso más racional del recurso y se ha estudiado la posibilidad de reusar, en forma masiva las aguas debidamente tratadas.

El gasto medio de las descargas en los principales colectores de la ciudad es de aproximadamente 4 525 lps, el cual representa el 54% de la dotación sin considerar las pérdidas. De este gasto, se estima que se tratan aproximadamente 1 625 lps, sólo para fines industriales que representa una escasa fracción del agua residual generada.

Las aguas residuales que no se emplean para fines industriales, se utilizan, sin ningún tratamiento previo, en el riego de campos agrícolas en el Eji

TABLA 3.1.2.a

USO DE LAS AGUAS RESIDUALES DENTRO DEL VALLE DE MEXICO

Zonas de Riego	Dentro del Valle de México			
	Superficie (ha)		Volumen (M ^a m ³)	
	Total	Regadas con A.R. ^b	Total	Regadas con A.R.
D. F.	15	15	3.3	3.3
Estado de México	41 291	4 171	390.4	38.3
Hidalgo	2 671	810	10.3	2.7
Tlaxcala	1 821	-	8.35	-
A.R. ^c 88	4 444	4 444	52.6	52.6
T o t a l	50 242	9 440	464.95	96.9

TABLA 3.1.2.b

USOS DEL AGUA RESIDUAL FUERA DEL VALLE DE MEXICO

Zona de Riego	Fuera del Valle de México			
	Superficie (ha0)		Volumen (M ^a m ³)	
	Total	Regada con A.R. ^b	Total	Regadas con A.R.
D.R. ^c 03	46 527	39 083	1100.4	524.3
D.R. 27	2 053	2 053	43.5	43.5
D.R. 100	5 434	5 434	115.2	115.2
T o t a l	54 014	46 570	1259.1	1083.0

Nota: M^a = Millones

A.R.^b = Aguas Residuales

D.R.^c = Distritos de Riego

Fuente: Tejeda, G. C. 1980. Reuso del Agua en la Cuenca del Valle de México, Comisión del Plan Nacional Hidráulico-SARH, México

do "El Canadá" a través del "Emisor General" o "Emisor la Cloaca"; también, se tienen extracciones menores para la zona agrícola que se encuentra en las márgenes del Río San Juan, el cual recibe aportaciones considerables de - - aguas residuales de la Ciudad de Monterrey, por medio de los ríos Santa Catarina y Pesquería. Los principales cultivos que se siembran en esa región -- son: trigo, maíz, frijol, sorgo, cítricos y hortalizas, éstos últimos con - los consiguientes problemas sanitarios.

3.1.3. Reuso de las aguas residuales en otras regiones del país

El reuso de las aguas residuales se ha extendido a lo largo del Territorio Nacional, para satisfacer las demandas de agua en el sector agrícola. -- Los casos más representativos se tienen en el Valle de Cuernavaca, Estado de Morelos, en donde se están empleando aguas residuales tratadas, en la planta ECCACIV (Empresa para el Control de la Contaminación del Agua en el Corredor Industrial del Valle de Cuernavaca, Morelos), con un gasto de 232 lps, para - el riego de caña de azúcar (70%), maíz y plantas ornamentales; en Lerma-Toluca, en donde, actualmente se emplean aguas residuales crudas provenientes de la zona industrial del mismo nombre, con la construcción del Distrito de Control de la Contaminación, se podrán emplear 1 300 lps de aguas residuales tra - tadas en el riego de cultivos agrícolas; otras zonas se localizan en los esta - dos de Michoacán, Guanajuato, Querétaro, Baja California Norte, Coahuila y Du rango (región lagunera), principalmente.(4)

3.1.4. Regiones con mayor potencial de reuso de las aguas residuales

Debido a la necesidad que se tiene de adoptar medidas legales (leyes y -

reglamentos) y físicas (diseño, construcción, operación y mantenimiento de los sistemas de tratamiento) encaminadas a preservar y controlar la calidad de los cuerpos de agua, y a efectuar un reuso masivo de las aguas tratadas, principalmente para fines agrícolas, se inició el programa de Distritos de Control de la Contaminación del Agua.

Los distritos consideran el tratamiento conjunto de aguas residuales procedentes de un fraccionamiento, zona industrial o ciudad, o bien, el tratamiento conjunto a nivel regional de las aguas residuales generadas por núcleos urbano-industriales. Los usuarios pagan una cuota en función de la cantidad y calidad de sus aguas residuales. Las principales ventajas de los distritos de control son: reducción en costos de inversión inicial; mayor eficiencia en la operación y mantenimiento de la planta de tratamiento; mayor posibilidad de reutilización del agua; y posibilidad de reducir los daños en plantas, suelos y consumidores de productos agrícolas, si las aguas residuales se utilizan para riego.

Con los distritos de control de la contaminación del agua ya construidos y en operación como son el de CIVAC (Corredor Industrial del Valle de Cuernavaca), en el Estado de Morelos, y los de Lerma-Toluca y Lechería, en el Estado de México, y con los que serán construidos en diversas partes del país, en los próximos años, como son el de Sonora, Monterrey, Comarca Lagunera, Jalisco, etc., se podrá incrementar significativamente el reuso de las aguas residuales, principalmente en la agricultura, disminuyendo con estos efectos adversos potenciales.(4)

3.1.5. Factibilidad del reuso del agua en México

Con los avances tecnológicos logrados a nivel nacional e internacional,

es factible el utilizar aguas residuales para cualquier fin, dependiendo de - éste será el nivel de tratamiento que requieran estas aguas. En muchas oca- siones no es económicamente posible tratar aguas residuales para aprovechar- las en usos primarios, sobre todo cuando se requieren grandes volúmenes de -- agua de alta calidad, debido al incremento, muchas veces exagerado, del cos- to.(4)

Con base a la calidad de agua a emplear, en los valores recomendables y permisibles de contaminantes presentes en el agua para un uso específico y en el costo del tratamiento de las aguas residuales, se determinará la factibili- dad y las posibilidades del reuso del agua en los diferentes sectores del - país.

Existe un amplio potencial de aguas residuales que pueden ser aprovecha- das en la agricultura. Sin embargo, para darles el uso apropiado y evitar al teraciones en el medio ambiente y en la salud humana, se deben efectuar estu- dios de reuso del agua en la agricultura, la industria, los municipios y en - la recarga de acuíferos, tendientes a investigar, experimentar y definir cri- terios y proponer normas, métodos, sistemas y procedimientos, que técnica y - económicamente sean más convenientes para garantizar su aprovechamiento; con esto se pretende lograr disponer adecuadamente las aguas residuales, dismi- - nuir la contaminación de los cauces superficiales, incrementar la productivi- dad unitaria en las zonas de riego, aumentar el número de cosechas anuales y disminuir la incidencia de enfermedades.

La práctica de utilizar en riego aguas residuales provenientes de efluen- tes municipales es ampliamente conocida y estimada por sus elevados conteni- dos de macro y micronutrientes, así como por sus concentraciones de materia - orgánica que mejora la textura del suelo cultivable, menciona Bautista.(2) Sin embargo, no es posible generalizar sobre las cualidades benéficas de este

aprovechamiento, ya que también se han detectado serios problemas de afec-
ción agrícola derivados, en general, del desconocimiento de las característi-
cas del agua, cultivos y suelos, así como de las técnicas de utilización de
tales recursos. (9)

3.2. GENERALIDADES DE LAS AGUAS RESIDUALES

3.2.1. Clasificación según su origen

Según su origen, las aguas residuales pueden ser agrupadas como sigue: -
(4)

a) Domésticas: El agua de este tipo se compone principalmente de mate-
ria orgánica en forma de sólidos, que son originados por las actividades huma-
nas más elementales, y evacuados utilizando el sistema de alcantarillado. Es-
te tipo de aguas se caracteriza además, por su contenido de organismos patóge-
nos provenientes del tracto intestinal del hombre, entre los que se pueden --
mencionar los siguientes: coliformes fecales, estreptococos fecales, hueveci-
llos de nemátodos, quistes amibianos, etc. También contienen cantidades sig-
nificativas de materia inorgánica proveniente de la limpieza de las casas ha-
bitación, calles, centros comerciales, etc., siendo característicos los com-
puestos que forman los detergentes y concentraciones considerables de grasas
y aceites.

b) Industriales: Las aguas residuales de origen industrial se distin-
guen por contener gran variedad de sustancias, ya sea en forma disuelta o --
suspendida. Tal contenido define las características que condicionan el uso

de las aguas y determina el impacto sobre el medio ambiente cuando son utilizadas. Las principales industrias que aportan la mayor cantidad de aguas de este tipo son: la industria del aluminio, automotriz, azucarera, vitivinícola, conservas y enlatados, lácteos, fertilizantes, vidrio, cemento y concreto, asbestos, química, curtiduría, alimenticia, metales, petróleos, plásticos, pulpa y papel, termoeléctrica, acero y textil.

c) Agrícolas: Las aguas de retorno agrícola son todas aquellas que han pasado por campos agrícolas y no han sido absorbidas ni por los vegetales ni por el suelo; y por esto, contienen altas concentraciones de nutrientes provenientes de fertilizantes y concentraciones de plaguicidas. Este tipo de aguas provocan la aceleración de los procesos de eutrofización al llegar a los cuerpos de agua, además de ser causantes de contaminación, tanto de flora como fauna.

d) Municipales: Esta clase de agua se caracteriza por estar compuesta por agua residual doméstica y agua residual industrial; por lo que su tratamiento y depuración es más complicada que los otros tipos, debido a que generalmente el tratamiento de las aguas residuales domésticas es distinto al de las aguas residuales industriales, y en ocasiones pueden antagonizar.

3.2.2. Características físicas

Las propiedades físicas de las aguas residuales son conferidas en su mayor parte por el contenido total de sólidos, en sus diferentes variantes de materiales flotantes, sustancias coloidales y materia disuelta, menciona Seoanez.(24)

Los parámetros que hay que tener presentes en la caracterización de un agua son:

a) Temperatura: La temperatura de las aguas residuales no plantea graves problemas, ya que oscila entre los 10 y los 20°C, favoreciendo el desarrollo de la fauna bacteriana y flora autoctonas del suelo, y realizando una acción amortiguadora frente a la temperatura ambiente, tanto en verano como en invierno.

b) Color: Normalmente el color es indicador de la concentración y composición de las aguas contaminadas y varía del gris al negro por los procesos de descomposición. En la medida que éste sea más intenso, la capacidad de absorción de energía solar es mayor, y ello resulta en una ligera elevación de la temperatura del suelo.

c) Olor: Es causado por la descomposición de la materia orgánica, y -- del que se responsabiliza principalmente el ácido sulfhídrico, xindol, mercaptanos y otras sustancias volátiles, es eliminado por aleación o aspersión -- del agua en el momento de su aplicación al suelo.

d) Turbiedad: La turbiedad es proporcional a la cantidad de materia -- suspendida, contenida en las aguas residuales, por lo que a mayor turbidez, mayor contenido de partículas en suspensión.

e) Conductividad: En términos generales, la conductividad de un líquido es proporcional al contenido de materia disuelta o iones presentes; por lo que puede asegurarse que una agua residual de origen industrial presentará -- una mayor conducción de la corriente eléctrica que las otras aguas de diferente origen.

3.2.3. Características químicas

Las características sanitarias significativas en las aguas residuales, -- están dadas por compuestos químicos, radicales, elementos, etc., que determi-

nan la "fuerza" de éstas y son las siguientes:

a) Sólidos: Esta determinación es una medida de la cantidad de materia orgánica e inorgánica presente en nuestra muestra, y está representada por -- los sólidos totales, como producto de la evaporación del agua. Los sólidos totales pueden encontrarse en suspensión o disueltos; y estos pueden contener materia volátil o fija, en donde generalmente se considera a la materia volátil, como la materia orgánica y la fija a la mineral o inorgánica. Para facilitar el análisis, los sólidos totales son divididos según el siguiente esquema:

$$S.T. = S.S.T. + S.D.T.$$

$$S.V.T. = S.S.V. + S.D.V.$$

$$+ \quad + \quad +$$

$$S.F.T. = S.S.F. + S.D.F.$$

Donde:

S.T. = SÓLIDOS TOTALES

S.S.T. = SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES

S.D.T. = SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES

S.V.T. = SÓLIDOS VOLATILES TOTALES

S.S.V. = SÓLIDOS SUSPENDIDOS VOLATILES

S.D.V. = SÓLIDOS DISUELTOS VOLATILES

S.F.T. = SÓLIDOS FIJOS TOTALES

S.S.F. = SÓLIDOS SUSPENDIDOS FIJOS

S.D.F. = SÓLIDOS DISUELTOS FIJOS

Los sólidos totales son tanto los sólidos suspendidos como los disueltos; se reconocen al evaporar una muestra de agua a 104°C. Los sólidos suspendidos son los sólidos que quedan en el filtro después de filtrar la mues--

tra. Los sólidos disueltos son los presentes en el líquido filtrado de la determinación anterior y se reconocen al evaporar ésta a 104°C. Los sólidos fijos o inorgánicos, se determinan al quemar los sólidos totales suspendidos o disueltos a una temperatura de 550°C. Los sólidos volátiles inorgánicos se calculan sacando la diferencia de peso entre los sólidos fijos y los suspendidos. Al hablar de sólidos suspendidos, existe una diferencia entre los sólidos que sedimentan y los no sedimentables, calculándose el valor de los sólidos suspendidos totales por la suma de ambos.

3.2.3.1. Características químicas orgánicas.

Las principales características químicas orgánicas son:

a) Proteínas: Los elementos comunes a todas las proteínas son el carbono, el hidrógeno y el oxígeno. Aunque como característica particular, contiene un alto contenido de nitrógeno ($\pm 16\%$), y en algunos casos azufre, hierro, y fósforo. Las principales fuentes de nitrógeno responsables de los olores fétidos, debidos a su descomposición, son la urea y las proteínas.

b) Carbohidratos: Los carbohidratos incluyen a los azúcares, almidones celulosa y fibra de madera, caracterizados por estar formados a base de carbono, hidrógeno y oxígeno. La celulosa es el carbohidrato más importante encontrado en un desecho líquido, debido a su gran resistencia a la biodegradación.

c) Grasas y Aceites: Estos compuestos son ésteres de alcoholes o glicérol con ácidos grasos. Los glicéridos de ácidos grasos que son líquidos a temperatura ambiente, se conocen como aceites; mientras que los sólidos, se conocen como grasas. Ambos son químicamente similares, estando formados por carbono, hidrógeno y oxígeno en varias proporciones. La grasa es uno de los

compuestos orgánicos presentes en las aguas residuales más difícil de biodegradar. En general, dentro del término de grasas, aceites, se incluyen todas aquellas sustancias solubles en hexano.

d) Agentes tensoactivos: Por agentes tensoactivos en aguas residuales deben entenderse todas aquellas sustancias capaces de disminuir la tensión superficial del agua, como es el caso de los detergentes. Los detergentes -- contienen agentes tensoactivos de moléculas orgánicas grandes, ligeramente solubles en agua, provocando la formación de espuma, la cual provoca serios problemas en las plantas de tratamientos de las aguas residuales, siendo de difícil biodegradación y debido a que en su composición se encuentran constituyentes a base de fosfatos, provocan el aceleramiento de los procesos de eutrofización natural en los cuerpos de agua.

e) Fenoles: Los fenoles son causa de olores ofensivos en los residuos líquidos, provocando problemas de olor en los abastecimientos de agua potable.

f) Plaguicidas: Este término se refiere a una gama grande de sustancias como insecticidas, herbicidas, plaguicidas, fungicidas, etc., de usos -- muy variables dentro de la agricultura; por lo que son comunes en las aguas -- de retorno agrícola, provocando efectos tóxicos en muchos tipos de vida acuática.

3.2.3.2. Características químicas inorgánicas

Para caracterizar la materia inorgánica, se efectúan los siguientes parámetros que son los más importantes y comunes entre las aguas residuales, ayudando a la determinación del origen y tipo de contaminación:

a) Potencial Hidrógeno: Indica la concentración de iones hidrógeno de

una muestra de agua. El ámbito de pH adecuado para la existencia de gran parte de la vida acuática fluctúa entre 6 y 7. De forma general puede estimarse que las aguas de pH superior a 7 (alcalinas) son de origen municipal y aquellas cuyo valor de pH es inferior a 7 (ácidas) son de origen industrial.

b) Cloruros: Debido a que los métodos tradicionales de tratamiento no eliminan cantidades importantes de cloruros, las concentraciones grandes de estos aniones indican que un cuerpo de agua está siendo usado para la disposición de desechos.

c) Alcalinidad: La alcalinidad en el agua residual se debe a la presencia de hidroxidos, carbonatos y bicarbonatos de elementos tales como calcio, magnesio, sodio, potasio o amoníaco. De éstos, los más frecuentes son los bicarbonatos de magnesio y calcio. Los resultados de las determinaciones de alcalinidad se expresan en términos de carbonatos de calcio.

d) Nitrógeno: En la mayoría de los casos, el nitrógeno y el fósforo -- son los principales nutrientes o bioestimulantes en los cuerpos de agua. -- Puesto que el nitrógeno es básico para la síntesis de proteínas, cuando éste sea insuficiente, se necesitará la adición del mismo para hacer tratable el agua residual. El nitrógeno presente en agua residual reciente, se encuentra principalmente en forma de urea y materia protéica.

La descomposición por las bacterias cambia fácilmente estas formas en -- amoníaco. En un ambiente aeróbico las bacterias pueden oxidar el nitrógeno -- del amoníaco a nitritos y nitratos. El predominio del nitrógeno de nitrato -- indica que el agua residual se ha estabilizado con respecto a la demanda de -- oxígeno. El nitrógeno amoniacal existe en solución acuosa, bien como amonio o como amoníaco, dependiendo ello, del pH de la solución. El nitrógeno de nitrato tiene relativamente poca importancia en los estudios sobre aguas residuales ya que es inestable y se oxida fácilmente al estado de nitrato.

e) Fósforo: Al igual que el nitrógeno, el fósforo se considera como -- uno de los nutrientes más importantes en un cuerpo de agua y proviene principalmente de aguas residuales municipales e industriales. La forma principal en que se encuentra es la de ortofosfatos.

f) Azufre: El azufre es indispensable para la síntesis de algunas proteínas, encontrándose en las aguas residuales en forma de sulfatos, los cuales son reducidos químicamente por las bacterias a sulfuros y ácido sulfhídrico, ocasionando corrosión en los sistemas de alcantarillado.

g) Compuestos tóxicos: La toxicidad de ciertos cationes es de gran importancia en el tratamiento de las aguas residuales, ya que pueden ser tóxicos para los microorganismos y hacer imposible el tratamiento biológico de -- las aguas. Entre los principales se pueden mencionar al arsénico, boro, cromo, plata, cobre y plomo. Algunos aniones tóxicos, como los cianuros y cromatos, son característicos en las aguas residuales industriales de la galvanoplastia.

h) Metales pesados: Pequeñas cantidades de este tipo de metales, como níquel, manganeso, plomo, cromo, zinc, cadmio, cobre, hierro y mercurio, son necesarios para el crecimiento algal, pero rebasando estos límites, pueden -- ser tóxicos para la vida acuática y para el hombre mismo.

i) Gases: Existen gases que se encuentran normalmente en las aguas residuales; siendo éstos, el nitrógeno, oxígeno, dióxido de carbono, sulfuro de hidrógeno y metano. Los últimos tres se originan por la descomposición -- de la materia orgánica presente en el agua residual. El enegrecimiento de -- las aguas de desecho se debe a la presencia del sulfuro de hidrógeno que se combina en el hierro presente, formando sulfuro ferroso. El principal sub-- producto de la descomposición de las aguas residuales es el metano, el cual es un hidrocarburo combustible inodoro e incoloro.

3.2.4. Características biológicas

Los principales grupos de organismos que se encuentran en las aguas superficiales y residuales, se clasifican en protistas, plantas y animales. La categoría de protistas incluye bacterias, hongos, protozoos y algas. Como plantas se clasifican las de semillas, helechos, musgos y hepáticas. Como animales se clasifican los vertebrados e invertebrados. Los virus, que también se encuentran en las aguas residuales, se clasifican según el sujeto infectado:

a) Protistas: Dentro de los protistas los organismos especialmente importantes son: bacterias, algas y protozoos. Del mismo modo, las bacterias coliformes se utilizan como indicadores de contaminación producida por vertidos de origen humano. Las algas pueden representar un serio problema en las aguas superficiales, ya que cuando las condiciones son favorables, pueden reproducirse rápidamente y cubrir ríos, lagos y embalses con grandes colonias flotantes, fenómeno que se conoce como crecimiento explosivo. Estos crecimientos son característicos de lo que se llama un lago eutrófico, o lago con gran contenido de compuestos requeridos para el crecimiento biológico. La presencia de algas, afecta al valor del agua de suministro, ya que pueden causar problemas de olor y sabor. Los protozoos de importancia en la ingeniería sanitaria, son las amebas, los flagelados y los ciliados fijos y libres. Estos protistas se alimentan de bacterias y otros protistas microscópicos y son básicos en los procesos de tratamientos de agua, así como en la purificación de los ríos, ya que mantienen el equilibrio entre los distintos grupos de microorganismos.

b) Virus: Los virus excretados por los humanos pueden llegar a ser un peligro importante para la salud pública. Por ejemplo, se sabe que de 10 000

a 100 000 unidades infectadas del virus de la hepatitis son emitidas por cada gramo de heces de un paciente con dicha enfermedad. Se sabe con certeza que algunos virus viven hasta 41 días en el agua o agua residual a 20°C y durante 6 días en un río normal.

c) Plantas y animales: Las plantas y animales de importancia varían en tamaño, desde rotíferos microscópicos y gusanos, hasta crustáceos macroscópicos. El conocimiento de estos organismos es importante para conocer el estado de las corrientes y lagos.

d) Organismos coliformes: El tracto intestinal del hombre contiene innumerables bacterias en forma de bastoncillo conocidas como organismos coliformes. Cada persona evacúa de 100 000 a 400 000 millones de organismos coliformes por día, además de otras clases de bacterias. Los organismos coliformes no son dañinos al hombre y, de hecho son útiles para destruir la materia orgánica en los procesos biológicos de tratamiento de aguas residuales. Los organismos patógenos son evacuados por seres humanos que se ven afectados por alguna enfermedad o que son portadores de alguna enfermedad particular. Los organismos patógenos que generalmente se excretan por el hombre, causan enfermedades del sistema gastrointestinal, tales como la fiebre tifoidea, diarrea y, en ciertas partes del mundo, el cólera.

Dado que el número de organismos patógenos presentes en las aguas residuales y aguas contaminadas son pocas y difíciles de aislar, el organismo coliforme, que es más numeroso y de determinación más sencilla, se utiliza como organismo indicador. La presencia de organismos coliformes se interpreta como una indicación de que los organismos patógenos también pueden estar presentes y su ausencia indica que el agua se halla exenta de organismos productores de enfermedades.

Las bacterias coliformes incluyen los géneros Escherichia y Enterobacter

y ciertas especies de Escherichia pueden crecer en el suelo. Por lo tanto, - la presencia de coliformes no siempre significa contaminación por residuos hu- manos. Parece ser que la Escherichia coli (E. coli) son totalmente de origen fecal. Es difícil determinar la E. coli sin incluir los coliformes del sue- lo; como resultado de ello todo el grupo coliforme se utiliza como indicador de la contaminación.

3.2.5. Valores promedio de las características de las aguas residuales.

TABLA 3.2.5.

CONCENTRACIONES PROMEDIO DE DIVERSOS PARAMETROS EN AGUA DE RIEGO (mg/l).

<u>PARAMETROS</u>	<u>AGUAS NEGRAS</u>	<u>AGUAS BLANCAS</u>	<u>AGUAS MEZCLADAS</u>
C.E. (pmhos/cm)	1736.0	711.85	1439.6
S.T.	1546.6	745.3	1422.0
S.S.T.	202.67	66.83	114.2
S.D.T.	1373.2	613.10	1240.4
Coliformes Fecales (NMP/100-ml).	3.38×10^8	1.9×10^4	4.05×10^9
D.G.O.	171.6	47.57	184.0
D.Q.O.	455.0	133.53	439.0
A.B.S.	8.86	2.52	6.08
N-NH ₃	10.13	3.27	7.72
N-N org	6.90	2.725	6.60
N-NO ₃	0.17	0.43	0.93
P-PO ₄ [≡]	26.24	5.93	13.31
P-PO ₄ [≡] (Orto)	9.07	2.975	5.67
Cl ⁻	184.4	103.23	207.0
SO ₄ [≡]	210.35	59.12	153.0
Dureza total	472.3	234.43	298.77
Alcalinidad total	450.2	233.71	459.0
pH	7.71	7.72	7.7
Pb	0.1614	0.0472	0.1302
Hg	0.0020	0.0005	0.0017
Cd	0.0295	0.101	0.0396
Zn	0.540	0.265	0.361
Cu	0.186	0.235	0.124
Ni	0.1025	0.0719	0.143
Fe	2.751	0.735	2.65
Mn	0.1770	0.049	0.29
Cr	0.145	0.0273	0.139
K	51.55	11.17	44.74
Na	326.5	35.85	270.85
Ba	1.31	0.244	1.139

Fuente: Reuso del Agua en la Agricultura, la Industria, los Municipios y en la Recarga de Acuíferos. 2a. Etapa. Dirección General de Usos del Agua y Prevención de la Contaminación, SRHDHTA, México, D.F., 1975.

3.2.6. Clasificación de las aguas para riego agrícola

Teniendo en cuenta las características que presenta un cierto tipo de aguas residuales, el paso siguiente es ver si es adecuada para aplicarse en el riego. Esto se hace comparando las concentraciones de los parámetros de calidad del agua residual con los límites permitidos para diferentes clases de suelo y cultivos. La calidad del agua residual, si es bien empleada, puede permitir el ahorro de tratamientos que, en muchos casos, sólo tienen la justificación de la rutina o la falta de medios de análisis. En muchos casos esta calidad se evalúa por el grado de aceptación o rentabilidad "aposteriori", cuando ya no hay posibilidad de rectificación de los daños en el suelo, sobre todo en lo que se refiere a los problemas de salinidad.

Las líneas generales sobre las que se debe incidir a la hora de clasificar y evaluar las características de las aguas de riego, se resumen en los siguientes puntos: la salinidad de las aguas, la permeabilidad del suelo, la toxicidad de los elementos añadidos, la cantidad y volumen de irrigación, tipo de cultivo, el pH del agua y del suelo, el catión predominante en el suelo, la climatología de la zona.

Salinidad: Para conocer la calidad del agua para riego, desde el punto de vista de salinización y alcalinización, o bien, en otros términos, el contenido de sales, o sólidos disueltos que tiene el agua, se utiliza la clasificación de Wilcox (1948) en el cual por medio de la conductividad eléctrica (CE) y la relación de adsorción de sodio (RAS), se obtiene la clase de agua para riego.

La conductividad eléctrica se expresa en micromhos/cm, (Mmhos/cm), o milimhos/cm (mmhos/cm), y la relación de adsorción de sodio, se obtiene por medio de la fórmula:

$$RAS = \sqrt{\frac{Na^+}{Ca^{++} + Mg^{++}}}$$

donde las concentraciones de Na^+ , Ca^{++} y Mg^{++} están dadas en miliequivalentes por litro (meq/l). Los valores de CE y RAS, son graficados en el nomograma de clasificación de la fig. 1, obteniéndose de esta manera, el tipo de agua para riego.

Permeabilidad (conductividad hidráulica): Los problemas de permeabilidad de infiltración que manifiestan los suelos de uso agrícola frente a las aguas aplicadas. El problema de aplicación de aguas residuales al suelo se centra en la obturación de sus hoquedades o vacíos, debido al contenido de sólidos suspendidos (SS). La presencia excesiva de determinados cationes puede realizar, mediante desplazamiento químico, la sustitución de Ca y Mg por Na. Este hecho, dá lugar a una reducción sustancial de la permeabilidad, por la alteración de los agregados organominerales del suelo y por disminución del radio medio de los mismos. En la tabla 1 se presentan los valores más comunes de porosidad y permeabilidad para diferentes tipos de suelo.

Toxicidad de los elementos: Los fenómenos de toxicidad se encuentran planteados de acuerdo con las cantidades mínimas de elementos y compuestos capaces de provocarlos y con las posibilidades que tienen estos productos de ser retenidos por el suelo de forma selectiva.

Como se ha indicado, el sodio (Na) provoca problemas de fertilidad y de permeabilidad del suelo.

FIGURA 1
CLASIFICACION DE AGUAS PARA RIEGO

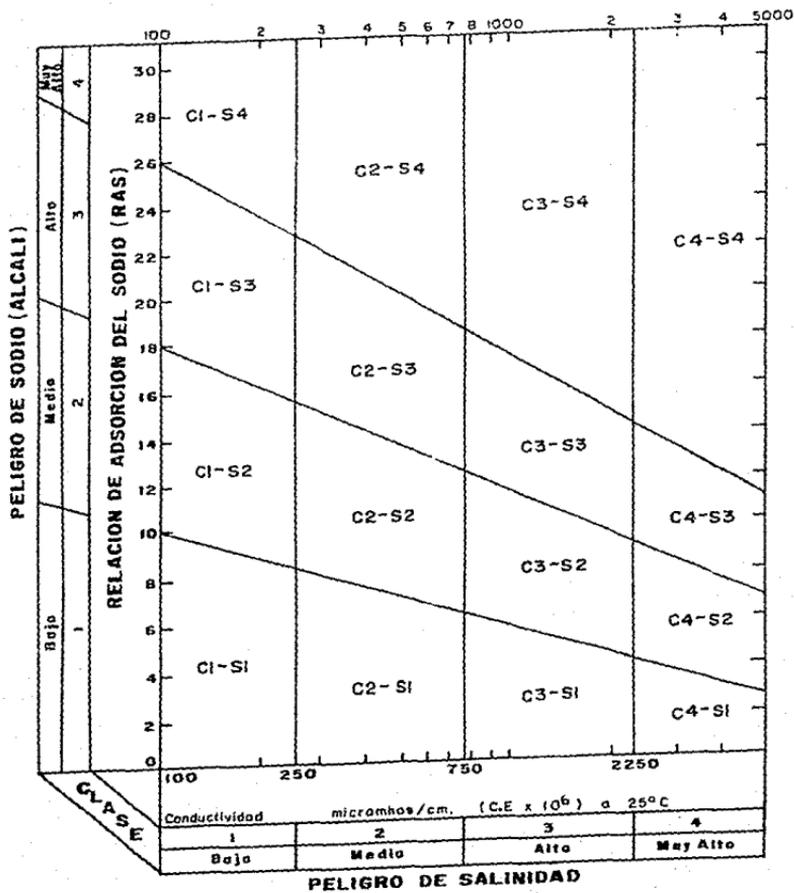


TABLA 1
PROPIEDAD Y PERMEABILIDAD DE ALGUNOS TIPOS DE SUELOS

TEXTURA DEL SUELO	PERMEABILIDAD cm/hr	POROSIDAD
Arenoso	5 (25-25.5)	38 (32-42)
Franco-arenoso	2.5 (1.3-7.6)	48 (30-47)
Franco	1.3 (0.8-20)	47 (43-49)
Franco-arcilloso	0.8 (0.25-1.5)	49 (47-51)
Arcilloso-arenoso	0.25 (0.03-0.5)	51 (49-53)
Arcilloso	0.5 (0.01-0.1)	53 (51-55)

Nota: Los intervalos normales son consignados entre parentesis. Los intervalos de permeabilidad varían mucho con la estructura del suelo y su estabilidad estructural, incluso más aún de los indicado en esta columna.

Fuente: Israetsen, O.W., Hansen, V.E. Principios y aplicaciones del riego. -- Editorial Reverté, S. A., España, 1975.

El Ca, N, P, K y Mg son también de interés por lo que representan como componentes del suelo y como nutrientes de los vegetales. Su exceso puede --

afectar al suelo, por lo que su control periódico es necesario.

El B, Cd, Cr, As, Co, Cu, Hg, Pb, Zn y Ni son micronutrientes tóxicos, - si su proporción aumenta algo sobre su contenido normal en el suelo. Naturalmente, la toxicidad a que nos referimos comprende, por una parte, las posibles perturbaciones de los vegetales, y, por la otra, los daños en las cadenas tróficas y alimenticias artificiales, que al final afectan al hombre.

Cantidad y volumen de riego: Las cantidades de agua para aplicarse en el riego se miden en cm/día (pulg/día), cm/semana o en litros/ha/día (galones/área/día). Las cosechas requieren de 0.5 cm/semana a 6 cm/semana, según la especie de que se trate y según el estado climatológico. Los datos de diseño que se utilizan, oscilan del orden de 1 cm/semana hasta 11 cm/semana. - El vertido sobre zonas forestales admite cantidades muy superiores (hasta 20 cm/semana, en casos especiales).

Normalmente, la superficie de riego necesaria para un millón de lts/día, oscila entre 7 y 50 ha. Por ejemplo, el consumo de agua de un cultivo de - - maíz, durante los cinco meses de su desarrollo.

El consumo total es de $45 + 170 + 220 + 215 + 90$, o sea, 740 mm, tomándose se generalmente como dato de diseño preliminar de 750 mm, o sea 7 500 m³/ha - en cinco meses. Por lo que para el consumo máximo del primer mes se necesita una lámina semanal de 4.5 cm = 1.125 cm/semana y para el consumo máximo --

4 semanas

que se presenta en el tercer mes de la época del cultivo es 22 cm = 5.5

4 semanas

cm/semana.

pH del agua y del suelo: El pH ideal de los suelos para la retención de la mayoría de los componentes de las aguas residuales, es el comprendido entre 6 y 7; es digno de señalar que la mayoría de los elementos mencionado

dos anteriormente, son más asimilables si el pH es inferior a 6.5 que si es superior. El pH del suelo tiene una influencia decisiva en la disponibilidad de nutrientes para las plantas. De hecho, el pH determina la eficiencia con la que las plantas pueden usar los nutrientes: una acidez marcada es un síntoma de deficiencia de nutrientes, en este caso, las partículas del suelo retienen más constituyentes ácidos que los elementos nutritivos. La acidez del suelo se puede reducir a través de aplicaciones de piedra caliza o dolomítica en forma de cal agrícola, que contiene también magnesio.

La alcalinidad del suelo se reduce con la aplicación de fertilizantes ácidos y otros materiales tales como el amonio, sulfato o sulfato férrico. De lo mencionado en este punto, se entiende que valores, de pH debe tener el agua residual para que sea favorable su aplicación al suelo. Por ejemplo, la figura 3 muestra la respuesta del trigo a diferentes grados de acidez y alcalinidad, en un suelo arenoso y en otro arcilloso. El pH óptimo en suelos arenosos se encuentra a 5.5 y en el caso de suelos arcillosos a 7.0. Cabe mencionar que los suelos arenosos son menos resistentes a cambios bruscos en sus reacciones, es decir, su pH puede fluctuar fácilmente, y su capacidad de amortiguamiento es pequeña. Al contrario, suelos arcillosos y suelos ricos en materia orgánica son más resistentes a cambios en su pH, o sea, tienen más poder de amortiguamiento.

Climatología: Cuando se proyecta la utilización de aguas residuales sobre suelos, los parámetros más importantes a considerar, desde el punto de vista climatológico son la precipitación, la evapotranspiración y la temperatura. Cuando se utilizan cultivos agrícolas sobre el área objeto de estudio, el factor estacional es muy importante; las cosechas anuales sólo admitirán aguas residuales y en forma de riego durante los periodos de crecimiento, y será necesario un almacenado en depósitos o lagunas durante un tiempo más o me

nos largo, según sea la climatología del lugar. Si las temperaturas son suaves, el almacenado puede durar de 2 a 4 meses; si el clima es cálido, el almacenado puede ser inferior, e influye mucho el nivel de evaporación; cuando el clima es frío, el almacenado es mucho más prolongado, y puede llegar a los 8 meses o aún más. Las precipitaciones intensas también limitan, lógicamente, los riegos con aguas residuales, pues pueden producir encharcamiento y, en todo caso, saturaciones del suelo, e impiden la penetración de las aguas aplicadas y su asimilación, apareciendo peligros de contaminación de los cursos de agua próximas y de las fuentes y pozos. De esto último mencionado, -- también se desprende la importancia del almacenamiento por un tiempo, lo suficientemente prolongado que permita el descanso del suelo y la vegetación durante periodos que van de los 2 a los 15 días en general.

3.3. EFECTOS DEL RIEGO CON AGUAS RESIDUALES

3.3.1. Efectos en cultivos

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 que rodea a las raíces de las plantas. Entre los efectos específicos se presentan en primer plano una sensible elevación del pH, causada por carbonatos, -- los cuales impiden la asimilación de fosfatos, hierro, zinc, y manganeso, así mismo, la estructura del suelo se ve modificada dando lugar a escasa permeabilidad, pobre aereación y laboreo difícil.

El riego con agua que contenga hasta 70 PPM de ABS no causa efectos notables durante el desarrollo de las plantas, ni en su productividad, según estudios realizados en el distrito de riego 03.

(En investigaciones que se efectuaron en el Valle del Mezquital sobre la interacción del boro y el ABS) en el desarrollo de lechuga y 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 éste saturado para los dos cultivos; por lo que respecta al boro, este resultó tóxico al - frijol en concentraciones de 5 PPM, y a la lechuga con 15 PPM, en la solución - del suelo, estando éste saturado.

Las bacterias sólo pueden penetrar las plantas y las frutas golpeadas o - rajadas y que tengan mucho follaje, ya que este impide la acción bactericida de los rayos solares. El tiempo de supervivencia promedio de las bacterias en las plantas es de 30 a 40 días.

La tolerancia de una planta respecto a la salinidad cambia de acuerdo a su ciclo vegetativo, como en el caso de la alfalfa donde es escasa cuando es joven pero elevada cuando está bien arraigada, y lo que da lugar a plantas de talla - corta, como las que se desarrollan en la zona central del Distrito de Riego 03. El mismo efecto lo consigue la acción particular del ión sodio, al restringir - la acumulación de calcio, magnesio y potasio en las plantas, añadiéndose el - efecto causado por la escasez de potasio en la solución del suelo, que induce - deficiencias de magnesio y clorosis por falta de fierro.

La presencia de cloruros interfiere con las disponibilidades de nutrien- - tes esenciales como son el fósforo y nitrógeno; la acción de los sulfatos está íntimamente ligada a las integraciones salinas, disminuyendo la absorción de - calcio e incrementando la de sodio y potasio conforme la suya aumenta.

En cultivos de consumo directo, propios de la región del distrito de rie- - go 03, se encontraron que el NMP de coliformes totales es de 3 a 2 400/100 ml y que el de coliformes fecales es de 3 a 39/100 ml, cantidades que sobrepasan

los límites que establece el reglamento para agua potable que es de 2 coliformes totales/100 ml, lo que demuestra el riesgo de infección que se tiene al ingerir tales cultivos.

3.3.2. Efectos en suelos

En los distritos de riego 03 y 88, las características de las aguas residuales crudas ejercen efectos benéficos al suelo, ya que la materia orgánica y los nutrientes, lo acondicionan y favorecen al desarrollo de las plantas, por lo que respecta a metales pesados en el agua de riego está dentro de los límites, si se aplica durante muchos años en forma continua, puede suceder que esas pequeñas cantidades se acumulen saturando los sitios de intercambio catiónico y queden disponibles para ser absorbidos por los cultivos, mermando su productividad y representando peligro potencial para el consumidor.

Los microorganismos aplicados al suelo mediante riego de aguas residuales tienen tiempo de supervivencia que varían de horas a meses, dependiendo de varios factores como son: tipo de organismos, tipo de suelo y capacidad de retención de humedad, contenido orgánico del suelo, pH, temperatura, luz solar, lluvia, grado de contaminación del agua residual aplicada, predación y antagonismo de la flora microbiana nativa del suelo.

3.3.2.1. Efectos de los nutrientes contenidos en las aguas residuales

a) Nitrógeno: Metcalf y Eddy, citados por la Dirección General de Usos del Agua y Prevención de la Contaminación de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, a través de su estudio "Aprovechamiento de aguas resi--

duales en el riego agrícola", en 1984, nos indican que cuando se adiciona al suelo nitrógeno en forma orgánica o amoniacal, queda retenido por adsorción e intercambio iónico hasta que, sino se pierde por volatilización se mineraliza en forma de nitrato, que puede ser desviado por el movimiento del agua hacia los acuíferos; también el nitrógeno de las aguas residuales aplicada a los -- suelos, puede ser removido por las plantas, tomado por los microorganismos pa -- ra formar material celular, volatilizarse en forma de nitrógeno amoniacal o, mediante el proceso de nitrificación, eliminarse como nitrógeno elemental.

Durante los primeros años, después de haber aplicado las aguas residua-- les al suelo, la población microbiana crece desmesuradamente y con ello se -- inicia la acumulación de nitrógeno en el perfil del suelo. Esta situación -- prevalece hasta que se logra un equilibrio dinámico y con ello, el estado es -- tacionario, esto es, la acumulación de nitrógeno en el suelo cesa cuando la - velocidad de decaimiento en la acumulación de nitrógeno orgánico es igual a - la velocidad con que se produce. Cuando esto sucede, se suspende la remoción del nitrógeno del suelo que realizan los microorganismos para formar material celular.

Por otro lado, el nitrógeno en forma amoniacal y de amonio (NH_3 y NH_4^+ , - respectivamente), existe en casi todos los suelos, en un equilibrio dinámico, según la siguiente ecuación:



El principal factor que determina el equilibrio de la reacción anterior, lo constituye el pH de los suelos, razón por la cual la pérdida de nitrógeno por volatilización (NH_3), puede ser considerable en suelos con pH alcalino, - debido a que en estos suelos se neutralizan los iones H^+ , por lo cual se pro -- voca un desplazamiento hacia la derecha, en la ecuación anterior, para resta -- blecer el equilibrio.

Otro factor que favorece la volatilización del nitrógeno es la evaporación del agua, debido a que, en la medida en que se evapora, se incrementa la concentración de los iones amonio (NH_4^+), lo que resulta en un desplazamiento del equilibrio de la reacción anterior, también hacia la derecha.

No obstante que se pierde nitrógeno por volatilización, los principales mecanismos de remoción son los cultivos y el proceso de desnitrificación. Su efectividad depende de muchos factores; por ejemplo, la eliminación de nitrógeno mediante los cultivos, predomina sobre el proceso de desnitrificación -- cuando las aguas residuales se aplican al suelo durante el periodo de máximo crecimiento del cultivo, y bajo cualquier otra circunstancia, predomina la -- eliminación de nitrógeno por el proceso de desnitrificación.

La remoción del nitrógeno mediante los cultivos depende de la disponibilidad del nitrógeno, del tipo de cultivo y la duración de su periodo de crecimiento. Desde este punto de vista los cultivos pueden dividirse en tres grupos:

Forrajes: que remueven de 170 a 672 Kg/Ha/año.

Para consumo humano: que remueven de 85 a 170 Kg/Ha/año

Bioma de bosque: que remueve de 23 a 112 Kg/Ha/año

No todos los cultivos de estos grupos siguen este patrón general, y para algunos de ellos, altas concentraciones de nitrógeno pueden interferir con su productividad; por ejemplo, el contenido de azúcar en la remolacha, disminuye cuando queda nitrógeno disponible en el suelo después del periodo de crecimiento de este cultivo.

Otro caso es aquel en el cual el nitrógeno se aplica al suelo durante -- los meses de invierno, en los que no sucede la nitrificación y si la acumulación en el suelo; posteriormente en los meses de calor, la nitrificación se -- acelera de manera tal que en lapsos muy cortos se alcanzan altas concentracio

nes de nitrógeno, en forma de nitratos, disponibles para los cultivos, los -- que bajo estas circunstancias lo acumulan en grandes cantidades, particular-- mente los forrajeros y pueden ocasionar niveles de toxicidad en el ganado.

En la tabla 3.3.2.1, se indican las cantidades de nitrógeno que pueden - remover algunos cultivos.

TABLA 3.3.2.1.
REMOCION DE NITROGENO POR ALGUNOS CULTIVOS

CULTIVO	REMOCION DE NITROGENO	Kg/Ha/año
Pasto de las Bermudas	538 - 672	
Pasto "Canario rojo"	253 - 402	
Alfalfa	173 - 246	
Trébol dulce	177	
Trébol rojo	86 - 141	
Maíz	150 - 173	
Frijol soya	105 - 150	
Papa irlandesa	121 - 140	
Papa dulce	84	
Café	190	
Remolacha de azúcar	82 - 180	
Trigo	56 - 110	
Cebada	71 - 95	
Avena	60 - 76	
Arroz	90	
Cacahuate	120	
Cacao	50	
Cocotero	150	
Jitomate	105	

CULTIVO	REMOCION DE NITROGENO	Kg/Ha/año
Plátano	90	
Piña	120	

Fuente: SARH, Dirección General de Protección y Ordenación Ecológica. Estudio para la introducción de aguas residuales en mantos subterráneos, 1979.

Como ya se mencionó, otro mecanismo de remoción del nitrógeno del suelo, es la desnitrificación, que es la transformación de los nitratos a nitrógeno gas, por medio de bacterias en condiciones anaerobias. Este proceso resulta importante cuando se trata de suelos estratificados y saturados o que están cercanos a la saturación. En los suelos agrícolas la rizósfera generalmente, esta en condiciones anaerobias, lo cual inhibe el proceso de desnitrificación. Por otra parte, a medida que se incrementan las profundidades de los suelos, se van favoreciendo las condiciones anaerobias, y por tanto, la desnitrificación; sin embargo, la escasez de carbono, que es la fuente de energía de los microorganismos desnitrificadores y el cual decrece con la profundidad del suelo, limita este proceso a profundidades de no más de tres metros.

Es importante mencionar que las condiciones anaerobias en los suelos, -- puede promover la contaminación de los acuíferos, debido a que tiende a disminuir el pH de los suelos y con ello a incrementar la solubilidad de algunos contaminantes y favorecer su lixiviación e infiltración a las aguas subterráneas.

El nitrógeno es de vital importancia para la nutrición de las plantas y es absorbido por la mayoría, excepto las leguminosas, en forma diferente a nitrógeno elemental (N_2), generalmente, como nitrato (NO_3^-), y amonio (NH_4^+), y -

en menor grado como urea (NH_2CONH_2), en casi todos los suelos, se hidroliza - en nitrógeno amoniacal. Los nitritos (NO_2^-), generalmente, son tóxicos para - las plantas, pero afortunadamente no se acumulan bajo las condiciones natura- les de los suelos.

No importa cual sea la forma del nitrógeno absorbido por las plantas, en el interior de éstas será transformado a $-\text{N}^=$, $-\text{NH}-$, o $-\text{NH}_2$, que se convertirá en compuestos más elaborados y finalmente en proteínas. Además, de este pa- pel fundamental, el nitrógeno es parte integral de la molécula de clorofila. Un adecuado suministro de nitrógeno esta asociado con un vigoroso crecimiento vegetativo y un intenso color verde. El suministro de nitrógeno se relaciona con la utilización de los carbohidratos; cuando el nitrógeno es insuficiente, los carbohidratos se depositan en las células vegetativas, causando su adelga- zamiento; si el nitrógeno está en cantidades adecuadas y en condiciones favo- rables para el crecimiento, se forman proteínas a partir de los carbohidra- - tos, se depositan menos de éstos en la parte vegetativa, se forma más proto- plasma, y, a causa de que está muy hidratado, las plantas resultan muy succu- lentas. Sin embargo, la excesiva succulencia en algunos cultivos puede tener efectos perjudiciales: por ejemplo, en el algodón puede provocar un debilita- miento de las fibras, en los cereales puede ocurrir el encamado, en la remola- cha azucarera puede reducir el contenido de azúcar. En algunos casos, la ex- cesiva succulencia puede provocar que la planta sea más susceptible al ataque de enfermedades e insectos (Biaer, citado por Briones, 1982).

Cuando las plantas soportan deficiencia de nitrógeno se vuelven raquíti- cas y amarillas. Este amarillamiento o clorosis aparece primero en las hojas inferiores, mientras que las superiores permanecen verdes. En casos de grave deficiencia las hojas se vuelven marrones y mueren. En las gramíneas las ho- jas inferiores se "queman" o vuelven marrones comenzando por el ápice y avan-

zando progresivamente por el limbo hasta que la hoja entera se muere. La tendencia de las hojas jóvenes superiores a permanecer verdes, mientras las inferiores amarillas mueren, es una indicación de la movilidad del nitrógeno en la planta. Cuando las raíces son incapaces de absorber cantidades suficientes de este elemento para el crecimiento requerido, los compuestos de nitrógeno de las partes viejas de las plantas son transformados por autólisis, el nitrógeno de las proteínas se transforma en una forma soluble, se traslada a las zonas meristemáticas activas y se emplea en la síntesis del nuevo protoplasma.

b) Fósforo: El fósforo es esencial para todas las formas de vida y se le encuentra en todas las aguas y suelos formando compuestos orgánicos solubles. En las aguas el fósforo puede dar lugar a la formación de material biológico, que causa efectos adversos en la calidad de esas aguas; en cambio, en los suelos su efecto es benéfico puesto que promueve el incremento en los materiales biológicos que le confieren al suelo mejores propiedades.

Generalmente la concentración de fósforo en las aguas residuales es mayor que la que se encuentra en los suelos (1-40 mg/l en aguas residuales y 0.03- 3 mg/l en suelos); esta diferencia en concentraciones hace posible la remoción de este elemento cuando las aguas residuales que lo contienen entran al suelo; esta remoción se hace por reacciones de adsorción y precipitación, esto es, el fósforo que se incorpora al suelo se elimina mediante la cosecha de los cultivos, se acumula en la fase sólida del suelo como compuestos orgánicos, se adsorbe por los iones o se precipita por los compuestos inorgánicos del suelo; también se remueve, como fósforo soluble, por la erosión del suelo, adsorbido o precipitado sobre las partículas del suelo o se lixivia en el agua infiltrada. (23)

Los principales compuestos del suelo que intervienen en la adsorción y -

precipitación del fósforo son: los iones solubles de hierro y aluminio, óxidos e hidróxidos, silicatos y el calcio en las formas iónicas soluble y de carbonatos. En los procesos de adsorción el fósforo reacciona con los iones de hierro, aluminio o calcio expuesto sobre las superficies de las micelas del suelo, lo que ocurre cuando se rompen los cristales de arcilla que contienen a los minerales mencionados. De igual manera, el fenómeno de adsorción puede ocurrir sobre la superficie de los óxidos o hidróxidos que recubren a las arcillas cristalinas o sobre la superficie de los silicatos amorfos, así como también por los polímeros de hidróxido de aluminio cuando éste se encuentra cargado electropositivamente, o en los suelos ácidos donde el aluminio actúa como ion de intercambio. Iguales propiedades adsorptivas presentan las superficies de los carbonatos de calcio y las sales dobles de calcio y magnesio. (11)

Las reacciones de precipitación del fósforo en el suelo corren con los iones de hierro, aluminio y calcio, formándose los fosfatos correspondientes, dependiendo del pH del suelo; esto es, en suelos cuyo pH sea entre 4.5 a 6 se precipitarán los fosfatos de hierro y aluminio, y de calcio, si el pH del suelo es neutro o alcalino.

Cabe aclarar que no se sabe cuando el fósforo es adsorbido o precipitado, por lo que generalmente se aplica el término de sorción para indicar ambos procesos y significa que el fósforo ha sido removido de la solución.

El suelo no posee una capacidad fija para retener el fósforo, debido a que la sorción no sólo depende de la cantidad de fósforo en las aguas aplicadas, sino además, de otros factores tales como la temperatura, el tiempo y los constituyentes de las aguas que pueden reaccionar con el fósforo o influenciar en las propiedades del suelo.

Generalmente, se considera que las plantas absorben la mayor parte del -

fósforo en forma de ion ortofosfato H_2PO_4 y en muy pequeñas cantidades HPO_4 . Las cantidades relativas de estos dos iones se ven afectadas por el pH del medio que rodea a las raíces. Valores bajos de pH incrementan la absorción del ion $H_2PO_4^-$, mientras que valores altos favorecen la absorción en forma de HPO_4 ; también pueden absorberse pirofosfatos, metafosfatos y ciertos fosfatos orgánicos solubles.

El fósforo es un constituyente de los ácidos nucleicos, de la fitina y de los fosfolípidos, por lo que su adecuado suministro en las primeras etapas de la vida de las plantas favorecen la pronta madurez de los cultivos, particularmente de los cereales y su carencia se acompaña por una marcada reducción del crecimiento; se le considera esencial en la formación de la semilla y se encuentra en grandes cantidades en semillas y frutos. También se asocia con una mayor sólidez de la paja de los cereales.(14) La calidad de ciertos frutos, forrajes, hortalizas y cultivos de grano se dice que se incrementa y también que aumenta su resistencia a las enfermedades.

En la tabla 3.3.2.2. se enlistan varios cultivos y su tasa de remoción de fósforo.

TABLA 3.3.2.2.

REMOCION DE FOSFORO POR LOS CULTIVOS (19)	
CULTIVO	Kg/Ha
Maíz	34.7 - 72
Trigo	22.9 - 57
Arroz	22.4 - 58
Frijol de Soya	24.6 - 170
Vid	11.2
Tomate	33.6 - 45
Col	17.9

REMOCIÓN DE FOSFORO POR LOS CULTIVOS

CULTIVO	Kg/Ha
Naranja	11.2
Maíz Forrajero Paja	32.5
Pasto Canario Rojo	44.8
Alfalfa	50
Pasto de los Bermudas	7.84 - 40.3
Pasto Forrajero	32.5
Café	40
Cacao	20
Papa	60
Remolacha	80

El fósforo se moviliza rápidamente en las plantas y cuando se presenta una deficiencia, el elemento contenido en los tejidos más viejos es transferido a las regiones activas meristemáticas. Sin embargo, a causa del señalado efecto que una deficiencia de este elemento tiene sobre el retraso del crecimiento, se observa raramente los síntomas de deficiencia en las hojas, como es en el caso del nitrógeno.

El ciclo del fósforo en las plantas presenta tres fases distintas. En la primera el fosfato inorgánico se absorbe y cambia con las moléculas orgánicas (esta es una reacción de transferencia llamada fosforilación). En el siguiente paso, estos compuestos fosforilados transmiten el grupo fosforilo a otras moléculas (transfosforilación). En la tercera y última fase, el fosfato o pirofosfato se divide en los fosforilatos intermedios, ya sea por la escisión hidrolítica o por sustitución de un radical orgánico. La principal fuente de energía para la incorporación del fosfato en las combinaciones orgánicas es el potencial de oxidación-reducción liberado en el metabolismo oxidativo. Los adenosinmono, ditrifosfato (AMP, SDP y ATP) y una gran cantidad de

otros compuestos organicofosforados son los responsables de la mayoría de los cambios en los procesos de vida aerobios y anaerobios, tanto de las plantas - como de los animales. Se ha demostrado que son esenciales para la fotosíntesis, la interconversión de carbohidratos, glicolisis, metabolismo de los aminoácidos, metabolismo de las grasas, metabolismo del azufre, oxidación biológica y muchos otros procesos de los seres vivos. (23)

c) Potasio: A diferencia del fósforo, el potasio se halla presente en grandes cantidades en la mayoría de los suelos, en los que puede haber desde algunos centenares de kg por Ha en suelos de textura gruesa (formados por piedra arenisca o cuarcita), hasta 50 000 kg ó más en suelos de textura fina - - (formados por rocas ricas en minerales potásicos). Exceptuando el que se aña de con los fertilizantes o con las aguas residuales, el potasio contenido en los suelos se origina en la desintegración y descomposición de las rocas que contienen minerales potásicos, que son los feldspatos potásicos, $KAlSi_3O_8$, - la moscovita, $Al, H_2K_3(SiO_4)_3$, y la biotita, $(H, K)_2(Mg, Fe)_2 Al_2(SiO_4)_3$. También se halla en forma de barros secundarios o minerales como illita o hidromicas, vermiculitas, cloritas e inte:estratificados.

Aunque este elemento existe en grandes cantidades, la fracción asimila-- ble es generalmente pequeña, ya que éstas lo absorben como ion K^+ . En las -- aguas residuales el potasio se encuentra como sales solubles (asimilables) - como cloruros, sulfatos y nitratos. Las necesidades de las plantas de este - elemento son más bien altas, y cuando está presente en bajas cantidades, apa-- recen en las plantas síntomas característicos de deficiencia; cuando esto ocurre, el potasio se traslada a los tejidos jóvenes meristemáticos, por lo que los síntomas de deficiencia aparecen al principio en las hojas más bajas de - las plantas anuales, progresando hacia la parte superior a medida que se in-- crementa la gravedad de la deficiencia.

Aunque el potasio no forma parte integral de los componentes de la planta, tales como protoplasma, grasa y celulosa, es imprescindible como catalizador para las siguientes funciones: metabolismo de carbohidratos o formación y transformación del almidón; metabolismo del nitrógeno y síntesis de proteínas, control y regulación de las actividades de varios elementos minerales -- esenciales, neutralización de los ácidos orgánicos, activación de varias enzimas, promoción del crecimiento de los tejidos meristemáticos, ajuste de la -- apertura de los estomas y relaciones con el agua.

El fuerte impacto de estos efectos sobre la producción de los cultivos -- se manifiesta de varias formas. Quizás la más sensible indicación de deficiencia de potasio es el desarrollo de hojas características. Además, la carencia de potasio se acompaña frecuentemente con un debilitamiento de la paja de los cereales, lo cual repercute en la cosecha de granos y rotura de tallos en maíz y sorgo.

La deficiencia del potasio reduce grandemente el rendimiento de los cultivos sin que aparezcan síntomas de deficiencia. Este fenómeno, conocido como hambre oculta, no es exclusivo del potasio sino que puede presentarse para otro elementos. También la deficiencia de potasio se asocia con una disminución de la resistencia de las plantas a las enfermedades y con la calidad de algunos cultivos, de manera especial frutas y hortalizas. La fotosíntesis de crece con una insuficiencia de potasio, mientras al mismo tiempo puede incrementarse la respiración; esto reduce seriamente la formación de carbohidratos y, por consiguiente, el crecimiento de la planta.(27)

3.3.2.2. Efectos de la materia orgánica contenida en las aguas residuales

En la mayoría de los casos, las aguas residuales poseen cantidades apre-

ciables de materia orgánica, tanto suspendida como disuelta y cuando esas -- aguas se adicionan a los suelos, casi la totalidad del material suspendido -- queda retenido en la superficie de éstos, mientras que el material disuelto -- tiende a movilizarse junto con el agua infiltrada a los estratos inferiores.

En cuanto a la influencia de la materia orgánica en los suelos, ésta mejora las condiciones físicas y de fertilidad; por ejemplo, el bajo grado de -- cohesión y plasticidad de la materia orgánica afloja los suelos de textura fi na al compensar la alta cohesión y plasticidad de las arcillas; en los suelos arenosos, además de mejorar su estructura, aumenta su capacidad de retención de agua. Asimismo, la materia orgánica, al ser transformada por los microorganismos del suelo, deja en condiciones aprovechables para las plantas cantidades significativas de algunos macronutrientes, como nitrógeno, fósforo y -- azufre.

Resulta importante resaltar que la materia orgánica tiene una función -- muy especial en los suelos ácidos y consiste en que, al descomponerse libera, citrato, oxalatos, tartratos y lactatos, los cuales tienen más afinidad que -- el fósforo por el hierro y el aluminio, por lo que el resultado final de este fenómeno, es mayor disponibilidad de fósforo para los cultivos.

Por otro lado, la materia orgánica disuelta (coloidal) posee propiedades de intercambio catiónico, similares a las de las arcillas, y por lo tanto, -- tiende a enlazar a los iones metálicos (Cu, Ni, Zn, Mn, Cd y Co), lo cual dis minuye la posibilidad de que tales iones puedan migrar hasta las aguas sub-- terráneas y contaminarlas.

Tal vez, el único inconveniente que puede presentarse al adicionar a los suelos aguas residuales con altos contenidos de materia orgánica, es la posi-- bilidad de crear condiciones anaerobias en los estratos inferiores del suelo y debido a que en estas circunstancias la descomposición de la materia orgáni

ca incrementa la acidez del suelo, se puede presentar una disolución de compuestos y elementos retenidos en éste, de manera que puedan lixivarse y contaminar los acuíferos. (24)

3.3.2.3. Efectos de los metales pesados contenidos en las aguas residuales

Se considera dentro de este grupo al Cobre (Cu), Zinc (Zn), Cadmio (Cd), Plomo (Pb), Níquel (Ni), Cobalto (Co), Cromo (Cr), Mercurio (Hg), Selenio (Se) y Arsénico (As). La cantidad presente en las aguas residuales dependerá de varios factores, pero principalmente de si el residuo es doméstico o industrial. En general, los residuos domésticos llevan una concentración muy baja de metales pesados, si es que los contienen, y las aguas de desecho industrial suelen contener elevadas concentraciones de uno o varios de ellos, dependiendo del tipo de industria de que se trate.

Cuando las aguas residuales se incorporan al suelo, los metales pesados pueden ser removidos por los vegetales, lixiviados por las aguas que llegan a los acuíferos o a las aguas superficiales, o pueden quedar fuertemente retenidos en la matriz del suelo. El camino que sigan dependerá del tipo de metal y de su estado químico, del pH y contenido de materia orgánica del suelo, y de su capacidad de intercambio catiónico, entre otros factores.

Los metales pesados son esenciales para cualquier forma de vida y se les requiere en pequeñas cantidades. La disponibilidad de los metales para las plantas y su movilidad, a través de suelo, depende de la interacción con otros compuestos y de su estado químico. Por ejemplo, el Cu, Ni, Zn, Cd, Pb y Co; se comportan en forma similar en los suelos, en suelos ácidos pueden existir como cationes divalentes o en los suelos neutros o alcalinos pueden estar combinados con los iones hidroxilo o con otros metales; tal es el caso del ar

sénico que se combina con los iones Fe, Al, Co y Mg; y de esta forma queda retenido en el suelo; el cromo generalmente, se reduce u oxida, quedando en el suelo como un precipitado insoluble.

Por otra parte, el pH juega un papel muy importante en el comportamiento de los metales pesados en el suelo, generalmente, a medida que el pH decrece - se incrementa la solubilidad de los metales 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.

En general los suelos no contienen cantidades apreciables de metales pesados; en promedio, se encuentran los siguientes niveles de concentración, en mg/g de suelo, Cu, 20; Zn, 50; Cd, 0.06; Pb, 10; Ni, 40; y Co, 8. Al aplicar aguas residuales con altos contenidos de estos metales, su concentración se incrementará tanto que, de acuerdo con los principios generales del comportamiento biológico, pueden resultar tóxicos, tanto a los microorganismos del suelo, como a los cultivos. Sin embargo, en la mayoría de los casos esto no sucede, sobre todo cuando se aplican aguas residuales domésticas, debido a -- que los metales quedan retenidos en la materia orgánica o arcilla que contienen los suelos o simplemente se transportan a regiones más profundas, incluso hasta llegar a las aguas subterráneas. (23)

Por otra parte, la remoción de los metales por las plantas puede ser significativa y dependerá de la capacidad que tengan los cultivos para remover y acumular metales. Esta capacidad varía entre las especies de cultivo y entre las partes de la planta en que se acumulen, tratase de hojas, tallos, raíces, frutos y semillas. El que la acumulación llegue a niveles fitotóxicos dependerá, además de lo anterior, del pH del suelo, del agua en que se dispongan - las aguas residuales y del nivel de acumulación.

En realidad, el peligro mayor que pueden presentar los metales pesados -

contenidos en las aguas residuales usadas para riego, es que pueden acumularse en los cultivos y entrar a la cadena de alimentación de tal forma que rebasen los límites máximos tolerables estipulados para preservar la salud de los consumidores.

3.3.2.4. Efectos de las sales disueltas de las aguas residuales

El efecto nocivo de las sales (sodio, calcio, magnesio, carbonatos, cloruros, boro, etc.) se debe, por un lado, a que producen incrementos en la presión osmótica del suelo que está en contacto con las raíces de las plantas y, por lo tanto, se reduce la cantidad de agua que pueden absorber las raíces por otro lado, compiten por los sitios de intercambio desplazando a otros compuestos esenciales para el desarrollo de los cultivos. Lo anterior se traduce tanto en un abatimiento del agua disponible como de los nutrientes para los cultivos en la rizósfera, lo que ocasiona disminuciones en la producción de los cultivos o pérdida total de las cosechas.

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

De todas las reacciones de intercambio catiónico que se presentan en el suelo, la más importante es la del intercambio del sodio por el calcio. Cuando las aguas residuales que se aplican a los suelos poseen cantidades considerables de sodio en solución, éste se acumula paulatinamente en el suelo, y al

alcanzar concentraciones elevadas en relación con los otros cationes disueltos, bien sea por acumulación del sodio o por precipitación del calcio y magnesio, sustituye a éstos en el intercambio, produciendo un desequilibrio eléctrico en las micelas del suelo, en las que deja cargas negativas residuales que hacen que las partículas se repelen y en consecuencia el suelo se deflocula y pierde su estructura, lo que se traduce en una disminución de la permeabilidad del suelo al aire y al agua y se favorece la formación de costras, todo lo cual afecta o impide el desarrollo normal de los cultivos.

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

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

Por otro lado, existen algunos factores que tienen influencia en la tolerancia de los cultivos a las sales; por ejemplo, los cultivos que se desarrollan en suelos poco fértiles presentan una aparente tolerancia a las sales cuando se les compara con los que crecen sobre suelos fértiles; también se ha encontrado que los rendimientos relativos de alfalfa, frijol, remolacha, zana

horía, algodón, cebolla, tomate y calabazas, disminuyen más cuando se cultivan en climas calientes que en climas fríos, bajo las mismas circunstancias de salinidad. Esto se debe a que en climas calientes, la evaporación del agua sobre el suelo tiende a acelerarse y por lo tanto, las sales disueltas tienden a concentrarse en el suelo. (11)

3.3.2.5. Efectos de los microorganismos presentes en las aguas residuales

La población microbiana presente en las aguas residuales no causa efectos dañinos en los suelos y cultivos, pero su presencia en éstos repercute directamente en el ganado, en los humanos; por lo que este tema se tratará con amplitud en la sección siguiente.

3.3.3. Efectos en consumidores y trabajadores agrícolas

Los efectos que el uso de las aguas residuales pueden producir en consumidores y trabajadores agrícolas, se debe a su contenido de metales pesados y microorganismos. A continuación trataremos por separado cada uno de ellos.

3.3.3.1. Efectos de los metales pesados

Es de todos conocido que los seres vivos necesitan de cantidades muy pequeñas de metales pesados para realizar correctamente sus funciones metabólicas, sin embargo, a concentraciones mayores, pueden ocasionar efectos que van desde leves hasta mortales, dependiendo del metal, de su estado químico y de la dosis que ingiera.

Algunos metales pesados pueden ser absorbidos por las plantas y acumula-

dos en sus tejidos; de esta manera pasarán por la cadena de alimentación hasta llegar al humano. Tal es el caso del cobre y el cadmio, que pueden acumularse en las hojas de los cultivos, sobre todo en los forrajes y en algunos órganos vitales de los consumidores, como hígado y riñón. El envenenamiento por cadmio está asociado con enfermedades cardiovasculares. Los límites máximos recomendados por el Reglamento para aguas de uso agrícola estipula 0.005 mg/l para el cobre.

El molibdeno también presenta toxicidad para el ganado, a través del consumo de forrajes, en los que la concentración tóxica para ruminantes es del orden de 5 a 30 mg/kg; sin embargo, parece ser que la toxicidad del molibdeno está ligada con la presencia del cobre, por lo que las recomendaciones se han fijado en 0.010 mg/l.

El selenio también es tóxico en bajas concentraciones y también se acumula en las hojas de los forrajes, por lo que puede afectar no sólo a los cultivos, sino también al ganado; para este metal se ha impuesto un límite de 0.02 mg/l en aguas para el riego de cualquier tipo de suelo.

Los metales pesados no presentan ningún tipo de riesgo para los trabajadores agrícolas, a menos que éstos ingieran los productos contaminados de aquéllos.

En realidad el mayor peligro para consumidores y trabajadores agrícolas es el representado por el contenido de microorganismos patógenos en las aguas residuales utilizadas con fines de riego.

3.3.3.2. Acción de los microorganismos

Uno de los aspectos que más interesa cuando se utilizan aguas residuales para riego, es el que se refiere al comportamiento de la población microbiana

patógena que está presente en estas aguas, que se sabe esta constituida por gran variedad de especies de bacterias, protozoarios, virus y helmintos. (4)

Entre las bacterias se encuentran especies de Salmonella, Shigella, - Escherichia, Vibrio y Mycobacterium. Las especies de Salmonella producen fiebre entérica y gastroenteritis aguada, enfermedades generalmente asociadas -- con la ingestión de agua potable que ha sido contaminada con agua residual, o con el consumo de vegetales crudos cultivados en suelos que han sido irrigados con aguas residuales.

De las especies de Shigella sólo una es patógena para el humano y causa disenteria bacilar, claramente asociada con la ingestión de bebidas y alimentos contaminados con materias fecales.

Aunque se considera que es mínima la transmisión del agente etiológico - del cólera, Vibrio cholerae, a través de la aplicación de las aguas residuales a los suelos, en 1970, en el Estado de Israel, se detectaron brotes de esta enfermedad que fueron atribuidos sin duda a la práctica de riego de cultivos con aguas residuales sin tratar.

Tradicionalmente se ha considerado a Escherichia coli como parte de la flora normal del intestino del humano y de animales de sangre caliente; sin embargo, en años recientes, se han aislado numerosas cepas de Escherichia coli con propiedades patogénicas (enteropatógenas) que producen diarreas y disenterías.

El agente causal de la tuberculosis es el Mycobacterium tuberculosis, el cual puede adquirirse por contagio directo de un enfermo, o a través de algunos alimentos producidos por animales infectados, tal es el caso de la leche sin pasteurizar que proviene de vacas tuberculosas, que han adquirido la enfermedad por la ingestión de forrajes y aguas contaminadas con desechos fecales.

En el grupo de los protozoarios se encuentra Entamoeba histolytica, que es el agente de la disentería amibiana y Giardia lamblia, que produce desordenes intestinales (giardiasis). Estos organismos se adquieren por vía oral, a través de agua y alimentos regados con aguas negras.

En cuanto a los virus los más comunes en las aguas residuales son los enterovirus: poliovirus, coxsachie, echovirus, rotavirus, reovirus y hepatitis A, B y C. Los poliovirus producen la enfermedad conocida como poliometitis, - muy frecuente entre los niños, afortunadamente con el descubrimiento de las vacunas, esta enfermedad ha podido ser detenida, aunque no erradicada del planeta; no en todos los casos la enfermedad avanza hasta la fase de parálisis, sino que aparece como un desorden de las vías respiratorias altas y del tracto gastrointestinal: aunque el contagio directo es la forma más común de adquirirlo, se han reportado casos de brotes provocados por aguas y alimentos - contaminados con materias fecales.

Los virus de coxsachie (así llamados por la ciudad donde se aislaron por primera vez) producen trastornos de vías respiratorias, cardíacos y febriles en muchos casos se transmiten a través de las heces. Los echovirus también producen una variedad de padecimientos entre ellos fiebre, miocarditis, enteritis y meningitis aséptica, y sus vías de entrada al organismo es oral. Los rotavirus se han aislado de las heces de infantes con gastroenteritis agudas; su ruta de entrada al organismo es oral, a través de agua, alimentos y objetos contaminados con desechos fecales de humanos. Los reovirus, aunque a veces producen un tipo de desorden intestinal, aún no han sido vinculados con estados patológicos.

Los virus de la hepatitis están claramente ligados con las epidemias de origen hídrico; también su ruta de excreción es por materias fecales, los cuales pueden contaminar los cuerpos de agua, los alimentos y los objetos, de --

donde pasarán a la boca para establecer el ciclo.

De la población de helmintos podemos destacar a Ascaris lumbricoides, Enterobius vermicularis, Trichuris trichiura, Taenia solium e Hymenolepis nana, cuyos huevecillos pueden transmitirse por la ruta oral-fecal por la ingestión de agua o cultivos regados con aguas negras.

Para conocer el comportamiento de esta población microbiana tan heterogénea, se han realizado muchas investigaciones para determinar su supervivencia bajo diversas condiciones, la dosis infectiva y el peligro de transmisión y acarreo por aerosoles.

En la tabla 3.3.3.2 se muestra el por ciento de remoción de algunos microorganismos de las aguas residuales después de haberlas sometido a tratamientos convencionales.

TABLA 3.3.3.2

POR CIENTO DE REMOCION DE MICROORGANISMO EN AGUAS
SOMETIDAS A TRATAMIENTOS CONVENCIONALES.

Tratamiento	Porcentaje de remoción			
	Bacterias	Protozoarios	Virus	Helmintos
Primario	10-50	-	10-50	60-95
Secundario	90-99	60-100	90-99	60-100
Desinfección	99.99	90-100	90	Resistentes

(Datos recopilados de varios autores)

Por lo que respecta a la supervivencia en suelos y cultivos en la tabla

3.3.3.3., se muestran estos datos, y en la tabla 3.3.3.4., algunos de los factores ambientales que intervienen.

De los estudios que se han realizado sobre la supervivencia de bacterias entéricas en cultivos, se han obtenido los siguientes resultados importantes:

a) La superficie de las frutas y vegetales cultivados en suelos regados con aguas negras, pueden contaminarse con bacterias que no se eliminan fácilmente con lavados ordinarios.

b) Los cultivos pueden contaminarse directamente durante el riego o indirectamente al quedar en contacto con el suelo contaminado.

c) Las bacterias sobreviven por más tiempo en forrajes densos y en vegetales frondosos, aparentemente por estar más protegidas de la luz solar.

Por lo que respecta a la dosis infectiva, el número de organismos que deben ser ingeridos para causar enfermedad en personas o animales sanos, se han determinado las siguientes: 10^8 de Escherichia coli o Vibrio Cholerae; 10^4 - 10^9 de Salmonella; 10^1 - 10^2 de Shigella, para E. histolytica de 20 quistes, para Giardia de 10^2 - 10^6 quistes; para los virus la dosis varía según el tipo de virus, y puede ser de 1 a 10^2 ó más; en el caso de helmintos la dosis varía de 10 a 20 huevecillos.(19)

Conocer esto es importante porque, aunque se tenga un buen porcentaje de remoción, pueden quedar viables cantidades de microorganismos que alcancen -- las dosis infectivas y de este modo representar un peligro para los consumidores.

Otro aspecto que debe tomarse en cuenta durante la práctica de riego de cultivos con aguas residuales, es la transmisión potencial de enfermedades a través de los aerosoles. Durante el riego por aspersión, aproximadamente el 0.1% del líquido se convierte en aerosol (tamaños de partícula del orden de - 0.01 a 50 μ) que queda suspendido en el aire y contiene bacterias y virus pa-

tógenos, que pueden infectar a los humanos en forma primaria por inhalación y en forma secundaria por contacto con el cuerpo de otros materiales donde se depositan, por ejemplo, en las ropas.

La infectividad de un aerosol depende de la profundidad de la respiración, del tamaño del aerosol y de la presencia de organismos patógenos. Los aerosoles más grandes (2-5 u) quedan atrapados en las vías respiratorias superiores y no alcanzan a llegar a los alvéolos pulmonares, aunque si pueden llegar al tracto digestivo por la acción de los cilios; los aerosoles más pequeños (0.2-2 u) si llegan a los alvéolos pulmonares.

TABLA 3.3.3.3.

SUPERVIVENCIA DE ALGUNOS MICROORGANISMOS EN SUELOS Y CULTIVOS

Organismo	Medio	Tiempo de supervivencia (días)
Coliformes	Superficie del suelo	38
	Vegetales	35
	Forrajes	6 - 34
<u>Salmonella</u>	Suelos	1 - 20
	Vegetales y frutas	1 - 68
<u>Shigella</u>	Forrajes	42
	Vegetales	2 - 10
	Humus	160
<u>Mycobacterium</u>	Suelos	180
	Forrajes	10 - 49
<u>E. Histolytica</u> (quistes)	Suelos	6 - 8
	Vegetales	4 - 3
	Agua	8 - 40
Enterovirus	Suelos	8
	Vegetales	4 - 6

Organismo	Medio	Tiempo de supervivencia (días)
<u>Ascaris</u>	Suelos	hasta 7 años
(huevos)	Vegetales y frutas	27 - 35

(Tomada de la S.A.R.H., 1979)

TABLA 3.3.3.4

FACTORES AMBIENTALES QUE INFLUYEN EN LA SUPERVIVENCIA DE BACTERIAS Y VIRUS EN LOS SUELOS

Factor	Organismo	Influencia
pH	Bacterias	Supervivencia menor en suelos ácidos (pH 3-5) que en neutros o alcalinos.
	Virus	Datos insuficientes
Antagonismo con microflora	Bacterias	Se incrementa la supervivencia en suelos estériles.
	Virus	Datos insuficientes
Contenido de humedad	Bacterias y	Mayor supervivencia en suelos húmedos y durante los periodos de lluvia.
	Virus	
Temperatura	Bacterias y	Mayor supervivencia a temperaturas bajas
	Virus	
Luz solar	Bacterias y	Menor supervivencia en la parte superficial del suelo.
	Virus	
Materia orgánica	Bacterias y	Mayor supervivencia; activación de algunas bacterias cuando hay suficiente cantidad de materia orgánica en los suelos.
	Virus	

(Tomada de la S.A.R.H., 1979)

Existen varios factores que afectan la supervivencia de las bacterias y

virus en los aerosoles, algunos de los cuales se enlistan en la tabla 3.3.3.5.

TABLA 3.3.3.5.

FACTORES QUE AFECTAN LA SUPERVIVENCIA DE BACTERIAS Y VIRUS EN AEROSOLES

Factor	Influencia
Humedad relativa	A medida que se incrementa la humedad relativa, se retarda la evaporación de los aerosoles y por tanto, la muerte de los microorganismos.
Velocidad del viento	A bajas velocidades se reduce la transmisión de los aerosoles biológicos
Luz solar	Por su contenido en radiación ultravioleta, la luz solar tiene efectos letales en los microorganismos viables en los aerosoles, se presenta durante la noche.

3.4. PROCESOS DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES E INSTALACIONES NECESARIAS

3.4.1. Tratamientos de preaplicación

Las aguas residuales de origen doméstico no necesitan ser tratadas previamente a su aplicación al suelo, en lo que se refiere a la DBO y a los sólidos suspendidos, sin embargo, se hace preciso un tratamiento que reduzca a los límites adecuados estos dos parámetros en los casos siguientes: a) Cuando se pueden presentar peligros de colmatación en el suelo objeto de la apli-

cación. b) Cuando aparezcan problemas de obstrucciones de los conductores. c) Si es obligatorio una desinfección, y d) Si se necesita un almacenamiento de cierto volumen.

Si las aguas residuales van a ser aplicadas sobre cosechas, sobre todo - si se trata de cultivos hortícolas, las características sanitarias serán un - factor limitante de los afluentes. Lo mismo ocurrirá, aunque no bajo limita- ciones tan severas, con los afluentes destinados al riego de parques, zonas - por las que circulan personas, o al mantenimiento de pequeñas masas de agua - para usos deportivos.

Las aguas residuales aplicadas sobre zonas agrícolas o pastizales, deben ser tratadas, lo aconseja el Departamento de Sanidad del Estado de Califor- - nia, en E.U.A., de forma que el contenido en organismo coliformes no sea supe- rior a 23/100 ml. para ello se hace necesario un tratamiento biológico o se- - cundario, seguido de desinfección antes del vertido, hasta que se alcance los niveles indicados.

Si los efluentes se van a efectuar sobre zonas agrícolas de aprovecha- - miento directo, como cultivos hortícolas y de cereales, las limitaciones en - lo que se refiere a coliformes deberán ser superiores, pues como indica el or- ganismo antes mencionado, los coliformes no deberán superar el límite de - - 2.2/100 ml. En este caso las necesidades de tratamiento previo son superio- res y se aconseja el proceso siguiente:

Influente-oxidación-coagulación-filtración-desinfección-efluente.

Cuando los efluentes tienen como destino al riego de frutas, plantacio- - nes para aprovechamiento de semillas, parcelas de producción de forrajes, vi- ñedos, etc., las limitaciones no son tan severas y es suficiente, darles un - tratamiento primario.

En general, cuando el agua residual se le ha dado tratamiento en lagunas

de estabilización o de oxidación, su calidad es suficiente para ser utilizada posteriormente en riego de todo tipo, aunque se aconseja su prohibición en el riego de cultivos destinados a consumo crudo.

En todo lo indicado anteriormente, debe existir cierta flexibilidad, - - pues las condiciones de todo tipo varían de un país a otro, e incluso, son diferentes en áreas próximas, de tal forma una limitación en un lugar, puede -- ser mucho más amplia en otros colindantes. Por ello las cifras señaladas son muy relativas.

Cuando el agua residual forma un medio anaerobio, pueden presentarse malos olores, cosa que, en la mayoría de los casos, se deben evitar. Si se - - efectúa un tratamiento secundario desaparece casi toda la materia orgánica capaz de descomponerse y provocar olores. Si el tratamiento es más simple, el riego debe realizarse con ciertas precauciones, de forma que no se produzca - colmataciones del suelo o saturación, pues entonces se crea el medio anaero-- bio que facilita las descomposiciones que genera los malos olores. El mejor sistema para evitarlo es lograr los períodos de descanso adecuados, de modo - que el suelo llegue a estar seco el tiempo suficiente, ya que, en esas condi-- ciones, el aire circula por los poros y se crean condiciones aerobias que impiden las fermentaciones. Otra posibilidad es remover el suelo o usar vegetatales como aireadores, sin cosecharlos.

Si se va a utilizar la aspersión como mecanismo para riego habrá que tomar en cuenta el contenido en sólidos suspendidos del agua residual, pues éstos pueden llegar a bloquear los aspersores. De ahí que sea necesario darle al líquido residual un tratamiento mediante decantación o sedimentación, cri-- bado fino o filtración.

La reducción en las cargas de sólidos sedimentables y materia orgánica - (olores) de las aguas residuales con tratamiento primario, minimizará la posi

bilidad del desarrollo de condiciones molestas en el almacenamiento de éstas. Los depósitos de almacenamiento pueden proveer de tratamiento adicional, ya que en ellos pueden presentarse acción biológica, sedimentación de sólidos y eliminación de patógenos, sólo hay que cuidar la demanda de oxígeno por lo que será requerida la aeración.

Las consideraciones del tratamiento de preaplicación para las técnicas de distribución del agua residual (inundación, surcos, aspersión, etc.), incluye la remoción de sólidos gruesos y sedimentables para evitar la deposición en los equipos y estructuras hidráulicas.

En los sistemas de riego con aguas residuales, generalmente, las cargas hidráulicas y de nitrógeno gobiernan la operación del sistema. Por lo tanto, desde el punto de vista de operación de los procesos y del impacto en la matriz del suelo, el tratamiento de preaplicación para la reducción de sólidos orgánicos y suspendidos no es necesario.

Los niveles altos de sodio disminuyen la permeabilidad del suelo y la necesidad de un tratamiento previo a la aplicación al suelo deberá considerarse si el RAS del agua residual pudiera incrementarse a niveles inaceptables (en el reglamento para la prevención y control de la contaminación, elaborado por la S.A.R.H. de México, especifica una conductividad eléctrica para el agua de uso agrícola de no mayor de 2 000 umhos/cms y si el valor del RAS es mayor de 6, la S.A.R.H. deberá fijar el valor definitivo).

El nitrógeno presente en las aguas residuales, o por lo menos más de la mitad de él, está en forma amoniacal, de nitritos o de nitratos, según haya sido sometida el agua residual. Los tratamientos previos alteran todo el sistema cíclico del nitrógeno, pues se elimina previamente gran parte del elemento.

Cuando se aplica un agua residual a un suelo, el nitrógeno orgánico se -

convierte enseguida en NH_4^+ y en NO_3^- . Este NO_3^- representa un peligro potencial para las aguas subterráneas que son explotadas como agua potable (la concentración máxima permisible del NO_3^- se considera de 10 mg/l).

El boro es otro elemento esencial para la micronutrición vegetal, en pequeñas concentraciones, es esencial para el desarrollo normal de las plantas, y la falta de este elemento, o su presencia en concentraciones altas, afecta el crecimiento de los cultivos. Se considera tóxico para muchas plantas a -- concentraciones que superan los 1 a 2 mg/l. Se incluyen tres grupos de cultivo, dependiendo de la cantidad de boro que acepten:

Cultivos sensibles	Hasta 0.67 mg/l (limonero)
Cultivos semitolerantes	Entre 0.67 mg/l y 1.0 mg/l (maíz y trigo)
Cultivos tolerantes	Entre 1.0 y 3.75 mg/l (Alfalfa y lechuga)

El cloro (como cloruros) tiene como límites permisibles máximos en concentraciones de agua para riego; 100 mg/l (agua buena) y 300 mg/l (agua con problemas leves). (23)

3.4.2. Procesos de tratamiento de aguas residuales y su eficiencia

3.4.2.1. Tratamiento primario

El propósito fundamental de los dispositivos para el tratamiento primario, consiste en disminuir suficientemente la velocidad de las aguas residuales para que puedan sedimentarse los sólidos. Por este tratamiento se separan y eliminan la mayoría de los sólidos suspendidos en las aguas residuales, o sea, aproximadamente de 40 a 60% mediante el proceso físico de asentamiento en tanques de sedimentación. Cuando se agregan ciertos productos químicos en los tanques primarios, se eliminan casi todos los sólidos coloidales, así co-

mo los sedimentables, o sea, un total de 80 a 90% de los sólidos suspendidos. El porcentaje de remoción de contaminantes contenidos en aguas residuales se muestra en la tabla 3.4.2.1.

3.4.2.2. Tratamiento secundario

El tratamiento secundario o biológico tiene como función eliminar los sólidos orgánicos en suspensión o solución del agua residual, o transformarlo - en sólidos inorgánicos o sólidos orgánicos estables. Los filtros rociadores que incluyan sedimentación primaria, secundaria, deben eliminar, bajo condiciones normales de operación de 60 a 85% de la DBO de las aguas residuales.

En el proceso convencional de lodos activados se puede esperar una eficiencia global del 80 al 95%, medida por el abatimiento de la DBO y de los sólidos suspendidos. Las lagunas de oxidación tienen una eficiencia en la remoción de la DBO de 70 a 90%, las lagunas aerobias de 80 a 90% y las lagunas anaerobias de 70 a 80%, para cargas de diseño empírico de 2 a 5, de 15 a 20 y de 25 a 40 $\text{gr/m}^2\text{-d}$, respectivamente.

El porcentaje de remoción de metales pesados contenidos en aguas residuales, a través de tratamiento secundario, se muestra en la tabla 3.4.2.2.

3.4.2.3. Tratamiento terciario

En los sistemas de tratamiento terciario se utilizan procesos de refinamiento y pulimiento de agua residual para obtener una agua con un alto grado de calidad. La secuencia convencional de tratamiento primario y secundario - normalmente remueve de 85 a 90% de los contaminantes primarios o principalmente, la DBO y los SS. El tratamiento secundario de una agua residual conte-

niendo cerca de 300 mg/l de DBO y 20 a 40 mg/l de SS. Aunque, algunas veces es posible obtener efluentes con concentraciones de DBO y SS menores que 15 a 20 mg/l en una planta de tratamiento secundario bien diseñada y operada, es usualmente necesario dar un tratamiento terciario si se requiere una alta calidad del efluente. El principal objetivo del tratamiento terciario es la removición de sólidos suspendidos finos, ya que estos sólidos suspendidos son en su mayoría orgánicos, su remoción resulta en una reducción de la DBO del efluente. Un segundo objetivo del tratamiento terciario es la desinfección, que reduce las concentraciones de patógenos e indicadores bacteriales y otros patógenos, los cuales podrían ser un peligro a la salud de los usuarios.

Los filtros de arena son procesos físicos que remueven partículas suspendidas, coloidales y bacterias del agua residual. Se dividen en dos tipos, -- los lentos y los rápidos, operando cada uno a cargas de 3 y 120 a 50 m³/m² d, y teniendo eficiencias de remoción en SS del 60 y del 70 al 80% y en DBO del 40 y del 50 al 70%, respectivamente.

La cloración es el desinfectante más ampliamente usado. El cloro es un fuerte agente oxidante y algunos agentes reductores, tales como los nitratos, los iones de fierro y el ácido sulfhídrico, rápidamente reacciona con él, reduciendo la concentración disponible para destruir los patógenos. La cloración tiene una eficiencia de remoción del 99 al 99.99% de microorganismos, ya que al tratar aguas residuales con concentraciones de 10⁶/100 ml de coliformes fecales (organismos indicadores de contaminación a nivel bacteriológico) mediante cloración se han obtenido resultados de 200/100 ml.(23)

TABLA 3.4.2.1.

PORCIENTO DE REMOCION DE CONTAMINANTES CONTENIDOS EN
AGUAS RESIDUALES POR TRATAMIENTO PRIMARIO (1)

Contaminante	Porciento de remoción (%)	Adición de cal
DQO	42	60 (2)
DBO	39	
Sólidos suspendidos	64	95 (2)
Grasas y aceites	61	
Nitrógeno amoniacal	41	
Cobre	36	100 (3)
Zinc	26	94 (3)
Níquel	20	
Plomo	(4)	
Arsénico	(4)	
Cadmio	(4)	
Cromo	32	100 (3)
Patógenos		
• <u>Salmonella typhi</u>	50	
• <u>Salmonella sp.</u>	0-15	
• <u>Salmonella fecalis</u>	50	99.9 (5)
• <u>Mycobacterium</u>	48-57	
• Buterovirus	0	
• Polio virus	0	
• Cocksackie virus	50	
• Quistes de Amoeba	poca remoción	
• Lombrices parasiticas	50-98	
• Ascaris	100	

- (1) "Contaminants Associated with Direct and Indirect Reuse of Municipal Wastewater". U.S. Environmental Protection Agency (estudios realizados por Mitchel, P.K. Southern California Coastal Water Research Project (1974), Bryan, E.H. Diseases Transmitted by Foods Contaminated by Wastewater (1974); Foster, D.H. y Engelbrecht, R.S. Conference on he-cycling Treated Municipal Wastewater through Forest and Cropland - (1974).
- (2) Adición de 350 mg/l de cal y flotación aérea (estudio realizado por -- Mennell, M. et. al). JWPCF (noviembre 1974).
- (3) Adición de 388 mg/l de cal.
- (4) Las concentraciones de plomo, arsénico y cadmio se incrementaron (no existe explicación respecto a este incremento).
- (5) Adición de 450 mg/l de cal.

TABLA 3.4.2.2.

PORCIENTO DE REMOCION DE METALES PESADOS
CONTENIDOS EN AGUAS RESIDUALES, A TRAVES
DE TRATAMIENTO SECUNDARIO (1).

Metal	Promedio de Clarificador primario	remoción (%) Filtros rociadores y clarificador secundario	Lodos activados y clarificador secundario
Análisis por emisión de rayos X			
Cadmio	30	5	56
Cromo	36	19	36
Cobre	40	47	59
Fierro	57	46	48
Plomo	54	36	48
Manganeso	27	16	22
Molibdeno	22	15	23
Níquel	25	20	22
Plata	46	48	71
Zinc	50	56	60
Análisis por absorción atómica/química húmeda			
Cromo	48	19	40
Cobre	38	39	30
Fierro	50	43	49
Molibdeno	6	36	2
Zinc	43	30	39

- (1) "Health Aspects of Wastewater Recharge". A State-of-the-Art Review State of California, 1978. (Estudio realizado por Zemansky, G. M. "Removal of Trace Metals in Conventional Water and Wastewater Treatment").

3.4.3. Pretratamiento

3.4.3.1. Cribas

Con objeto de proteger de taponamiento o daños a las bombas y otros equipos, debido a los sólidos mayores que se encuentran en las aguas residuales, debe de existir alguna clase de dispositivo de cribado que detenga estos sólidos.

Tipos de dispositivos para cribado.- Existen varios tipos de dispositivos para cribado que pueden aplicarse a diseños de plantas municipales. Los tipos principales se mencionan en el siguiente cuadro:

TIPOS DE DISPOSITIVOS DE CRIBADO

<u>Tipos de Dispositivos de Cribado</u>	<u>Tamaño de abertura (cm)</u>	<u>Propósito</u>
Rejas para basura	5 - 10	Proteger bombas y equipos de los objetos grandes.
Rejillas	1.5 - 5	Parecidos a las rejas para basura con aberturas más pequeñas para remover ramas, sólidos mayores.
Desmenuzadores	0.75 - 2	Reduce el tamaño de sólidos mayores mediante trituración o cortes sin removerlos de las aguas residuales.

Diseño de Dispositivos para cribado.- Debido a que las rejillas son -- los dispositivos de cribado más usuales y de mayor servicio, a continuación -- se describen sus características de diseño.

Las rejillas pueden estar precedidas por una reja para basura de limpieza manual con abertura de 5 a 10 cm, cuando existe una gran posibilidad de -- que objetos grandes pueden entrar al sistema de drenaje. El tamaño de las -- aberturas entre barras es uno de los elementos principales en el diseño completo de una rejilla, pues este factor determinará no solamente el tamaño de los objetos y cantidad de material que removerá la rejilla del agua residual, sino que también determinará la frecuencia de limpieza requerida para el caso de rejillas de limpieza manual.

CUADRO 3.4.3.1.

CANTIDAD DE MATERIAL CRIBADO POR UNA REJILLA EN
FUNCION DE LA ABERTURA EN TRES BARRAS

<u>Abertura</u> <u>(cm.)</u>	<u>Promedio de cribado</u> <u>(m3/m3 de flujo)</u>
6.5	4×10^{-6}
5.0	5×10^{-6}
4.0	8×10^{-6}
2.5	22×10^{-6}
1.5	47×10^{-6}

La abertura de las barras deberá ser tan grande como sea posible, pero -- que a la vez proteja el equipo que se encuentra posteriormente, como serían -- las bombas, los mecanismos de recolección de arenas y los mecanismos de clari -- ficación.

El tamaño del canal donde está la rejilla depende del flujo del drenaje -- y de la velocidad requerida. La velocidad (V), a través de las rejillas debe -- rá mantenerse en ciertos límites para prevenir caídas de presión excesivas o

la posibilidad de forzar el paso de la materia cribada a través de las barras. Los valores generalmente aceptados son 60 cm/seg. en flujo normal, y 90 - - cm/seg. en flujo máximo. Por otra parte, esta velocidad está en función del caudal y del área efectiva de paso en la rejilla, determinada por las proyecciones verticales de las aberturas entre barras, medidas desde el fondo del - canal hasta la superficie del líquido.

El área efectiva se calcula con la siguiente fórmula:

$$A = \frac{F}{V} \quad \text{Ecuación 3.4.3.1.}$$

Donde: V = Es la velocidad del flujo (m/seg).

F = Es el flujo del diseño en (m³/seg).

A = Es el área proyectada de las aberturas (m²).

PARAMETROS DE DISEÑO DE LAS REJILLAS DE LIMPIEZA MANUAL

<u>Parametros</u>	<u>Valores Típicos</u>
V, Velocidad de flujo a través de la rejilla.	60 cm/seg. con flujo normal
H, Desnivel entre la plantilla del - canal de rejilla y la del canal - de entrada.	8 a 15 cm.
θ, Angulo de inclinación de las reji llas.	30° - 60° para limpieza manual
P, Caidas de presión.	15 cm. de agua.

La diferencia de elevación (H) entre el fondo del canal de la rejilla y el fondo del canal de entrada deberá ser de 8 a 15 cm aproximadamente, para - contrarrestar la caída de presión a través de la rejilla. Con el área efecti va necesaria basada en el flujo y la velocidad, en el canal se puede dimensio

nar para acomodar la rejilla, seleccionando la anchura y profundidad apropiadas. El canal de entrada deberá ser recto para proporcionar una distribución uniforme del flujo a la rejilla y deberá mantener una velocidad aproximada de 45 cm/seg. a caudal promedio.

El ángulo de inclinación de la rejilla está en función de la técnica de limpieza prevista. Las rejillas colocadas en ángulos de 30° a 60° de la posición horizontal facilitan la limpieza manual. Las de limpieza mecánica, generalmente, se instalan con ángulos mayores, inclusive en posición vertical.

La selección del tamaño de las barras depende de las dimensiones requeridas de la rejilla y de los tipos de materiales que se espera remover del agua residual. La longitud debe ser tal que se extiendan por lo menos 25 cm., en proyección vertical, por arriba del nivel máximo del agua; por otra parte, deben ser lo suficientemente fuertes para que no sean dañadas por los sólidos que retendrán. En la siguiente tabla se mencionan las características recomendables de las barras, comunmente soleras de acero, en función de la longitud.

TAMAÑOS NORMALES DE BARRAS

<u>Longitud de las Barras</u>	<u>Dimensiones aproximadas</u>		
	<u>Espesor</u>	x	<u>Ancho</u>
Hasta 0.75 metros	0.6 cm.	x	2.5 cm.
de 0.75 a 2 metros	0.8 cm.	x	5 cm.
de 2 a 4 metros	1 cm.	x	6.3 cm.
mayor de 4 metros	1.25 cm.	x	7.5 cm.

Es práctica común diseñar el canal de cribado con ancho no menor de 0.6 metros y máximo de 4.25 metros. Sin embargo, en sistemas pequeños donde la -

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

obra sea superficial se permiten anchos hasta de 0.4 m. El tirante de agua residual debe mantenerse tan bajo como sea posible para minimizar la pérdida de carga.

Mecanismos de limpieza.- El manejo y disposición del material cribado es una función importante para asegurar que el equipo de cribado continúe trabajando adecuadamente, evitar los taponamientos y las caídas de presión. Las rejillas de limpieza manual son apropiadas para la mayoría de las plantas y --son muy eficaces; se utilizan rastrillos para jalar o quitar el material cribado de éstas. Se deja que escurra y posteriormente se almacena en un depósito para disposición.

En las unidades de limpieza mecánica, el dispositivo de limpieza, normalmente, es un rastrillo que está acoplado a las barras por medio de una cadena y engranes o por medio de una cuerda y un sistema de poleas. Las características de estas unidades las proporciona el fabricante.

El material cribado recolectado deberá disponerse para relleno de terreno o incineración.

3.4.3.2. Dispositivos para remoción de arenas

La presencia de arenas es común en sistemas de drenaje combinados, por lo que se requiere la instalación de cámaras desarenadoras para remoción. La remoción de arena protege las bombas y otros equipos del excesivo desgaste, debido a la abrasión y no permite que este material se acumule en los tanques y --pueda causar obstrucciones y taponamientos.

Tipos de unidades para remoción de arenas.- Esencialmente hay dos tipos de unidades para remover arenas: cámaras simples de flujo horizontal y --tanques aireados.

Cámaras simples: Normalmente son canales rectangulares donde se mantiene una velocidad controlada del agua residual, de manera que las arenas sedimentan hasta el fondo del canal y los sólidos orgánicos putrefactibles ligeros pasen a las subsecuentes unidades de tratamiento.

Tanques aireados: Son unidades que cuentan con un dispositivo de aireación en el tanque para provocar, mediante el control de la cantidad de aire inducido, que se mantenga en suspensión la materia orgánica y sedimenten las arenas hasta el fondo del tanque. Este tipo de unidades desarenadoras requieren de compresores de aire y equipo asociado, por lo que comúnmente se prefieren las cámaras simples en los sistemas de tratamiento primario. Por tal razón, en la siguiente sección se discuten solamente los principios del diseño de las cámaras simples de desarenación; de necesitarse tanques aireados, sus características y especificaciones son proporcionados por los proveedores.

En el siguiente cuadro se muestra la velocidad de sedimentación contra la temperatura, así la velocidad de sedimentación a 10°C es 2.1 cm/seg., para una partícula que tenga la densidad y el diámetro marcados anteriormente. A mayor temperatura la velocidad de sedimentación es más grande:

CUADRO 3.4.3.2.

VELOCIDAD DE SEDIMENTACION CONTRA TEMPERATURA *

<u>Temperatura</u> <u>°C</u>	<u>Velocidad</u> <u>(cm/seg.)</u>
0	1.4
10	2.1
20	2.7
30	3.2

* La partícula es de 0.2 mm con una gravedad específica de 2.65

Control de velocidad.- Para mantener una velocidad de flujo aproximadamente constante, se debe equipar a la cámara desarenadora con una sección de control que proporciona básicamente una nueva área en la sección transversal del canal, que está en relación a la velocidad del flujo. Tal control se puede realizar usando un vertedor proporcional o por un canal Parshall instalados en el lado corriente abajo de la cámara.

Los vertedores proporcionales son los que mejor favorecen el control de la velocidad donde se dispone de carga hidráulica suficiente, que permita que el borde del vertedero esté lo suficientemente arriba de la superficie del agua corriente abajo. Este tipo de vertedero proporciona un buen control en un amplio rango de flujos.

El canal Parshall no necesita de mucha carga como los vertedores proporcionales, pero da un buen control de velocidad a un rango de flujos más limitado. El canal Parshall también requiere de más espacio para su instalación y usualmente incluye un mayor costo.

El principio básico del vertedor proporcional es que el gasto a través de él, varía directamente con la carga. esto es que el control de flujo va directamente relacionado con la forma del vertedor.

Debe mantener una velocidad constante de 30 cm/seg. aproximadamente, en el canal desarenador. Las ecuaciones de diseño son:

$$F = 2b \sqrt{2ag} \quad (h+2/3 a) \quad \text{Ec. 3.4.1.}$$

$$F_1 = 4/3 b \sqrt{2g} \quad (h+a)^{3/2} - h^{3/2} \quad \text{Ec. 3.4.2.}$$

$$X = b \left(1 - \frac{2}{\pi} \tan^{-1} \sqrt{\frac{Y}{a}} \right) \quad \text{Ec. 3.4.3.}$$

Donde: F = Flujo de agua residual m³/segundo.

b = Mitad del ancho del vertedor (m)

a = Altura de la parte rectangular del vertedor (m)

h = Altura del vertedor (m)

F_1 = Flujo de agua residual de la parte rectangular del vertedor
 $m^3/\text{segundo}$.

En la primera ecuación la incógnita a resolver, es "b", ya que, "a" se asume con un valor mínimo de 2.5 cm (1 pulgada) y se puede ajustar a que se obtenga un valor adecuado de "b", de acuerdo a las dimensiones del canal; "h" se calcula considerando que el tirante máximo "H" en el canal desarenador es igual a la altura del vertedor "h" más "2/3 a". Aplicando la ecuación tercera se obtiene una curva del vertedor. Determinadas a y b, X puede ser calculada por cualquier valor de Y.

Diseño de las cámaras desarenadoras.- La experiencia ha mostrado que la velocidad horizontal del flujo en la cámara desarenadora debe mantenerse lo más próximo posible a los 30 cm/seg., esto permitirá la sedimentación de las arenas y también mantendrá en suspensión a la mayor parte de la materia orgánica. Para el mantenimiento de esta velocidad se deberá equipar a la cámara desarenadora con un dispositivo de control de velocidad.

El área de la sección transversal (A) del canal desarenador se basa en el flujo de diseño (F) y la velocidad horizontal (V):

$$A = \frac{F}{V} \quad \text{Ecuación 3.4.4.}$$

Donde: A = Es el área de la sección transversal del canal desarenador (m^2).

F = Es el flujo del agua residual (m^3/seg).

V = Es la velocidad del flujo (0.3 m/seg).

Por otra parte:

$$A = W. H. \quad \text{Ecuación 3.4.5.}$$

Donde: W = Es el ancho de la cámara (m)

H = Es el tirante o profundidad del agua en el canal (m) para --
caudal máximo.

El ancho mínimo (W) recomendable es de 0.6 m. para facilidad de limpie--
za, sin embargo, en sistemas superficiales pequeños, es permisible hasta 0.4
m. Por lo tanto:

$$H = \frac{(F)}{(V)} \cdot \frac{1}{(W)} \quad \text{Ecuación 3.4.6}$$

$$L = \frac{(H)}{(u)} \quad (V) \quad \text{Ecuación 3.4.7}$$

Donde: L = Es el largo de la cámara (m)

u = Es la velocidad de sedimentación de la arena (m/seg).

Debido a los efectos de turbulencias y las alteraciones de entrada y sa--
lida, la longitud de la cámara deberá incrementarse un 40% sobre el valor teó--
rico obtenido con las fórmulas anteriores. Asimismo, se debe proveer un espa--
cio dentro de la cámara para la acumulación y almacenamiento de las arenas re--
movidas. Normalmente, la cantidad de arenas en las aguas residuales varía
en un rango de 0.01 a 0.06 m³ por cada 1 000 m³ de agua residual. Por lo tan--
to, el volumen para almacenamiento depende de la frecuencia de limpieza pre--
vista. Regularmente, las cámaras desarenadoras se construyen en paralelo pa--
ra facilitar la limpieza normal de una, mientras que la otra continua operan--
do.

Equipo de recolección.- El método más simple para remover las arenas -
sedimentadas es mediante el paleado manual del fondo de la cámara. Para po--
der realizar esta operación, es necesario disponer de una cámara de reserva -
para desviar a ésta las aguas residuales y sacar de operación la que requiere

limpieza. Para unidades muy grandes un sistema de poleas puede reducir el esfuerzo manual requerido para sacar las arenas de la cámara.

Los dispositivos mecánicos como los removedores, raspadores de cadena, - transportadores de gusano, etc., generalmente, están incluidos dentro del paquete de la unidad de remoción de arenas que ofrecen los fabricantes del equipo.

PARAMETROS DE DISEÑO DE LAS CAMARAS DESARENADORAS

V,	Velocidad del flujo.	30 cm/seg.
u,	Velocidad de sedimentación de las arenas.	Según cuadro 3.4.1.
H,	Tirante hidráulico.	Dado por la ecuación 3.4.6.
A,	Area hidráulica de la cámara.	Dada por la ecuación 3.4.4.
W,	Ancho de la cámara.	0.6 m. mínimo recomendable.
L,	Largo de la cámara	Dados por la ecuación 3.4.7.
L',	Largo de diseño de la cámara.	Normalmente L' = 1.4 L.
	Rango de acumulación de arenas.	0.01-0.06 (m ³ /1 000 m ³ de agua residual).

Ecuaciones:

$$A = \frac{F}{V} \quad \text{Ecuación 3.4.4.}$$

$$A = W \times H \quad \text{Ecuación 3.4.5.}$$

$$H = \frac{(F)}{(V)} \frac{1}{W} \quad \text{Ecuación 3.4.6.}$$

$$L = \frac{(H)}{(u)} (V) \quad \text{Ecuación 3.4.7.}$$

3.4.3.3. Estaciones de bombeo

La estación de bombeo principal de una planta de tratamiento de aguas residuales recibe toda el agua residual de la red municipal y la eleva a una altura suficiente que permita que el agua residual fluya por gravedad, a través de todos los procesos del tratamiento; cuando las condiciones del terreno donde esté situada la planta de tratamiento con respecto a las de la red municipal, permitan que el agua residual fluya por gravedad a los procesos del tratamiento, la estación de bombeo para el influente no será necesario.

Las partes esenciales de una estación de bombeo son: equipo-bombeo, pozo de admisión o pozo húmedo, cámara de bombeo o pozo seco y unidad de fuerza motriz.

Diseño de estaciones de bombeo. Caudal del diseño.- Para determinar el tamaño de la estación de bombeo, se deberá conocer la cantidad y las variaciones del caudal esperadas, ya que no hay un método para el dimensionamiento de las estaciones de bombeo que sea aplicable a todas las condiciones.

Equipo de Bombeo.- Comúnmente se define una bomba, como una máquina hidráulica operada mediante un motor que puede ser eléctrico capaz de transportar un líquido de un espacio a otro, incrementando la presión del líquido en el lado de la descarga de la bomba; generalmente, debido a la presencia de sólidos suspendidos en las aguas residuales domésticas, se utilizan bombas espirales o centrifugas que no se atascan para los requerimientos del agua residual.

Las bombas centrifugas, especialmente diseñadas para minimizar la posibilidad de taponamientos se recomienda en la mayoría de los casos, debido a su impulsor abierto, ya que por su diseño permite que objetos, relativamente grandes pasen a través de la bomba.

La instalación de bombas en las estaciones de bombeo se pueden clasifi--

car del siguiente modo: bombas bajo las aguas negras en el pozo de recepción, bombas de pozo seco a un nivel más bajo que el del líquido en el pozo de recepción y bombas colocadas más altas que el nivel de las aguas negras en el pozo de recepción.

Los cálculos por hacer, suponen que el gasto, así como la altura hasta la cual debe ser bombeada el agua han sido previamente determinados para lograr tal fin, debe tenerse cuidado al calcularse la carga hidráulica total -- que tendrá que vencerse. El cálculo cuidadoso de este elemento es de la mayor importancia en la buena elección e instalación de una bomba centrífuga.

La carga hidráulica total, está formada por la suma de todos y cada uno de los elementos que enseguida se enumeran:

1. De la altura estática de succión (H_{suc}) o carga de presión en la succión (H_{pres}) que es la distancia vertical entre la superficie libre del agua en el depósito y la línea del centro del eje de rotación horizontal de la bomba.

2. De la altura o carga estática de descarga (H_{desc}) que es igual a la distancia vertical o desnivel entre la línea del centro del eje horizontal de rotación de la bomba y el nivel de la descarga.

3. De la carga de fricción (hf) o pérdida total de fricción que tendrá lugar en la succión y en la descarga.

Cuando la bomba centrífuga se encuentra sobre el nivel del agua en la succión, la carga hidráulica total (H) es igual a la $H_{suc} + H_{desc} + hf$; pero cuando la bomba trabaja ahogada: $H = H_{desc} - H_{pres} - hf$.

Al calcular la carga hidráulica total que debe considerarse en un sistema de bombeo por instalar, las pérdidas de fricción y la carga o altura estática deben calcularse para un máximo o condiciones extremas. En otras palabras debe considerarse la H máxima que podrá presentarse calculando las pérdi

das por fricción para el gasto máximo que pudiera requerir el sistema de bombeo.

La construcción de la curva carga-capacidad para el sistema, es el primer paso para la selección de las unidades de bombeo, lo cual es recomendable ya que tal cosa ayuda al Ingeniero a formarse una idea clara de los hechos -- por realizar. Esta curva comúnmente conocida como la curva de carga del sistema, se obtiene graficando la capacidad total de bombeo contra la altura dinámica total para la capacidad dada. Como el nivel del agua en el lado de la succión de las estaciones de bombeo de aguas negras está normalmente sujeta a variaciones considerables, es recomendable graficar las curvas del sistema para ambos extremos de la carga estática. Las pérdidas en la tubería entre la succión y la bomba y el impulsor o fuerza principal son: Por conveniencia, usualmente despreciables para la curva de carga de la bomba.

Es necesario hacer algunas estimaciones preliminares del tamaño de la tubería y del número de conexiones y válvulas, para el cálculo de la curva de la carga del sistema. El tamaño de la tubería puede estimarse con una ligera aproximación usando la velocidad del caudal, y el número de conexiones y válvulas se determinan por el plano de la estación.

Generalmente, las bombas para aguas negras se diseñan para operar a velocidades tan altas como 1 800 revoluciones por minuto (rpm), aunque en la práctica, normalmente, se usa velocidades de 1 200 (rpm) o menores.

Frecuentemente se prefiere el uso de tres bombas, para el caso de aguas negras, donde tienen variaciones del caudal durante periodos de 24 horas; es conveniente que se diseñe la capacidad de una de las bombas ligeramente mayor que el promedio mínimo de flujo, otra bomba deberá tener capacidad ligeramente mayor que el flujo promedio y una tercera bomba con capacidad igual o mayor al flujo máximo.(21)

Los circuitos eléctricos para la conexión de los motores a la fuente de energía puede ser del tipo monofásico y del tipo trifásico, siendo este último el estándar para los motores usados en las estaciones de bombeo excepto cuando el motor es de una fracción de caballo de fuerza.

Estructuras de la estación de bombeo: El diseño más común de una estación de bombeo se refiere a un pozo húmedo para recolectar el agua residual y un pozo seco para colocar las bombas y el equipo de control, debido a que presenta menos problemas de mantenimiento en relación con las bombas sumergidas (se debe tomar muy en cuenta la naturaleza corrosiva del agua residual, especialmente su septicidad, puesto que produce ácido sulfhídrico que ataca los materiales de concreto y metal). (Figura 3.4.3.3.)

El pozo húmedo o de recepción, actúa como un depósito regular para reducir al mínimo las fluctuaciones de carga de las bombas. El pozo debe localizarse tan alto como permitan las condiciones locales y el fondo o piso debe estar inclinado hacia el punto de succión de cada bomba, para evitar la acumulación de sólidos en el fondo del pozo.

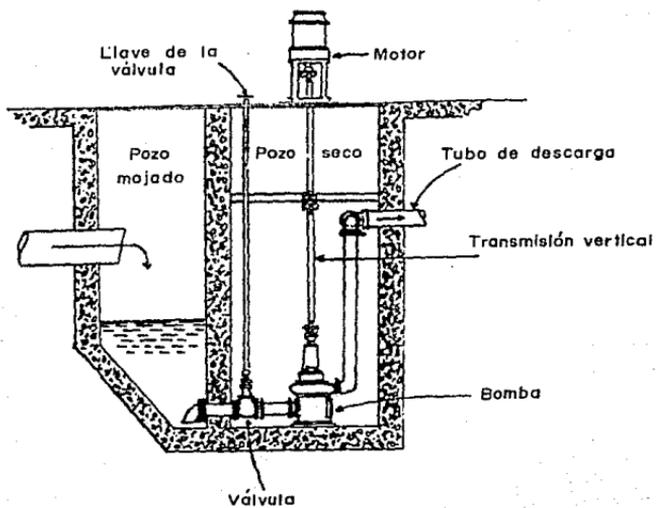
El pozo húmedo deberá dimensionarse para propiciar que una bomba individual pueda pararse por lo menos 5 minutos para permitir que el motor se enfríe. De la misma manera, el tiempo mínimo que las bombas deben trabajar debe ser aproximadamente 15 minutos para reducir el flujo de sobrecarga en el sistema de tratamiento. Para prevenir las condiciones sépticas el pozo húmedo deberá ser lo suficientemente pequeño, y el tiempo de retención no deberá exceder de 20 minutos, basado en el flujo de promedio de agua residual.

Cuando la bomba mayor esté fuera de servicio por reparación, la capacidad combinada de las otras bombas deberá ser suficiente para manejar el flujo máximo.

Los fabricantes disponen de las curvas características completas, así como las recomendaciones para el mantenimiento de las bombas, que pueda propor-

FIGURA 3.4.3.3.

Sección de una Pequeña Estación de Bombeo



cionar al consumidor. Para solicitar una cotización será necesario indicar a los fabricantes los siguientes parámetros, capacidad de la bomba (l/min.), -- carga total del sistema (k), velocidad de la bomba (rpm), potencia (hp) y eficiencia requerida; además que el motor tenga la suficiente potencia para accionar la bomba bajo cualquier condición de carga y descarga.

La fuerza necesaria para el movimiento de las bombas es producida generalmente, por motores eléctricos, debido a su bajo costo inicial, a su confiabilidad y a su flexibilidad de operación. Debido a que en muchas instalaciones se requiere la regularización de la velocidad para un buen funcionamiento de las bombas centrífugas se utilizan motores de velocidad variable o de -- transmisiones de velocidad variable (engranes, correas ajustables, etc.), -- considerándose esto último como lo más satisfactorio, pues permite que funcione el motor a la velocidad más conveniente y que funcione la bomba bajo -- las condiciones más económicas. El control del equipo de bombeo se deberá -- efectuar mediante un interruptor de nivel, en el pozo húmedo.

3.4.4. Remoción de Sólidos Sedimentables

3.4.4.T. Sedimentadores primarios

La remoción de los sólidos sedimentables de las aguas residuales, se -- realiza mediante el proceso de sedimentación. La diferencia en gravedad específica entre los sólidos sedimentables y el agua, origina que los sólidos sedimenten en el fondo de un tanque o recipiente en condiciones no turbulentas.

Muchos de los procedimientos de diseño y práctica de tratamiento municipal para remoción de sólidos sedimentables se describen en términos de re-

remoción de sólidos suspendidos. La relación entre sólidos sedimentarios y sólidos suspendidos es:

$$\text{Sólidos suspendidos totales} = \text{Sólidos sedimentables} + \text{Sólidos no sedimentables.}$$

Esta relación indica que no todos los sólidos suspendidos en las aguas residuales son sedimentables. Normalmente, la relación en el agua residual doméstica es: (21)

Sólidos suspendidos totales	100%
Sólidos sedimentables totales	60%
Sólidos suspendidos no sedimentables	40%

El porcentaje de remoción de los sólidos sedimentables y suspendidos es función de la carga superficial, la cual se expresa como el caudal medio diario de aguas residuales, dividido entre el área superficial del sedimentador. Generalmente, se denomina en $\text{m}^3/\text{día}/\text{m}^2$.

$$q = \frac{F}{A} \quad \text{Ecuación 3.4.4.1.}$$

Donde: q = Es la carga superficial ($\text{m}^3/\text{día}/\text{m}^2$).

F = Es el caudal del agua residual ($\text{m}^3/\text{día}$).

A = Es el área del sedimentador (m^2).

Aunque las reglamentaciones están escritas en términos de limitación de sólidos sedimentables, la mayoría de los datos de diseño para procesos de sedimentación se presentan para sólidos suspendidos. Como requerimiento mínimo, los tanques de sedimentación tendrán que lograr el 60% de remoción de sólidos suspendidos en la corriente de agua residual municipal. Este tratamiento es adecuado para llevar el efluente al requerimiento de un mililitro por litro de sólidos sedimentables.

Con el caudal de diseño conocido, el área del sedimentador requerido pue-

de determinarse basándose en la carga superficial para flujos menores de - - 4 000 metros cúbicos por día, no deberá excederse 24 metros cúbicos por día - por metro cuadrado. Para flujos mayores la carga superficial no deberá exceder 32 metros cúbicos por día por metro cuadrado basado en el flujo promedio.

Tipos de sedimentadores: Hay dos tipos básicos de sedimentador que se usan en plantas de tratamiento municipal: rectangular y circular.

Rectangular: Dimensiones.- La práctica general limita el uso de sedimentadores rectangulares, a anchos (W) que están en el rango de 1.5 m. a 6 m., - aproximadamente. Los anchos mayores de 6 metros presentan problemas para los mecanismos de remoción de lodos.

Aunque la longitud (L) de un tanque puede llegar a 90 metros, la experiencia muestra que el sedimentador rectangular bien proporcionado deberá tener una longitud proporcional a su ancho, entre 3 a 1 y 5 a 1.(21)

El tiempo de retención no es un parámetro significativo para propósitos de diseño de un sedimentador como lo es la carga superficial; sin embargo, es recomendable proveer un tiempo de retención de 90 a 150 minutos, basado en el caudal de diseño promedio. Para el efecto, la profundidad (H) mínima que se considera en sedimentadores con equipo mecánico para remoción de sedimentos - es de 2.1 m., permitiéndose profundidades menores para unidades sin remoción mecánica; en este caso se deben proveer volúmenes adicionales en los tanques para el depósito de los lodos, normalmente tolvas en el fondo con ángulos de inclinación de las paredes de 30° a 45°.

Dispositivos de entrada y salida.- Estos dispositivos se diseñan para - minimizar turbulencias y distribuir el flujo en todo lo ancho del tanque.

El dispositivo de entrada puede estar constituido por una serie de tubos espaciados a lo ancho del tanque, un solo tubo descargando verticalmente bajo la superficie del agua o simplemente por un canal a todo lo ancho del tanque

con orificios uniformemente espaciados.

Los dispositivos de salida, para prácticamente, todas las unidades; son vertedores triangulares tipo "V" de diente de sierra, los cuales vierten a un canal que conduce el agua residual hacia el punto de descarga; los vertedores deben ser ajustables para nivelarlos y suficientemente grandes para evitar -- que altas cargas puedan provocar corrientes de derrame. La carga sobre el -- vertedor tendrá que restringirse a 185 metros cúbicos por día por metro lineal para prevenir flujos excesivos. El canal de salida para el efluente del sedimentador, se deberá dimensionar para una velocidad aproximadamente de 60 cm/seg.

Normalmente, enfrente de los vertedores de salidas se colocan las mamparas de retención de natas, las cuales se extienden de 15 a 30 cm. bajo la superficie del agua.

El largo requerido de vertedor será:

$$W = \frac{F}{q_w} \quad \text{Ecuación 3.4.4.2.}$$

Donde: q_w = Es la carga del vertedor (185 m³/día/m).

F = Es el caudal de diseño promedio de las aguas residuales -- (m³/día).

W = Es la longitud del vertedero (m).

Los sedimentadores con colector mecánico, normalmente, se implementan -- con tubo ranurado de acero de 15 a 20 cm de diámetro, el cual se instala superficialmente y cubriendo todo lo ancho del tanque justo antes del vertedor, cuya función es la de retener y dirigir los sobrenadantes hacia un depósito de natas y en esta forma evitar su salida junto con el agua ya sedimentada. Un diagrama esquemático de un sedimentador rectangular con su parámetro de diseño.

Circular: Dimensiones.- La utilización de los sedimentadores circulares se deberá limitar a diámetros iguales o mayores que 7.5 metros. Existen en operación tanques con diámetros de 60 metros o más, pero el promedio de diámetro máximo es cercano a los 30 metros.

Como en el caso de los sedimentadores rectangulares, el tiempo de retención no es un parámetro tan importante como la carga superficial. Se recomienda que la altura mínima de un tanque sea de 2.1 metros.

Dispositivos de entrada y salida: Los sedimentadores circulares pueden ser de dos tipos; de alimentación central y de alimentación periférica. En el tipo de alimentación central, una mampara radialmente concéntrica distribuye uniformemente el influente en todas direcciones. La salida está constituida prácticamente por la periferia del sedimentador.

Los sedimentadores de alimentación periférica introducen el influente al rededor del borde exterior del sedimentador. Las mamparas se extienden uno o dos metros bajo la superficie e impiden que las aguas residuales tengan un corto circuito a la salida.

En los tanques circulares de alimentación central, la alimentación puede ser un tubo horizontal sumergido desde la pared al centro o un sifón invertido, localizado bajo el piso del tanque. En la salida usualmente se instalan vertedores ajustables del tipo V o triangular a todo lo largo de la periferia del tanque. Las mamparas de salida se extienden de 20 cm a 30 cm bajo la superficie del agua y se localizan enfrente de los vertedores para retener la nata flotante.

Las mamparas de entrada deberán tener diámetros del 10 al 20% del diámetro del tanque y se deberán extender de 0.9 a 1.8 m. bajo la superficie del agua.

El canal periférico que conduce el efluente del tanque sedimentador debe

rá ser de fondo liso y proporcionado para dar una velocidad aproximada de 60 cm/seg.

Como en el caso de los sedimentadores rectangulares, la carga sobre el vertedero se limita a 185 metros cúbicos por día y por metro lineal.

Otros parámetros importantes que se deberán tomar en cuenta para el dimensionamiento del sedimentador son:

Caudal de agua residual (F) $m^3/día$

Carga superficial de diseño (q) $24 m^3/día/m^2$

y el tiempo de retención que debe ser de 1.5 horas cuando menos.

Un ejemplo para dimensionar un sedimentador se da a continuación:

(F) Caudal de agua residual = $4\ 000 m^3/día$

(q) Carga superficial de diseño = $24 m^3/día/m^2$

(A) Area del sedimentador = $\frac{4\ 000 m^3/día}{24 m^3/día/m^2} = 167 m^2$

(d) Diámetro del sedimentador = $\frac{4 \times A}{\pi}$

$d = \frac{4 \times 167}{\pi} = 15 m. \text{aprox.}$

II

Generación y recolección de lodos: La cantidad de sólidos (lodos) que sedimentan en el fondo del sedimentador está en función de la carga de sólidos esperados y del porcentaje de remoción de sólidos sedimentables. El volumen de los sólidos puede calcularse de acuerdo con las concentraciones esperadas. Las aguas negras municipales normalmente contienen alrededor de 300 mg/litro de sólidos suspendidos y 180 mg/litro de sólidos sedimentables. La sedimentación primaria remueve el 60% de los sólidos suspendidos y hasta un 95% de sólidos sedimentables. Esto equivale más o menos a 180 mg/litro de sólidos, de manera que un caudal de $1\ 000 m^3/día$ produciría 180 kg de sólidos -

con base seca.(21)

El volumen de los lodos generalmente es demasiado grande para remover - manualmente, por lo tanto, se requiere de dispositivos mecánicos. Los tanques rectangulares, usualmente utilizan mecanismos de rastras que, constan de dos cadenas sin fin que soportan las rastras de madera, las cuales remueven - el lodo a una tolva colocada al extremo del tanque; regularmente el influente y la tolva se encuentran en el mismo extremo. La remoción de los lodos de la tolva se hace preferentemente por bombeo. Estas mismas rastras, al moverse - sobre la superficie del líquido, empujan el material flotante hacia una arte sa o canal para su recolección y posterior remoción.

Otro dispositivo para remoción de lodos que se usa en tanques rectangulares es el "puente viajero". El puente se mueve a lo largo del tanque en - ambas direcciones. Cuando se mueve hacia el influente este dispositivo actúa como removedor de lodo y cuando regresa opera como un recolector de material sobrenadante.

Los sedimentadores circulares utilizan 1, 2 ó 4 brazos, los cuales giran alrededor de un eje central. Los brazos están equipados con paletas que empu jan el lodo hacia una tolva de descarga.

Cabe hacer mención de los sedimentadores sin equipo mecánico, puesto que es muy probable que en nuestro medio se puedan utilizar satisfactoriamente - por tener un costo más bajo que el de los sedimentadores con remoción mecánica de lodos, aunque su eficiencia de remoción sea menor. La función princi- pal de estos dispositivos es también, el de separar los sólidos sedimentables de las aguas negras; estos se acumulan por gravedad en tolvas localizadas en el fondo del tanque, desde donde se bombean o se descargan por la acción de - la presión hidrostática. Los sólidos sedimentados se deberán extraer a inter valos frecuentes, para no dar lugar a que se desarrolle la descomposición y -

la consecuente formación de gases. En estos dispositivos el material sobrenadante se deberá remover manualmente. El dimensionamiento de estos tanques es semejante al efectuado para los sedimentadores con remoción mecánica, sin embargo, se permite que sus profundidades sean menores de 2.1 metros, sin contar la que corresponde a las tolvas. Las paredes que conforman la tolva tendrán una inclinación de 45°.

3.4.4.2. Tanques Imhoff

Para comunidades de 5 000 gentes o menos, los tanques Imhoff ofrecen ventajas para el tratamiento de aguas residuales domésticas, ya que integran la sedimentación del agua y la digestión de los lodos sedimentados en la misma unidad y requieren de una operación muy simple, puesto que no tienen partes mecánicas. Sin embargo, para su uso correcto es necesario que las aguas negras pasen antes por los procesos de cribado y remoción de arena. Son convenientes especialmente en climas calurosos, pues esto facilita la digestión de lodos. En la selección de esta forma de tratamiento se debe considerar que los tanques Imhoff pueden producir olores desagradables.

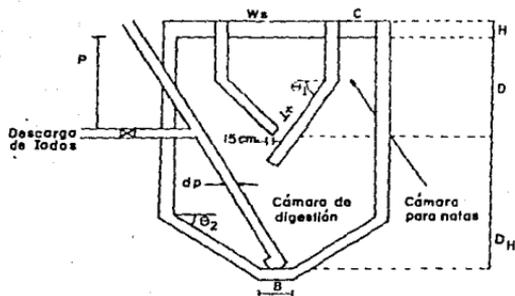
Las partes que integran un tanque Imhoff son: cámara de sedimentación, cámara de digestión y cámara de natas. (Figura 3.4.4.2.)

Cámara de sedimentación.- El compartimiento superior de un tanque Imhoff recibe las aguas negras y constituye la zona de sedimentación. Se dimensiona para proporcionar un tiempo de retención de dos a tres horas, de acuerdo con el flujo promedio del agua residual. El área superficial se determina basándose en una relación de 24 m^3 de flujo por día por metro cuadrado de área.

El fondo de la cámara deberá consistir de losas lisas convergentes, --

FIGURA 3.4.4-2

(vista de frente)



(vista de Planta)

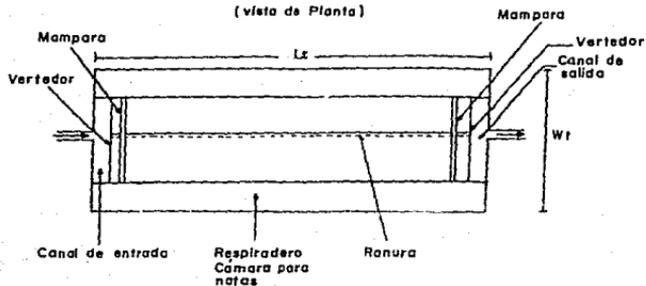


DIAGRAMA ESQUEMATICO DE UN TANQUE IMHOFF

S I M B O L O G I A

<u>Parámetros</u>	<u>Valores Típicos</u>
Q ₁ Pendiente del fondo de la cámara de sedimentación.	45° - 60°
Q ₂ Pendiente del fondo de la cámara de digestión (tolvas)	30° - 45°
Ws Ancho de la cámara de sedimentación	Lt/3 a Lt/5
D Altura de la cámara de sedimentación	-
Lt Longitud del tanque	Lt = 3Ws a 5Ws
Wt Ancho del tanque	Wt
x Ranura en el fondo de la cámara de sedimentación .	15 a 20 cm
B Fondo de la tolva	60 cm (mínimo)
dp Diámetro del tubo para lodos	15 a 20 cm
P Carga hidrostática	2 m de carga mínima
H Bordo libre	35 - 60 cm
D _H Profundidad de la cámara de digestión	-
C Ancho mínimo de las áreas de ventilación	60 cm

con inclinación de 45 a 60 grados respecto de la horizontal, con objeto de -- que los sólidos sedimenten y caigan dentro del compartimiento de digestión de lodos, a través de una ranura con abierta (x) de 15 a 20 cm; una de las partes inclinadas (y) se prolonga cuando menos unos 15 cm. más allá de la ranura, es to evita que los gases de digestión (principalmente metano y CO_2) entren a - la cámara de sedimentación y causen turbulencia y el posible acarreo de sólidos a la superficie. La relación largo-ancho (L/Ws) deberá estar entre 3:1 y 5:1.

Se deberá instalar una mampara a la entrada de la cámara de sedimentación para la distribución uniforme del influente. La salida también deberá - tener una mampara para prevenir la salida de natas con el efluente. Las mam paras de entrada deberán extenderse más o menos 0.3 m. bajo la superficie -- del agua con su borde a 0.05 m. bajo el nivel del líquido. La salida deberá contar con un vertedor que recorra el ancho de la cámara.

Cámara de digestión: Es el compartimiento inferior de un tanque Imhoff, donde los sólidos sedimentados (lodos) sufren la digestión anaerobia. La capacidad de la cámara de digestión deberá ser de 30 a 50 litros por persona. El fondo del compartimiento deberá contar con una o más tolvas con pendientes de 30° a 45° (O_2) o más inclinadas para facilitar el drenado de los sólidos. La dimensión (B) de la tolva en el fondo de la cámara no deberá exceder de - 60 cm. El lodo digerido puede removerse de las tolvas a través de un tubo de 15 a 20 cm de diámetro (dp) utilizando la carga hidrostática, con tal fin la línea de descarga de lodos se establece aproximadamente 2 metros bajo del nivel del agua en la cámara de sedimentación, para que con esta diferencia de - presión se force a salir el lodo por el tubo cuando la válvula se abre. La tu bería deberá equiparse con una línea de limpieza constituida por una línea de agua a presión para fluidizar los lodos en el principio de la operación de -

extracción si es necesario. Los lodos pueden descargarse a lechos de secado o disponerlos por otros medios apropiados. Para asegurar el escurrimiento de lodos por gravedad, la pendiente hidráulica de los conductos no deberá ser menor del 12%.

Cámara de natas: Durante el proceso de digestión, algunos sólidos pueden ascender formando natas. También se forman gases que son venteados a la atmósfera a través de esta cámara y deberá tener aproximadamente el 50% de la capacidad de la cámara de digestión; su área deberá ser del 15 al 25% del área superficial total del tanque, con abertura mínima de 60 cm. El borde libre en la cámara de natas deberá estar entre 45 a 60 cm.

3.4.4.3. Lagunas

Las lagunas de estabilización (también denominadas lagunas de oxidación) son estanques poco profundos, los cuales se diseñan para tratar aguas residuales. En estas lagunas se lleva a cabo la sedimentación de las aguas y una remoción de la materia orgánica mediante procesos físicos y biológicos naturales, y es el sistema de tratamiento recomendable para localidades medianas y pequeñas donde haya disponibilidad de terreno adecuado para acomodar las lagunas. Debido a posibles problemas de olor, las lagunas deben localizarse al menos a 1 kilómetro de distancia de las zonas habitadas más cercanas, preferiblemente en dirección contraria a los vientos dominantes.

El área seleccionada para la o las lagunas no deberá tener obstrucciones de la luz solar o interferencia con el viento que corre, con objeto de ayudar a las reacciones bacteriales y a la fotosíntesis.

Consideraciones de diseño.- En climas calurosos, donde hay un mínimo de probabilidad que el hielo cubra la laguna durante el invierno, la prácti-

ca general de diseño indica que se debe disponer de 1 000 m² de área superficial de laguna por cada 100 personas. Donde las heladas pueden afectar el estanque, generalmente se requiere de una mayor área, normalmente de 3 a 4 veces la anterior relación.

La profundidad es un factor crítico y debe establecerse entre 0.9 y 1.2 metros. Profundidades mayores pueden causar condiciones sépticas y menor profundidad puede permitir que la vegetación acuática emerja de la superficie -- del agua ocasionando interferencia con la circulación del agua y viento, provocando además la proliferación de mosquitos.

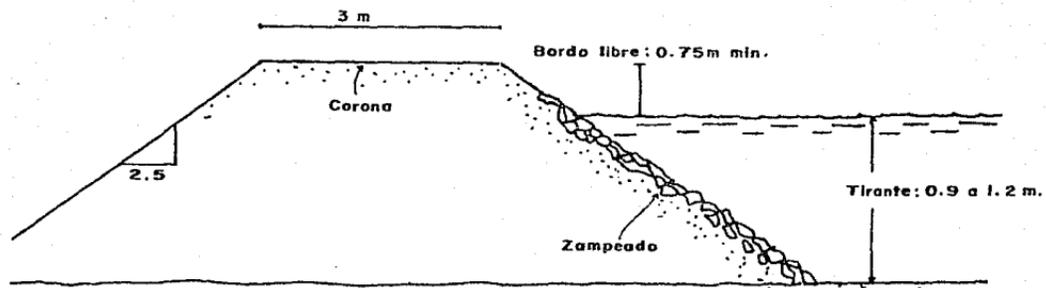
No obstante que la forma de la laguna no es factor determinante, (las -- hay de varias formas), se debe evitar el tener porciones demasiado largas o estrechas. El bordo de la laguna generalmente se forma con la tierra extraída de la misma excavación, compactándola. Los bordos tienen de ancho de corona 3 m y taludes de 2 a 3:1 y para protegerlos del oleaje las caras en contacto con el agua se zampean. La distancia vertical desde la parte superior del bordo hasta la superficie del agua tendrá que ser por lo menos de 0.75 a 1 metro, dependiendo del tamaño de la laguna. Para facilitar el mantenimiento de las lagunas, el ancho de la corona debe utilizarse como camino para vehículos. (Figura 3.4.4.3.)

Una consideración importante es que se debe prevenir que haya infiltración en los terrenos y la posible contaminación de los mantos acuíferos subterráneos, por lo que el terreno que se va a utilizar para la laguna deberá ser relativamente impermeable.

En caso de que hubiera problemas con la infiltración, se deberán tomar medidas adecuadas para sellar la superficie con una capa de arcilla u otro material, asimismo, se deberá remover toda la vegetación que esté en el área -- que va a servir de fondo a la laguna.

FIGURA 3.4.4.3.

LAGUNA DE ESTABILIZACION
Detalle de bordo



Existe otro criterio de diseño que se basa en lagunas conectadas en serie, siendo ésta la forma más económica de mejorar la calidad del efluente de lagunas de estabilización. Generalmente, la primera laguna en una serie toma características anaerobias y la segunda se desarrolla como facultativa cuando la carga orgánica no es excesiva. El número de lagunas en serie no está limitado a dos, pues si la carga orgánica en las primeras dos lagunas es excesiva, se puede instalar una tercer y hasta una cuarta laguna.

Con este criterio, se asume que hay un mezclado completo e instantáneo y que la degradación de los agentes contaminantes toma lugar de acuerdo a una reacción de primer orden que no depende de la temperatura. La concentración de contaminantes puede calcularse progresivamente como se muestra en la ecuación 3.4.4.3. tomando en consideración los coeficientes de reacción K que se muestran en la tabla 3.4.4.3. a.

$$Y_1 = \frac{Y}{(Kt_1 + 1)}, \quad Y_2 = \frac{Y_1}{(Kt_2 + 1)} = \frac{Y}{(Kt_1 + 1)(Kt_2 + 1)} \quad \text{Ec. 3.4.4.3.}$$

Donde: Y = DBO_5 en el influente.
 Y_1 = DBO_5 en el efluente, primera laguna.
 Y_2 = DBO_5 en el efluente, segunda laguna.
 t_1 y t_2 = Períodos de retención para las lagunas 1 y 2.
 K = Coeficiente de reacción.

TABLA 3.4.4.3. a.
 COEFICIENTE DE REACCION K A DIFERENTES TEMPERATURAS

Coefficiente de Reacción (5°C)	0.102 por día
Coefficiente de Reacción (15°C)	0.24 "
Coefficiente de Reacción (20°C)	0.35 "
Coefficiente de Reacción (30°C)	0.80 "
Coefficiente de Reacción (35°C)	1.2 "

Se ha encontrado por experiencia que el tiempo de retención mínimo cuando se asume un sistema de mezclado completo es de 7 días.

Se deberá notar que la carga viene a ser una función de la concentración y la profundidad del influente.

Sin embargo, como se ha establecido previamente, la temperatura y el tiempo de retención son parámetros de velocidad de purificación. La digestión anaerobia del lodo también puede incorporarse en el diseño en caso de que se desee que éste sea más sofisticado.

Parámetros de diseño de lagunas de estabilización:

<u>Parámetros</u>	<u>Valores Típicos</u>
A, Área de la laguna	1 000 m ² /100 personas
d, Profundidad de la laguna	0.9 - 1.2 m.
h, Bordo libre	0.75 a 1 m.
Y, DBO ₅ En el influente	mg/l
Ancho de la corona	3 m.
Taludes	2 a 3:1
Y ₁ , DBO ₅ En el efluente la. laguna (serie)	mg/l dado por Ec. 3.4.4.3.
Y ₂ , DBO ₅ En el efluente 2a. laguna (serie)	mg/l dado por Ec. 3.4.4.3.
t ₁ y t ₂ Períodos de retención para las lagunas la. y 2a.	7 días mínimo.
K, Coeficiente de reacción	0.102 - 1.2

Ecuaciones : Lagunas en serie

$$Y_1 = \frac{Y}{(Kt_1 + 1)}, Y_2 = \frac{Y_1}{(Kt_2 + 1)} = \frac{Y}{(Kt_1 + 1)(Kt_2 + 1)} \quad \text{Ec. 3.4.4.3.}$$

Otras consideraciones: Debido a la acción biológica anaerobia, los lodos depositados en el fondo de la laguna se digieren y su volumen se reduce grandemente. Por lo tanto, no se requiere la remoción de lodos. El crecimiento de hierba se debe controlar, tanto en la laguna como en la orilla. El control de los mosquitos es otra consideración importante. El área total de la laguna tendrá que vedarse con una cerca de seguridad con señales de advertencia apropiadas.

El por ciento de remoción de contaminantes contenidos en aguas residuales por medio de lagunas facultativas, se muestra en la tabla 3.4.4.3.b.

TABLA 3.4.4.3.b.
PORCIENTO DE REMOCION DE CONTAMINANTES CONTENIDOS
EN AGUAS RESIDUALES POR MEDIO DE LAGUNAS FACULTATIVAS

Contaminante	Remoción %
DBO	10 - 50 (2)
Sólidos suspendidos	50 - 60 (2)
Patógenos	
- Organismos coliformes	95 - 99 (3)
- Coliformes fecales	95 - 99 (3)
- Streptococos fecales	95 - 99 (3)
- Virus	0 - 96 (4)

- (1) "Contaminants Associated with Direct and Indirect Reuse of Municipal Wastewater". U.S. Environmental Protection Agency. March, 1978.
- (2) Larger, J.A. Smith, W.G. "Urban Stormwater Management and Technology: An Assessment". 1974.
- (3) Dos estanques en serie a temperaturas de 17° a 26°C (Slanetz, L.W. "Survival of Enteric Bacteria and Virus in Oxidation Pond Systems". 1972).

- (4) Berg, G. "Proceedings Thirteenth Water Quality Conference; Virus and Water Quality: Occurrence and Control". 1971.

3.4.5. Remoción de grasas y aceites y materia flotante

3.4.5.1. Remoción de grasas y aceites

Las grasas y aceites en las aguas de desecho domésticas incluyen grasas, ceras, ácidos grasos y jabones. Normalmente, las cantidades totales de grasas y aceites son pequeñas, a menos que en los drenajes de las cocinas, particularmente de los restaurantes, se permita que excesos de grasas entren a ellos.

Remoción simple por gravedad.- Las cantidades normales de grasas y aceites en los desechos domésticos se remueven fácilmente en el sedimentador. Algunas grasas pesadas se adhieren a los sólidos sedimentales y se colectan con los lodos en el fondo del tanque de sedimentación. Las fracciones ligeras forman una nata en la superficie, la cual se puede remover con un desnatador manual o haciendo uso de dispositivos mecánicos. El diseño de los dispositivos par la remoción de espuma ya se ha explicado en la sección correspondiente a sedimentadores.

Otros procesos.- La remoción de grasas y aceites se puede complementar con procesos sofisticados tales como flotación con aire disuelto y coagulación-filtración de alta velocidad. En las aguas residuales municipales estas técnicas no ofrecen una ventaja real sobre la sedimentación normal para hacer frente a los límites prescritos para grasas y aceites en el efluente y por lo tanto no se incluye aquí una discusión detallada de estas técnicas.

Disposición final.- Las grasas y aceites que se recuperan en los tanques de sedimentación no tienen la suficiente calidad para tener valor comer-

cial, además de que sus volúmenes son pequeños; en consecuencia las grasas -- atrapadas con los lodos pueden llevarse a tanques de digestión de lodos o manejarse con cualquier método usado para la disposición de lodos. La nata flotante que contiene grasas y aceites pueden enterrarse o incinerarse. Si se entierra se recomienda hacerlo en una zanja que tenga alrededor de 1/2 metro de profundidad para evitar los olores y la acción bacteriana.

3.4.5.2. Remoción de materia flotante

Las rejillas colocadas a la cabeza de la planta de tratamiento interceptan una cantidad relativamente pequeña de materiales en relación al volumen de agua residual que pasa a través de ellas. Por ejemplo, las rejillas con abertura entre barras mayor de 2.5 cm. usualmente, remueven menos de 7.5 metros cúbicos por millón de metros cúbicos de agua residual; es obvio que el material flotante pequeño, digamos menores de 1 cm., no podrá colectarse utilizando rejillas comunes.

Puede utilizarse dos métodos primarios para remover los materiales flotantes remanentes. Estos son el cribado y el uso del sedimentador.

Cribado.— El cribado fino no se usa frecuentemente para tratamiento de aguas residuales municipales debido a sus relativos altos costos de capital y operación, baja eficiencia y a la naturaleza ofensiva del material cribado. Sin embargo, se llega a utilizar en lugar de los sedimentadores cuando ha ya necesidad de remover grandes cantidades de material flotante.

Disposición del material cribado.— Las cribas finas remueven de 75 a -- 200 metros cúbicos de material cribado por millón de metros cúbicos de aguas residuales. Tienen un contenido de humedad de por lo menos 80 por ciento. El material cribado, es altamente ofensivo, ya que tiene un alto contenido de

materia orgánica putrescible. Los métodos de disposición incluyen incineración, enterramiento y digestión.

Enterramiento: Este método es especialmente aplicable a los materiales cribados de plantas pequeñas. Se entierran en zanjas e inmediatamente se cubre con tierra. Cuando el material se coloca en plataformas de drenado, de donde solamente se remueve algunas veces en el día, se puede rociar con suficiente cal en polvo para evitar olores ofensivos.

Incineración: Es necesario el diseño cuidadoso de los incineradores para materiales cribados, con objeto de evitar los malos olores. No es práctico incinerar los materiales cribados sin que estén completamente secos, ya que consecuentemente se necesitarían cantidades extras de aceite, carbón pulverizado, gas u otros combustibles. El gas de la digestión de lodos y el aceite combustible atomizado por quemadores especiales se utilizan con bastante éxito. Cuando los materiales cribados son muy compactos es necesario extenderlos sobre una parrilla de secado de un horno hasta que estén lo bastante secos, después se colocan en una parrilla más baja donde se queman. Para evitar los olores, todos los gases deberán llevarse a temperatura de 675°C ó más antes de que escapen por la chimenea.

Digestión: Este material cribado puede colocarse en tanques de digestión de lodos, efectuándose normalmente la digestión con éstos. Los materiales cribados medianos, previamente se trituran y después se mezclan con el lodo. Se puede utilizar un molino para este propósito, o instalar algún otro tipo de triturador.

Uso del sedimentador: El uso del sedimentador es la práctica más común de remoción de material flotante que pasa a través de las rejillas, forman junto con las grasas y aceites, una nata sobre la superficie líquida del sedimentador, la cual es removida para digestión o disposición.

Por regla general, en un sedimentador primario la nata se recolecta mediante las rastras del mecanismo de colección de lodos en su viaje de regreso y removida por un tubo ranurado superficial que se localiza al final del tanque inmediatamente antes del vertedero de descarga. La operación del equipo de remoción puede ser automático o manual. La nata generalmente se descarga en una tolva que está separada, para bombearla al área de disposición.

Disposición de nata: Como en el caso de los materiales cribados, la nata se puede incinerar, enterrar o digerir. Las consideraciones de diseño -- presentadas anteriormente para disposición de materiales cribados son aplicables a la nata. En caso de enterrar la nata, se puede hacer aisladamente o con la arena removida de la planta. La nata siempre se puede incinerar o digerir combinada con lodos primarios.

Aplicación a terrenos agrícolas: Debido a que por su naturaleza los materiales cribados y la nata son ofensivos y de mal olor, no se aplican directamente a terrenos agrícolas. Pueden quemarse o aplicarse a la tierra después de la digestión.

3.4.6. Desinfección

La desinfección cuando se aplica a tratamientos de agua residual, implica la destrucción de organismos patógenos que causan enfermedades. La desinfección puede efectuarse haciendo uso de agentes químicos, agentes físicos, medios mecánicos o radiación. Los factores que deberán considerarse en la selección de un proceso de desinfección son:

- 1) Tiempo de contacto. En general para una concentración dada de desinfectante, a mayor tiempo de contacto, mayor rango de organismos muertos.
- 2) Concentración y tipo de agente químico.

- 3) Temperatura
- 4) Número de organismos
- 5) Tipo de organismos
- 6) Naturaleza del líquido suspendido.

3.4.6.1. Cloración

El cloro está disponible como líquido, gas cloro o en forma de compuesto clorado. El cloro líquido es el que normalmente se usa por su bajo costo. Existen otros compuestos clorados, incluye cal clorada, hipoclorito de calcio hipoclorito de sodio y dióxido de cloro, los cuales son utilizados en circunstancias particulares.

El cloro líquido se adquiere normalmente en cilindros de 50 ó 70 kg. y en recipientes de 1 000 kg.

Se debe hacer un inventario de cloro, de tal manera que siempre se disponga de él, por lo menos para un suministro de dos semanas.

Dosificación: Para propósitos de desinfección, el cloro debe aplicarse en dosis de manera que produzca un residuo de 0.5 mg/litro en el efluente. Para la mayoría de los casos que implican tratamiento primario del agua residual, es suficiente en dosis de 20 mg/litro basada en el flujo promedio de día. (21)

El efluente de lagunas puede requerir de 5 a 10 mg/litro de cloro para una desinfección adecuada. La velocidad de alimentación puede calcularse usando la siguiente ecuación:

$$Q = F \times C$$

Donde: Q = Velocidad de alimentación de cloro (Kg/día).

F = Flujo promedio de agua residual (m^3 /día).

C = Dosificación de cloro (Kg/m^3)

Cámara de contacto: Se debe usar una cámara de contacto para asegurar - un período de contacto real de 15 minutos como mínimo, basado en el punto máximo del flujo por hora, anterior a la descarga del efluente. También es recomendable un período de contacto de 20 minutos, para flujos promedios diarios. La cámara puede ser rectangular o circular. La adición de la solución de cloro minimiza los cortos circuitos, y debe hacerse por medio de un difusor, el cual puede ser un tubo de plástico o de hule duro con horadaciones, - por medio de las cuales la solución de cloro puede distribuirse uniformemente en el seno del flujo del agua residual. Para propiciar que cuando menos haya un mínimo de depósito de sólidos que pasen del tratamiento primario, la velocidad horizontal mínima que debe tener el flujo debe ser de 2 a 5 metros por minuto. Se deberá tener instalaciones que permitan desaguar los tanques de contacto con objeto de limpiarlos.

Equipo para alimentación de cloro: El gas cloro puede alimentarse directamente o en solución. La alimentación directa desde un cilindro, a través - de un aparato de control se limita usualmente a instalaciones pequeñas. Por consiguiente este tipo de sistema de alimentación no se discutirá.

La alimentación de la solución consiste en disolver gas cloro bajo condi - ciones controladas, en un caudal menor de agua y posteriormente alimentar este caudal fuertemente clorado hacia la cámara de contacto. Hay básicamente dos tipos de alimentación: la tipo alimentación-presión y la tipo alimentación-vacio. El clorador de tipo alimentación-presión, consta de una válvula de control para reducir la presión del cilindro de cloro anterior al aparato medidor. El gas cloro se regula en el medidor y se alimenta a un inyector - para mezclarse con agua antes de su aplicación. El clorador de tipo alimentación-vacio, generalmente, se prefiere en instalaciones medianas y grandes -

porque tienen características de más seguridad y pocos problemas mecánicos -- asociados a él. Este tipo utiliza una válvula de control de vacío operada -- por un flotador, lo cual proporciona un control positivo del gas y se diseña para cortar el gas en caso de que falle el vacío. (Figura 3.4.6.1.)

Los métodos para el control de la velocidad de aplicación del cloro incluyen:

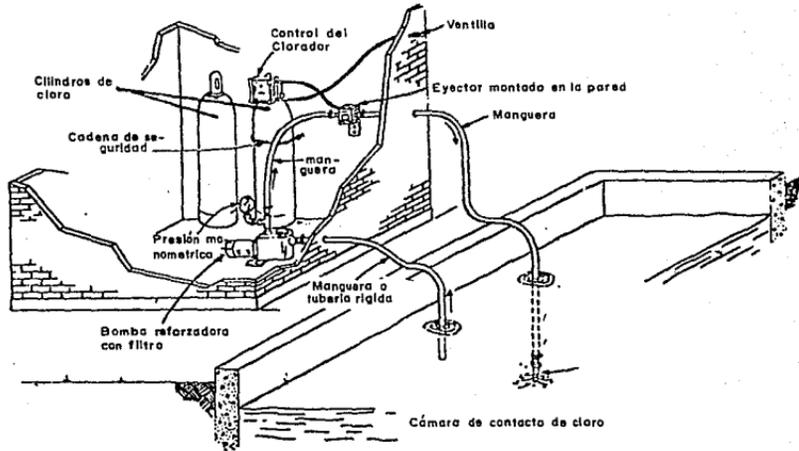
- 1) Ajuste manual.
- 2) Control semi-automático: poner en marcha y parar el clorador en conjunto con las bombas de agua residual. Se logra mediante el uso de una válvula solenoide u otro aditamento que interrumpa el suministro de agua al inyector.
- 3) Control por etapas en instalaciones de multibombas, la alimentación puede sincronizarse automáticamente para proporcionar una cierta dosis para -- una combinación particular de bombas en operación.
- 4) Control automático: la velocidad de aplicación de cloro es proporcional al flujo.
- 5) Control automático, basado en medición de cloro residual.

3.4.6.2. Hipocloritos y otros compuestos de cloro

Los hipocloritos tales como hipoclorito de calcio, cal clorada e hipoclorito de sodio se han venido usando en plantas pequeñas de tratamiento donde -- la sencillez y seguridad son más importantes que las consideraciones de costo. Los hipocloritos tienen la desventaja de deteriorarse con el tiempo y algunos son desagradables al manejarse. La hipocloración es especialmente aplicable en emergencias cuando hay retraso en obtener gas cloro o equipo de alimentación.

FIGURA 3.4.6.1.

SISTEMA TÍPICO DE CLORACION



3.4.6.3. Ozonización

La ozonización se utiliza en los tratamientos de agua residual para reducir los contenidos orgánicos, bacteriales y virales con bastante aceptación.

Las ventajas de usar ozono son:

1) Generalmente el ozono iguala o excede en sus efectos germicidas al cloro en una amplia variedad de circunstancias. Lo más importante es que el ozono es efectivo contra los organismos que son resistentes al cloro, tales como los virus y quistes.

2) Puesto que el ozono generalmente se produce a partir del aire, su suministro depende únicamente de una fuente de potencia.

3) La potencia del ozono es independiente del pH o contenido de amoníaco.

4) Los efluentes ozonizados no son tóxicos a la flora y fauna del agua receptora como lo son algunos efluentes clorados, tales como los que contienen amoníaco o hidrocarburos. Además, el ozono no aumenta la concentración de sólidos disueltos en el efluente, como es el caso del cloro.

5) En descomposición, el único material que queda como residuo es más oxígeno disuelto.

6) El olor del ozono en el aire es más bajo que la máxima concentración permisible establecida por el American Council of Government Industrial Hygienists.

Las desventajas de usar ozono son:

1) El alto costo de capital y operación asociado con su producción.

2) El ozono puede poseer una alta o nula propiedad relativa a la desinfección, o sea que no actúa como desinfectante abajo de una determinada concentración crítica pero arriba de esa concentración se lleva a cabo una desin

fección completa.

3) Dado que el ozono se produce eléctricamente, no puede ser almacenado.

4) Es difícil variar la dosificación de acuerdo con la demanda.

5) En la República Mexicana donde la mayoría de los municipios son pequeños, el empleo del ozono para la desinfección está restringido, dado el alto costo que representa la instalación y operación de la planta para producirlo, y por lo tanto, se destina más bien para plantas donde el tratamiento se haga más a fondo como sería en los casos de tratamiento secundario o terciario. Cuando existan facilidades para implantar este sistema, sería recomendable su instalación puesto que además de sus propiedades germicidas abate olores y en algunos casos reduce el contenido de fierro y manganeso.

No obstante estas ventajas, se prefiere en nuestro medio utilizar el cloro, pues aunque su eficiencia es menor a la del ozono, su costo es más bajo.

Una planta típica de ozonización tiene el siguiente equipo:

Limpiadores de aire, sopladores y secadores refrigerantes y absorbentes de aire para acondicionar y transportar el aire que va a ser ozonizado, un transformador para incrementar la línea de voltaje anterior a la descarga de suministro de aire y una cámara de contacto o torre de ozono para efectuar la transferencia de ozono desde la fase gas a la fase agua.

El tiempo de contacto requerido está en el orden de 10 minutos y la concentración de ozono residual tendrá que estar entre 1 y 4 mg/litro. La energía requerida para producir ozono es aproximadamente 0.3 Kw-hr por gramo de ozono, incluyendo equipo complementario. (21)

3.4.7. Disposición de Lodos

3.4.7.1. Espesamiento de lodos

El espesamiento de lodos es un proceso para reducir el volumen. Difiere del desecamiento de lodos en el grado que alcanza la concentración de sólidos; los lodos espesados alcanzan una concentración de sólidos, menor a 15%, de tal forma que, aún pueden ser bombeados, mientras que los lodos desecados tienen una concentración mayor de sólidos (20-40%), no son fluidos y, por lo tanto, no pueden ser bombeados. (21)

El espesamiento de lodos realizado, anterior a los pasos de digestión o desecado, reduce el espacio requerido y los costos de estas unidades. Los lodos primarios responden bien al espesamiento.

Espesamiento por gravedad: El espesamiento por gravedad sin el uso adicional de productos químicos o elementos mecánicos, es el método más simple para el espesamiento de lodos. Es práctica común en plantas pequeñas, llevar a cabo esta operación en los tanques de sedimentación primaria.

En este caso el grado de espesamiento de los lodos primarios está determinado por el tiempo de permanencia del lodo en la tolva del sedimentador, de manera que es posible su control, mediante el control del tiempo para vaciado del lodo de las tolvas.

Los lodos espesados no deberán tener una concentración de sólidos mayor de 8 a 10 por ciento para facilitar su manejo.

3.4.7.2. Digestión de lodos

El propósito de la digestión de lodos es estabilizar el lodo crudo me-

dante la descomposición de la materia orgánica putrescible, transformándola en compuestos orgánicos e inorgánicos inertes, haciéndola más aceptable para su disposición final. La digestión es un fenómeno bioquímico que reduce la cantidad de sólidos orgánicos y volátiles en el lodo, así como su volumen y olor. Las formas más aceptables para la disposición de lodos digeridos es en lagunas, lechos de secado para lodos, o bien como fertilizante.

Los lodos primarios, normalmente, se digieren en forma anaerobia, o sea que la descomposición se lleva a cabo en ausencia de oxígeno libre por organismos anaerobios. El proceso de digestión se lleva en 3 etapas, la primera es la etapa de fermentación ácida, donde los microorganismos atacan a los sólidos solubles, formando ácidos orgánicos y gases como anhídrido carbónico y ácido sulfhídrico; la segunda etapa tiene lugar cuando hay un período de digestión ácida donde cierto tipo de microorganismos atacan a los ácidos orgánicos y los compuestos nitrogenados; en la tercera etapa, conocida como período de digestión intensa, los microorganismos atacan los materiales nitrogenados más resistentes (proteínas, aminoácidos, etc.) produciendo grandes volúmenes de gases, principalmente, metano y dióxido de carbono. Los sólidos que aún quedan, son relativamente estables y ya se puede disponer de ellos sin crear condiciones indeseables.

En plantas municipales, se prefiere la digestión anaerobia, debido a que reduce el volumen de los lodos y éstos se pueden manejar más fácilmente, reduce del 55 al 75% de sólidos volátiles y reduce el contenido de bacterias coliformes, además genera gases que, aproximadamente, tienen una composición de 70% de metano y 30% de dióxido de carbono. El metano se puede recuperar para usarlo como combustible en turbinas que sirvan para impulsar bombas o generar electricidad, o bien, se utiliza para el calentamiento de los tanques de digestión, la descomposición también libera el agua "ligada" al lodo. Una por-

ción de sólidos orgánicos se transforma en agua, debido a la acción de los microorganismos.

La temperatura es un factor muy importante en la velocidad de digestión de lodos abajo de 5°C, la digestión prácticamente es nula. La temperatura óptima es aproximadamente de 35°C. Para mantener una temperatura de digestión de 35°C en todo el tiempo, normalmente, se necesita contar con dispositivos para calentar el digestor. Arriba de 35°C, la velocidad de digestión baja y luego se incrementa otra vez, con velocidad mayor a los 55°C, pero en la mayoría de los casos no es económico digerir a esta temperatura, puesto que se requiere de mucha energía para el calentamiento.

Los tanques de digestión sin calentamiento, pueden ser prácticos donde la temperatura media es alta. En las zonas frías y en aquellas que registran cambios bruscos de temperatura se recomienda tener una fuente exterior de calor, con objeto de mantener temperaturas óptimas para la digestión. El calentamiento, usualmente, se lleva a cabo mediante una recirculación de agua caliente, a través de un serpentín en los tanques de digestión. Con frecuencia, los gases generados en el proceso de digestión, pueden quemarse para calentar el agua.

La capacidad para la digestión anaerobia, regularmente, se calcula con base al contenido de sólidos volátiles. Aproximadamente el 70% de los sólidos totales son volátiles. La digestión puede llevarse a cabo, a velocidad estándar o a alta velocidad y en cada caso varía la carga de sólidos volátiles; en la digestión a alta velocidad se incrementa la carga de sólidos y los tiempos de retención son más cortos. Si después de la digestión el lodo va a ser desecado o incinerado, es conveniente hacer uso de una digestión a alta velocidad, pero si el lodo digerido va a llevarse a lechos de secado. La digestión a velocidad estándar da mejores resultados.

La digestión a alta velocidad requiere que el contenido del digester se mezcle completamente. Esto se puede hacer por recirculación de gas o por medios mecánicos. Una desventaja en el mezclado es que el lodo crudo o solo -- parcialmente digerido puede sacarse con el material ya digerido.

Los tanques de digestión son usualmente de forma cilíndrica con el fondo cónico invertido. La pendiente del fondo varia de 1 vertical por 2 horizontales en tanques sin dispositivos mecánicos para remoción de lodos, a 1 vertical por 12 horizontal donde se utilizan estos dispositivos, para ayudar en el desalojo de lodos. La altura de los tanques raramente es menor de 6 metros, ni mayor de 14 metros, se debe tomar en cuenta un borde libre dependiendo del tanque. Para tapas cónicas fijas o en forma de cúpula, equipada con válvulas de alivio para gas, el borde libre puede ser de unos 30 cm. para tapas planas fijas se requieren alrededor de 30 a 60 cm.

La producción de gas metano depende del grado de mezclado. La temperatura y otras variables. Un digester bien operado produce 0.4 a 0.5 metros cúbicos de gas por kg. de sólidos volátiles. Este gas se debe conectar y quemarse o bien utilizarse como combustible.

En algunos casos, usualmente, en el arranque del proceso, la digestión anaerobia puede generar cantidades excesivas de ácidos grasos, principalmente por niveles bajos de pH en el digester, lo cual causa una pobre digestión. Para contrarrestar estas condiciones, se debe adicionar cal al digestador para elevar el pH a niveles más favorables.

3.4.7.3. Desecado de lodos

El desecado de lodos sirve para remover la porción líquida del lodo, con objeto de obtener un material sólido que se pueda disponer más fácilmente. -

El desecado precede al espesamiento de la digestión de los lodos y se puede realizar por diferentes métodos (lechos de secado, centrifugación, filtración al vacío y filtros prensa).

Lechos de secado: La cama filtrante de los lechos de secado está compuesta de 15 a 25 cm. de arena de cuarzo o arena limpia sobre una capa de grava de tamaño rectangular, de 25 a 30 cm. de profundidad. Bajo la capa de grava se debe localizar el sistema de drenado que lo constituye un sistema longitudinal de tubería de barro vitrificado o concreto simple de 10 a 15 cm. de diámetro, con no menos de 15 cm. de grava sobre ellos y espaciados de 3 a 6 cm. centro a centro, colocando sin juntar, la tubería que lleva los lodos al lecho debe terminar a 30 cm. sobre la superficie de arena, sobre el lecho se deben colocar placas distribuidoras y protectoras de concreto, en los puntos en que se descargan los lodos. La alimentación de lodos a los lechos de secado deberán ser lo más espesa posible; el tirante de los lodos deberá ser de 15 a 30 cm. dependiendo de las condiciones climatológicas del lugar.

El área del lecho debe estar cercado por un bordo no mayor de 30 cm. de altura para evitar sombras en el área de secado, entrada de aguas superficiales y fugas del líquido drenado.

El área depende de la carga efectiva para una determinada zona. Para lodos primarios digeridos, el criterio usual de carga para lecho abiertos es de 0.10 a 0.14 m/capita y 0.07 a 0.10 m²/capita para lechos cubiertos. En áreas semitropicales donde la temperatura ambiente propicia la evaporación de la porción líquida del lodo, el área requerida se puede reducir hasta un 25%.

El líquido colectado por el sistema de drenaje debe desinfectarse de la descarga o preferiblemente recircularse al tratamiento principal de la planta, para un tratamiento posterior.

La forma abierta de los lechos de secado hacen que sean susceptibles a -

las condiciones climáticas. Por lo tanto, los tiempos de secado varían ampliamente, de acuerdo con la zona, época del año, etc., los límites de humedad en áreas donde llueve mucho se pueden reducir con una cubierta de vidrio tipo invernadero, aunque se debe tener en cuenta que estas cubiertas resultan caras.

Los lechos de secado de lodos tienen las siguientes desventajas: requerimiento de terrenos, problemas potenciales de olores, sensibilidad al clima, necesidad de digestión de lodos y costos por la remoción de lodos secos (labor principal).

Por lo tanto, la técnica es buena y conveniente para comunidades donde exista disponibilidad de terreno, el clima sea seco y se tenga mano disponible y barata.

Filtración al vacío: La filtración al vacío es una operación que generalmente se lleva a cabo en un tambor cilíndrico rotario, cuya superficie la constituye un medio filtrante que puede ser tela de algodón o fibra sintética, o una malla de alambre de acero. El tambor filtra los lodos mediante la aplicación de vacío en la superficie de filtro. Un vacío de 38 cm. de Hg -- se considera como límite máximo práctico. El agua se fuerza a pasar a través del material filtrante, se colecta y bombea hacia afuera. Los sólidos se recogen de la superficie del filtro y se desecan más cuando el tambor da vuelta.

Cerca del final del ciclo, la torta del lodo se separa o se raspa del filtro y se remueve para su disposición.

Acondicionamiento químico: Algunas veces se recomienda el pretratamiento de los lodos con adición de productos químicos en la filtración para mejorar su funcionamiento químico, sirve para incrementar el tamaño de partículas de lodos por coagulación y reduce el número de partículas muy pequeñas, -

las cuales pueden obstruir el medio filtrante, interfiriendo así con el buen desecado; los productos más populares que se adicionan son el cloruro férrico, cal y polielectrolitos cationicos, otro agente químico común es el clohidrato de aluminio. La mejor dosificación debe determinarse con estudios de laboratorios o experiencias reales con lodos particulares, una típica dosificación de productos químicos para lodos primarios se presenta a continuación:

DOSIFICACION TIPICA DE PRODUCTOS QUIMICOS (21)

<u>Tipo de lodo</u>	<u>Dosificación</u>	<u>Humedad de la torta %</u>
Primarios crudos	1-2% Cloruro Férrico	62 - 75
	6-8% Cal	62 - 75
	0.2-1.2% Polielectrolito	63 - 72
Primarios digeridos	1.5-3.5% Cloruro Férrico	62 - 75
	6-10% Cal	62 - 75
	0.2-1.5% Polieléctrolito	66 - 75

La dosificación está dada en porcentaje de lodos secos.

Medio filtrante: Se dispone de una amplia variedad de medios filtrantes para usarse en filtros al vacío. Las características de los lodos y el acondicionamiento químico juegan un papel en la selección del medio filtrante. La selección del medio filtrante puede basarse en pruebas de laboratorio, operaciones reales o sobre resultados en plantas similares. El medio filtrante debe proporcionar una buena calidad del filtrado con una alta velocidad de filtración. Los costos de su reemplazo es otra consideración importante los tipos de medio filtrante incluye algodón, poliéster, acrílico, mallas de alambre y rollos de acero.

Las principales ventajas del filtro al vacío son: Requieren menor área que los lechos de secado y su operación no se ve afectada por el clima y ofrece

ce cierto agrado de flexibilidad en la operación.

Las desventajas incluyen: una inversión alta, altos costos de operación, debido a los requerimientos para la adición de productos químicos, problemas de mantenimiento y la necesidad de operadores capacitados.

Centrifugación: Las centrifugas separan sólidos de un líquido por medio de sedimentación y una fuerza centrífuga. De los varios tipos de centrifugas las de tipo de bola sólida (tazón) son las más comunes en el tratamiento de aguas residuales para el desecado de lodos.

La centrifugación tiene algunas ventajas sobre la filtración al vacío y otros procesos de desecado. La unidad de centrifugación simple y compacta. El hecho de que la unidad sea completamente cerrada reduce cualquier posible problema de olor. Los costos de inversión son generalmente más bajos que la filtración al vacío. Las desventajas son: altos costos de mantenimiento, la necesidad de suministrar productos químicos a los lodos y generalmente la calidad del líquido removido es pobre.

Filtro prensa: Esta técnica de desecado de lodos varía de la filtración al vacío en que la presión fuerza al líquido en vez del vacío, a pasar a través de un medio filtrante.

Un filtro prensa es una unidad operada interminantemente; esta formada -- por placas verticales soportadas rígidamente por un armazón, la cara de cada placa se cubre con un paño filtrante.

Las placas se presionan juntas, ya sea mecánica o hidráulicamente entre el extremo fijo y el extremo móvil. El lodo se bombea dentro de la unidad y llena los vacíos en el paño filtrante que cubre las placas. La presión fuerza al líquido a pasar a través del paño, mientras que los sólidos se retienen formando una torta. Las presiones de operación pueden ser tan altas como 15 Atm.

El filtrado se remueve continuamente en tanto que el lodo se deseca. La

velocidad es mayor al comenzar el ciclo y disminuye al irse formando la torta, al mismo tiempo que la caída de presión se incrementa.

El ciclo termina cuando el flujo del filtrado es virtualmente cero o - cuando se alcanza la caída de presión seleccionada. El lodo alimentado a la unidad se para, la prensa se abre y la torta del filtrado se saca, algunas veces se utiliza la vibración o aire comprimido para ayudar a liberar la torta.

La principal ventaja de los filtros prensa, es que se puede obtener una muy alta concentración de sólidos (torta), entre 30 y 50 por ciento. Junto con el secado de la torta, el filtro prensa proporciona una buena captura de sólidos y calidad en el filtro. La torta que se produce por el prensado del lodo crudo puede muchas veces incinerarse sin necesidad de combustible adicional. Entre sus desventajas se incluyen: alto costo de inversión, operación intermitente, requerimiento de mano de obra y limitación a la vida del material filtrante.

Las consideraciones de mano de obra se han visto disminuidas recientemente, debido a los adelantos técnicos en el equipo automático.

Generalmente, los lodos municipales se acondicionan con productos químicos antes de filtrarlos.

La decisión para usar un filtro prensa, depende por lo general, del método que se use para disponer el lodo final. La torta relativamente seca que se produce, puede manejarse fácilmente y disponerse por incineración, por combinación y así es posible, como fertilizante o como relleno de terreno. El aspecto económico es una consideración importante, puesto que el filtro prensa tiene un alto costo de inversión inicial.

Cuando se dispone de terreno, las lagunas son una alternativa económica, debido a sus bajos costos de construcción y operación y factible para el secado mecánico.

Cribado: En varios países se han utilizado las cribas vibratorias para desecado de lodos. Los lodos espesados y químicamente acondicionados se distribuyen primero sobre una criba gruesa (malla de 8 x 24 mm) que remueve el 2% de los sólidos. Los lodos se pasan por una criba fina (malla de 1.2-2 mm) en la cual se remueven aproximadamente el 25% del total de sólidos. La tercera criba es más fina (malla de 0.1-0.5 mm) y remueve el 55% de los sólidos totales. El equipo de cribado es simple y requiere un poco de espacio y energía. La principal desventaja es que la captura de sólidos es baja, el grado de desecado es limitado y las cribas requieren un considerable mantenimiento, puesto que, fácilmente se tapa con grasas y otros materiales. Con mejoras, estas técnicas pueden ser un método de desecamiento de valor.

Filtros de presión de bandas: Algunos fabricantes venden un nuevo equipo de filtración llamado de presión de banda. El equipo está formado por dos bandas filtrantes continuas a través de las cuales los lodos químicamente acondicionados se oprimen para desecarlos.

3.4.7.4. Disposición final de lodos

La disposición final de los lodos resultantes del tratamiento de las aguas residuales, merece consideraciones cuidadosas. El método seleccionado no debe crear problemas adicionales de contaminación. Los métodos de disposición aceptables son: Relleno de terrenos, aplicación a terrenos de cultivo e incineración.

Relleno de terrenos: El relleno de terrenos es el mejor método para la disposición de lodos desecados, material cribado y de residuos de incineración, y es factible cuando el terreno es adecuado, hay disponibilidad y la localización es apropiada. La capacidad del relleno debe ser suficiente para -

permitir que los lodos se distribuyan con una altura no mayor de 0.6 metros. Los lodos deben desecarse para evitar que no haya agua libre que cause problemas de percolación y escurrimiento de tierras. Al final de cada día de -- operación la superficie del relleno debe cubrirse con 15 cm. de tierra y -- compactarse.

El recubrimiento con tierra minimiza la posibilidad de generación de olores y los problemas de proliferación de insectos. Se recomienda un programa de pruebas para asegurarse que el relleno de terreno no sea adverso a las -- aguas subterráneas o aguas superficiales cercanas.

Aplicación a terrenos de cultivo: La aplicación de los lodos a terrenos de cultivo pueden ser un método económico de disposición. Los lodos líquidos contienen nutrientes y son de valor fertilizante para las plantas, aunque la aplicación de los lodos crudos a terrenos involucra riesgos potenciales para la salud.

CONTENIDO DE NUTRIENTES DE LODOS PRIMARIOS DIGERIDOS

<u>Nutrientes</u>	<u>Contenido</u>
Nitrógeno	3.5 - 6.4%
Fósforos	1.8 - 8.7%
Hidróxido de Potasio	0.24- 0.84%

Los lodos usualmente se esparcen en el suelo y se remueven de una manera similar a la aplicación de abonos. Se recomienda una velocidad de aplicación de 2 a 9 kg/m².

CALIDAD DEL AGUA RESIDUAL QUE SE PUEDE UTILIZAR EN EL RIEGO

Para determinar la calidad del agua que se puede usar en riego bajo condiciones específicas, se deben considerar las variaciones e interacciones de suelos, plantas y clima, además del sistema de irrigación que se vaya a utilizar.

Los principales parámetros fisicoquímicos para la clasificación de aguas para riego son: conductividad eléctrica, temperatura, pH, nitrógeno, fósforo, sólidos suspendidos, aniones (CO_3^{2-} , HCO_3^- , SO_4^{2-} y Cl^-) y cationes (Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ y K^+).

En 1970, la Secretaría de Recursos Hidráulicos, a través de la Comisión Hidrológica de la Cuenca del Valle de México, propuso un reglamento para el riego de cultivos con aguas negras, el cual se reproduce a continuación:

Art. 1.- Pueden regarse con aguas negras (A.N.) sedimentadas, los siguientes cultivos: maíz, frijol, trigo, cebada, remolacha, coliflor, espárragos, papas, calabaza y chayote.

Art. 2.- Los árboles frutales como: cítricos, plátano, nogal, aguacate, mango y membrillo, pueden ser regados con (A.N.) sedimentadas, siempre y cuando el riego se suspenda por lo menos un mes antes de la cosecha.

Art. 3.- Las flores y plantas ornamentales de invernadero, pueden ser regadas con aguas negras sedimentadas.

Art. 4.- Las aguas negras sedimentadas pueden usarse en cultivos forrajeros para alimentación de ganado, siempre y cuando sea obligatoria la pasteurización de la leche.

Art. 5.- Los cultivos que no deben ser regados con aguas negras sedimentadas, sino con eficientes sujetos a tratamiento completo y desinfección -

son: col, zanahoria, lechuga, apio, ajo, jitomate, berro, perejil, cilantro y espinacas.

Art. 6.- El personal que trabaje en los campos agrícolas debe ser instruido en las reglas de higiene personal.

Art. 7.- El personal que trabaje en las tierras de cultivo, regadas con aguas negras sedimentadas, deberá someterse a vacunaciones profilácticas contra infecciones intestinales y a investigación sobre helmintiasis, por lo menos una vez al año.

Art. 8.- La recolección de productos agrícolas en los que el riego con aguas negras se suspenda un mes antes de la cosecha, se hará colocando dichos productos en envase o sobre material adecuado y nunca sobre el suelo.

Los valores de concentración máxima de elementos traza recomendados para riego se muestra en la tabla 3.5.

TABLA 3.5

CONCENTRACIONES MAXIMAS DE ELEMENTOS TRAZA RECOMENDADAS PARA
AGUAS DE RIEGO^a

Elemento	Para aguas de uso continuo en todo tipo de suelo. mg/l	Para aguas de uso hasta de 20 años en un suelo de textura fina y pH. 6.0 a 8.5 (mg/l)
Aluminio	5.00	20.00
Arsénico	0.10	2.00

Berilio	0.10	0.50
Boro	0.75	2.00
Cadmio	0.01	0.05
Cromo	0.10	1.00
Cobalto	0.05	5.00
Cobre	0.20	5.00
Fluoruro	1.00	15.00
Fierro	5.00	20.00
Plomo	5.00	10.00
Litio	2.50 ^b	2.50 ^b
Manganeso	0.20	10.00
Molibdeno	0.01	0.05 ^c
Níquel	0.20	2.00
Selenio	0.02	0.02
Vanadio	0.10	1.00
Zinc	2.00	10.00

Referencia: EPA "Water Quality Criteria", 1972, U.S.A.

- a. Estas concentraciones no afectarán normalmente a plantas o suelos.
- b. La concentración máxima recomendada para el riego de cítricos es 0.0075 mg/l.
- c. Únicamente para suelos ácidos con texturas finas o suelos ácidos con alto contenido de óxido de fierro.

3.5.1. Tipo de cultivos que se pueden regar, de acuerdo a la calidad del agua residual.

Con base a estudios que se han realizado en el campo del reuso de aguas residuales, se han establecido criterios para normar su aplicación y, según la calidad de estas aguas, ver cuáles cultivos son más factibles de producir, así se tiene que:

- Los cultivos que no debe ser regados con aguas residuales son las semi

llas, flores, frutales y alimenticios y si se realiza, debe ser bajo fuertes restricciones.

- El grupo de las gramíneas acepta irrigación con cualquier tipos de -- agua residual, por tratarse en general, de cultivos tolerantes a los contenidos de boro, sales y sodio, a excepción del frijol, que es extremadamente sensible a las soluciones salinas.

Con respecto a los nutrientes, el requerimiento de nitrógeno es de 20-30 kg/año, cantidad que puede ser abastecida por las aguas residuales.

- Entre los cultivos que integran al grupo de las oleaginosas importantes por su contenido de aceite están: la soya, cártamo, ajonjolí, etc., que se pueden regar con todo tipo de aguas, ya que en general, resultan toleran--tes a las sales, requiriendo de preferencia suelos ligeramente ácidos, así como de grandes cantidades de fertilizantes y nitrógeno para su mejor desarro--llo.

- El grupo de los forrajes, cuyos cultivos son utilizados principalmente como alimento del ganado, entre los que se incluyen: la alfalfa, pastos, avena, sorgo, etc., son considerados como altamente tolerantes a las concen--traciones de sales, sodio y, aún a algunos elementos considerados como tóxi--cos: como el boro, manganeso y cloruro, por lo que aceptan cualquier tipo - de agua. Es de vital importancia el control de pH en los suelos dedicados al cultivo de forrajes, por la influencia que tienen en la disponibilidad aprovechable de ciertos minerales por el cultivo.

Lo anterior, se presenta en forma esquemática en al tabla 3.5.1.

TABLA 3.5.1.

APLICACION DE AGUAS RESIDUALES A CULTIVOS EN MEXICO DESDE
EL PUNTO DE VISTA DE SU CALIDAD FISICOQUIMICA

T I P O	CULTIVO	T I P O D E A G U A R E S I D U A L			
		Industrial (1)	Doméstica (2)	Combinada (2)	Retorno Agrícola
Granos	Trigo	X	X	X	X
	Sorgo	X	X	X	X
	Maíz	X	X	X	X
	Frijol	-	-	-	-
	Cebada	X	X	X	X
	Garbanzo	X	X	X	X
	Alpiste	X	X	X	X
Oleaginosas	Soya	X	X	X	X
	Cártamo	X	X	X	X
	Ajonjolif	X	X	X	X
	Linaza	X	X	X	X
	Copra	X	X	X	X
Textiles	Algodón	X	-	-	X
Industriales	Caña de azúcar	-	-	-	X
	Tabaco	-	-	-	X
	Sorgo escoba	X	X	X	X
Forrajes	Alfalfa	X	X	X	X
	Pastos	X	X	X	X
	Pradera	X	X	X	X
	Rye grass	X	X	X	X
	Maíz	X	X	X	X
	Avena	X	X	X	X
	Sorgo	X	X	X	X
Varios	X	X	X	X	

Notas: X Factible de utilizarse

- No recomendable

Para todos los casos de aplicación es necesario seguir técnicas -

especiales de laboreo que incluyen: aplicación de láminas mayores de riego y lavado de sales del perfil; optimización de sistemas de drenaje y regulación de la alcalinidad del suelo y monitoreo continuo de agua de riego y suelo.

Se excluyen del cuadro los grupos alimenticios, frutales, florales y semillas, por no recomendarse la aplicación del riego y suelo.

- 1 El agua residual industrial varía considerablemente de calidad, - siendo necesario estudios confirmativos particulares para aprobar su aplicabilidad.
- 2 La aplicación de residuos domésticos y combinados implica el conocimiento y aplicación de prácticas higiénicas especiales, principalmente el evitar el contacto del cultivo con el suelo y la suspensión del riego en período, antes de recolectar la cosecha.

Referencia: Reuso del Agua en la Agricultura, 3a. Etapa, Subsecretaría de Planeación DGUAPC, S.R.H., México 1976.

Las aguas por su contenido de sales se pueden clasificar como: aguas de baja, media, alta y muy alta salinidad.

El agua con baja cantidad de sales se puede usar en la mayor parte de -- cultivos y para cualquier tipo de suelos, sin ocasionar problemas.

Las aguas de salinidad media se pueden usar en forma prudente, en cultivos moderadamente tolerantes a las sales, como son los frutales.

No es recomendable usar aguas de salinidad alta en suelos con drenaje deficiente, ya que aún con drenaje adecuado se necesitan prácticas especiales en el control de la salinidad, este tipo de agua se recomienda en cultivos tolerantes, como ciertas gramíneas.

El uso de aguas con salinidad muy alta no es adecuado en condiciones ordinarias, pues los suelos deben ser permeables, con buen drenaje se les debe aplicar exceso de agua para lavado; se recomienda en cultivos muy tolerantes a las sales, como alfalfa, remolacha y cebolla.

Los cultivos de han clasificado, de acuerdo a su sensibilidad por la pre-

sencia de boro y en función de su resistencia, como sensibles, semitolerantes, como se muestra en la tabla 3. 5.1.1.

Se recomienda que el agua para irrigar cítricos (limón, naranja, toronja y mandarina), frutas con hueso, uvas y moras, no contenga más de 180 mg/l de cloruro.

TABLA 3.5.1.1.

LIMITES DE BORO EN LAS AGUAS DE RIEGO, PARA PRODUCTOS
 AGRICOLAS CON DIFERENTE GRADO DE TOLERANCIA

<u>Tolerantes</u> (4.0 mg/l)	<u>Semitolerantes</u> (2.0 mg/l)	<u>Sensibles</u> (1.0 mg/l)
Espárragos	Girasol	Girasol tuberoso
Remolacha (Azucarera y Forrajera)	Papa	Frijol blanco
Betabel	Algodón	Ciruela
Alfalfa	Jitomate	Pera
Gladiola	Rábano	Mánzana
Haba	Chicharo	Uva
Cebolla	Olivo	Higo
Nabo	Cebada	Níspero
Col	Trigo	Cereza
Lechuga	Maíz	Durazno
Zanahoria	Avena	Mora
Datilera	Calabaza	Naranja
Palmera	Camote	Aguacate
	Frijol	Toronja
	Lima	Limón

Fuente: Reuso del Agua en la Agricultura, 2a. etapa, Subsecretaría de Planeación AGUAPC, S.R.H., México, 1975.

3.5.2. Disposiciones legales del uso de las aguas residuales

Para el reglamento del recurso agua en todos sus aspectos, el ejecutivo federal emitió la Ley Federal de Aguas, publicada el 4 de enero de 1972, en el "Diario Oficial de la Federación", a fin de realizar una distribución equitativa de los recursos hidráulicos y cuidar su conservación.

En el capítulo segundo, artículo 8 y 10, la Ley establece que las aguas residuales provenientes de diferentes usos son propiedad nacional, aún cuando sean desviadas de su caudal original para su explotación, uso, aprovechamiento o tratamiento.

En el capítulo tercero, artículo 17, fracción XIX, señala esta Ley que, son atribuciones de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos regular la explotación, uso o aprovechamiento de aguas residuales y las condiciones en que hayan de arrojarse en las redes colectoras, cuencas, cauces, vasos y demás depósitos y corrientes de agua, así como su infiltración, procurando evitar en todo caso, la contaminación que ponga en peligro la salud pública o degrade los sistemas ecológicos en coordinación con las Secretarías competentes.

Lo más importante en la materia de restricciones legales está comprendido en el Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación de Aguas que fue expedido el 28 de marzo de 1973 en la clasificación de las aguas de los cuerpos receptores superficiales en función de sus usos y características de calidad, que queda claramente definido en la tabla 2 del artículo 24, siendo los parámetros a controlar para la clase de aguas para uso agrícola e industrial los expuestos en la tabla 3.5.2.

TABLA 3.5.2

CLASIFICACION DE LAS AGUAS DE CUERPOS RECEPTORES SUPERFICIALES EN FUNCION DE SUS USOS Y CARACTERISTICAS DE CALIDAD. VALORES MAXIMOS PERMISIBLES EN LOS MISMOS.

Agua para uso agrícola o industrial		D III	
Constituyente o Determinación	Concentración Permissible	Constituyente o Determinación	Concentración Permissible
Turbiedad (máxima)	Condiciones Naturales	Plomo	5.00 mg/l
Color (escala pt-Co)	Condiciones Naturales + 10	Seenio	0.05 mg/l
PH	6.0 a 9.0	Sólidos Disueltos Totales (máximo)	Conductividad no 2 000 mg/l
Arsénico	5.00 mg/l	Grasas y aceites	Ausencia de película visible.
Boro	2.00 mg/l	Materia flotante	Ausente.
Cadmio	0.005 mg/l	Nutrientes (N y P)	No provoquen h ₂ perfertilización.
Cobre	1.00 mg/l	Sustancias tóxicas	Ninguna sola o combinada que esté en concentraciones tales que conviertan inadecuada al uso específico del agua.
Cromo (hexavalente)	5.00 mg/l	-	-
Oxígeno disuelto (mínimo)	3.20 mg/l	Coliformes NMP (máximo)	1 000/100 ml
Temperatura	Condiciones Naturales + 2.5 °C		

Referencia: Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación de aguas (SRH-SSA).

IV. AREA DE ESTUDIO

4.1. ASPECTO FISICOS

4.1.1. Localización

En la zona noroeste del Estado de México se localiza el municipio de - Zumpango, aproximadamente entre las coordenadas: 19°42' y 19°53' latitud norte y los 98°58' y 99°11' longitud oeste. Limita al norte con los municipios de Tequixquiac y Hueyoxtlá; al sur, con los municipios de Jaltango y Nextlapan; al este, con el Estado de Hidalgo y el municipio de Tecamac; y al oeste, con los municipios de Huehuetoca, Coyotepec y Teoloyucan (ver croquis 4.1.1.)

La superficie que ocupa el municipio de Zumpango es de 205.830 km². Al centro del municipio se encuentra la cabecera municipal denominada Zumpango - de Ocampo, sitio del proyecto y se localiza dentro de las coordenadas: 19°47' 52" de latitud norte y 99°05'47" de longitud oeste, a una altitud de 2 250 metros sobre el nivel del mar.

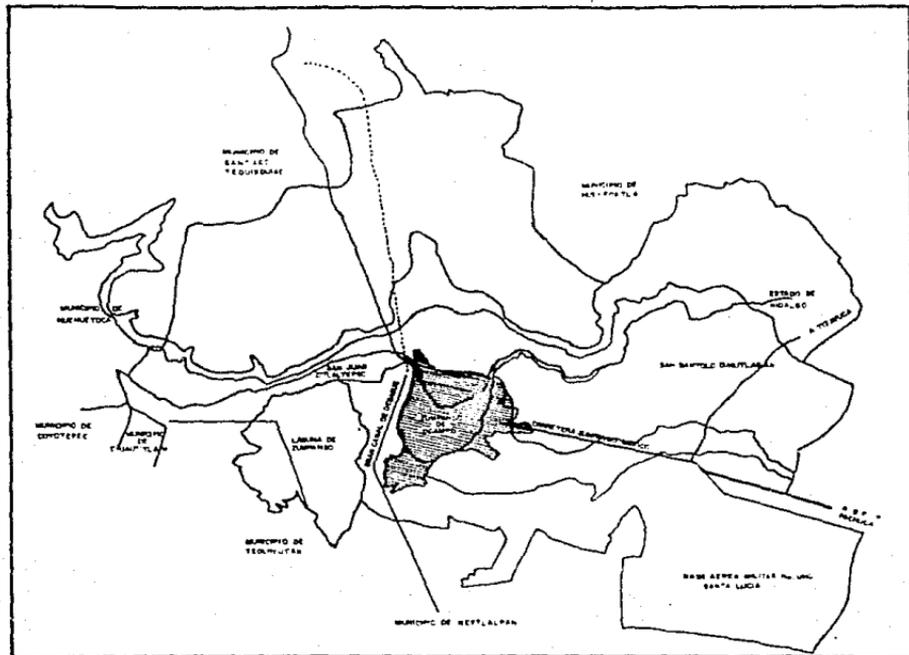
El acceso a Zumpango es principalmente por las carreteras de México-Zumpango y la carretera de las lumbreras.

4.1.2. Climatología

Entre la variedad de climas que presenta el Estado de México predomina - el templado, el cual se presenta en la parte norte, centro y este de la entidad. Lo siguen en importancia por su influencia y extensión, los climas semi frío, cálido, semicálido y frío.

El clima que caracteriza a la zona de Zumpango es el templado subhúmedo,

CROQUIS 4.1.1.



que pertenece al grupo de climas templados y al tipo de los subhúmedos, de los cuales es la variante más seca. La clasificación del clima de esta zona se determinó como se indica a continuación:

Se obtuvo la fórmula climática correspondiente a la zona de Zumpango, basándose en el sistema de "clasificación climática de Köppen, modificado por Enriqueta García, 1964", los datos climáticos se obtuvieron de la estación meteorológica de Zumpango, los cuales fueron:

Temperatura media anual 14.8 °C

Temperatura del mes más cálido 17.5 °C (mayo)

Temperatura del mes más frío 11.1 °C (enero)

Oscilación anual de la temperatura media = temperatura media del mes más cálido menos temperatura media del mes más frío igual a 17.5 °C - 11.1 °C = 6.4 °C.

Precipitación anual 617.7 mm.

Precipitación del mes más lluvioso 119.9 mm (julio)

Precipitación del mes menos lluvioso 5.4 mm (diciembre)

Cociente precipitación/temperatura = precipitación anual entre temperatura media anual igual a $\frac{617.7 \text{ mm}}{14.8 \text{ °C}} = 41.7$

Porcentaje de lluvia invernal es igual a la precipitación total de enero, febrero y marzo por cien y éste dividido entre la precipitación anual:

Porcentaje de lluvia invernal ; $\frac{(9.5 \text{ mm} + 5.7 \text{ mm} + 19.3 \text{ mm}) (100)}{617.7 \text{ mm}} = 5.6\%$

Número de meses con temperatura superior a 10 °C = 12 meses

Gráfica de precipitación: existe presencia de sequía intraestival, ya que la gráfica presenta dos picos, como se muestra en la gráfica 4.1.2.

GRAFICA 4.1.2.

PRECIPITACION TOTAL MENSUAL (Pp)

DATOS

Mes	P _p (mm)
Ene	9.5
Feb	5.7
Mar	19.3
Abr	32.3
May	49.6
Jun	105.2
Jul	119.9
Ago	100.5
Sep	104.3
Oct	53.5
Nov	12.5
Dic	5.4

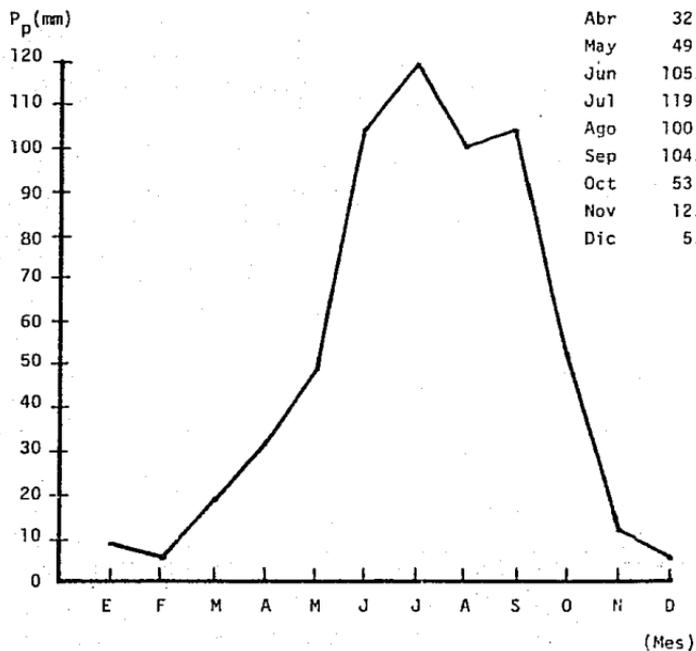


TABLA 4.1.2.
FORMULA CLIMATICA DE LA ZONA DE ZUMPANGO

<u>Clave</u>	<u>Designación</u>	<u>Parámetro</u>	<u>Rango de la designación</u>	<u>Valor correspondiente a la zona de Zumpango</u>
C	Grupos de climas templados húmedos	Temp. media		
		Temp. media del mes más frío	- 3 a 18 °C	11.1 °C
		Temp. media del mes más cálido	> 6.5 °C	17.5 °C
c	Subgrupos de climas templados	Temp. media anual	12 a 18 °C	14.8 °C
c(W)	Tipo: templado subhúmedo con lluvias en verano	Régimen de lluvias:		
		% de lluvia invernal	5 a 10.2%	5.6 %
		Precipitación del mes más seco	< 40 mm	5.4 mm
		Grado de humedad		
c(Wo)	Subtipo: el más seco de los templados, subhúmedos, con lluvias en verano	Cociente precipitación/temp.	< 43.2	41.7
w"	Presencia de dos épocas de sequía	Sequía intraestival	Si presenta	Si presenta
(i')	Con poca oscilación de temperatura	Oscilación anual de la temp.	5 a 7 °C	6.4 °C
g	Marcha de la temperatura tipo Ganges	Mes más caliente del año	Antes de junio	Sí (mayo)
b	Verano fresco largo	Temp. media del mes más cálido	6.5 a 22 °C	17.5 °C

De acuerdo a la tabla 4.1.2., la fórmula climática queda ordenada de la siguiente forma:

$$Cw'' (W_0) b (i') g$$

Esto indica que la zona de estudio presenta las siguientes características -- climáticas:

Es un clima templado subhúmedo: es la variante más seca de los templados, con lluvias de verano y porcentaje de lluvia invernal de 5.6%. El régimen pluvial medio anual es de 617.7 mm y la temperatura media anual es de - - 14.8 °C.

La mayor precipitación se presenta en julio, con un valor de 119.9 mm y la mínima en diciembre, con un valor de 5.4 mm.

Las temperaturas más cálidas se presentan en mayo, con un valor de - - 17.5 °C, y la más fría en enero, con valor de 11.1 °C.

Existe presencia de sequía intraestival y presenta poca oscilación de -- las temperaturas medias mensuales.

La comunidad vegetativa que está asociada a este tipo de clima son los - bosques de pino, de encino, mixtos y pastizales.

4.1.3. Hidrología

El estado de México queda comprendido dentro de las siguientes cuencas - hidrológicas:

Lerma-Chapala-Santiago (No. 12, centro-oeste; superficie 5 448,540 km²).

Rio Balsas (No. 18, superficie 961 850 km², en la parte sur).

Alto Pánuco (No. 26, superficie 7 933,830 Km²).

Aguas superficiales: La zona de estudio está ubicada dentro de la re- - gión hidrológica No. 26, del alto Pánuco y específicamente a la subcuenca in-

termedia de los lagos de Texcoco y Zumpango.

Esta cuenca presenta un problema de contaminación de primer orden y requiere de control inmediato. La situación que prevalece aquí, es muy crítica a causa de las descargas del gran número de industrias de diferentes ramas y de las del gran canal que provienen de la Ciudad de México; estas descargas involucran un volumen muy grande de demanda bioquímica de oxígeno, lo cual repercute negativamente en la ecología de la zona.

Aguas subterráneas: Uno de los factores primordiales que sustenta el desarrollo del Estado de México es el agua subterránea. En efecto la mayor parte de las zonas industriales de la entidad se abastecen mediante pozos profundos. Aunque en algunas áreas la intensidad del bombeo esta causando efectos nocivos, como el descenso progresivo de los niveles y el agrietamiento de los terrenos, existen otras en las que es factible obtener volúmenes adicionales de consideración

La región hidrológica "Alto Río Pánuco" comprende la región norte del estado con grandes recursos acuíferos, abarca zonas de Cuautitlán, Teotihuacán, Texcoco y Chalco, los cuales forman parte del Valle de México. Los acuíferos se encuentran en rocas basálticas y sedimentos aluviales y lacustres, terciarios y recientes.

En la cuenca Lago Texcoco y Zumpango se encuentran pozos con profundidades de hasta 186 metros.

4.1.4. Geología

El Estado de México está comprendido dentro de dos provincias geológicas que son: el Eje Neovolcánico y la Sierra Madre del Sur. El municipio de Zumpango está enclavado dentro de la provincia geológica del Eje Neovolcánico, -

que esta caracterizado geologicamente por el predominio de rocas volcánicas - cenozoicas que datan del terciario y el cuaternario. En esta provincia hay - algunos afloramientos de rocas triasicas litológicamente clasificadas como fi litas y pizarras. Del cretacio, afloran rocas sedimentarias marinas de compo sición carbonatadas, en Apaxco, municipio cercano a Zumpango, estas son explo tadas por la industria de la construcción. Las rocas ígneas extrusivas (and e sítas, riolitas y basaltos) del terciario yacen sobre las rocas mesozoicas, - cubriendo la mayor parte de esta provincia.

En cuanto a la geología económica, en el municipio de Apaxco cercano a - la zona de Zumpango, existe una planta de cemento que explota y procesa la ca liza para fabricar cemento y cal hidratada. Aquí también los ejidatarios ob- tienen beneficios al vender roca caliza a las empresas. En Santa María Apax- co existen algunas canteras que explota Cementos Anáhuac, S. A.

4.1.5. Tipos de Suelos

Los suelos que predominan en el área de estudio, según la clasificación de suelos, elaborada por la FAO-UNESCO (1970), modificada por la Dirección Ge neral de Geografía del Territorio Nacional (DGGTN) (ahora INEGI), son los si- guientes: Feozem Háplico, Gleysol (en el área de la Laguna) y en menor propo- rción encontramos vertisol pèlico y regosol eutrico; los cuales presentan - las siguientes características:

Feozem Háplico (Hh): Suelos con textura migajón arcillo-arenosa. Color pardo grisaseo en húmedo. Adhesividad nula y plasticidad ligera. Estructura de forma granular, tamaño medio y desarrollo débil. Porosidad moderada. Dre naje interno drenado.

Gleysol (Gh): Suelo con textura arcillosa. Color gris muy oscuro en --

húmedo. Estructura en forma masiva. Drenaje interno, moderadamente drenado. Suelos con más de 15% de saturación de sodio en alguna porción, a menos de -- 125 cm de profundidad.

Vertisol Pélico (Vp): Suelos con textura migajón-arcillosa. Color ne-- gro en húmedo. Adhesividad moderada, plasticidad moderada. Estructura de -- forma de bloques angulares, tamaño fino y desarrollo moderado. Porosidad - - abundante y constitución cavernosa. Drenaje interno drenado.

Regosol Eutrico (Re): Presentan textura franca. Color pardo oscuro en húmedo. Adhesividad nula y plasticidad ligera. Estructura de forma granu- - lar, tamaño fino y desarrollo débil. Drenaje interno drenado.

4.2. ASPECTOS SOCIOECONOMICOS

4.2.1. Demografía

En las oficinas de Obras Públicas y Plan de Desarrollo Urbano Municipal del H. Ayuntamiento de Zumpango, se obtuvieron los censos poblacionales co- - rrespondientes a las décadas del período de 1930 hasta 1980 y las estimacio- - nes de la población futura en el municipio de los años de 1985, 1990 y del -- año 2000; los cuales reportan los siguientes datos del número de habitantes a nivel municipio:

<u>Censo</u>	<u>Habitantes</u>	<u>Censo</u>	<u>Habitantes</u>
1930	11,507	1970	36,105
1940	14,073	1980	45,680
1950	17,498	1985	49,615
1960	22,677	1990	64,995
		2000	85,144

Se muestran a continuación los datos del número de habitantes, en el año de 1985, agrupados por edades y sexo:

<u>Edad</u>	<u>Mujeres</u>		<u>Hombres</u>		<u>Total</u>	<u>%</u>
	<u>Subtotal</u>	<u>%</u>	<u>Subtotal</u>	<u>%</u>		
0- 4	3,455	6.96	3,619	7.29	7,075	14.25
5- 9	3,626	7.30	3,834	7.73	7,460	15.03
10-14	3,480	7.02	3,584	7.22	7,064	14.24
15-19	2,954	5.96	3,050	6.14	6,004	12.10
20-24	2,408	4.86	2,390	4.81	4,798	9.67
25-30	2,315	4.67	2,382	4.80	4,697	9.47
31-40	2,450	4.94	2,450	4.94	4,900	9.88
41-50	1,646	3.32	1,681	3.39	3,327	6.71
51-60	1,062	2.14	1,071	2.16	2,133	4.30
61-70	570	1.16	604	1.21	1,174	2.37
71-	516	1.05	464	0.93	980	1.98
Total	24,483		25,132	51.62	49,615	100.00

4.2.2. Estructura ocupacional

La población económicamente activa de Zumpango es de 11,739 personas que representan un 23.66% de la población total y se distribuye como se muestra a continuación:

<u>Sector</u>	<u>Habitantes</u>	<u>%</u>
Agricultura	1,685	14.36
Ganadería	190	1.62
Industria	2,053	17.49
Comercio	1,067	9.09
Profesional	743	6.33
Oficios	5,439	46.34
Gobierno	520	4.43
Pesca	40	0.34
Total	11,739	100.00

Del cuadro anterior, se observa que el municipio de Zumpango presenta -- una economía mixta, donde las actividades predominantes son los oficios, la - industria y la ganadería.

4.2.3. Educación

En la localidad existen jardín de niños, primarias, secundarias, prepara- torias y escuelas de carreras cortas, como enfermería y algunas carreras co- merciales. El grado de escolaridad de la población es el siguiente:

<u>Escolaridad</u>	<u>Habitantes</u>	<u>%</u>
Jardín de niños	1,468	2.96
Primaria	12,265	24.72
Secundaria	3,587	7.23
Preparatoria	1,468	2.96
Profesional	551	1.11
Comercio	366	0.74
Normal	186	0.37
Sin escolaridad	3,680	7.42
Otros	304	0.61
Analfabetas	3,720	7.50

Grado de escolaridad	11,655	23.49
0 - 4 años	10,365	20.89
Total	49,615	100.00

4.2.4. Ingresos

En 1985, se tenía determinado como el ingreso medio por familia, y el más alto en el municipio de \$40,003.00 y el más bajo de \$2,827.00. La clase social predominante es la clase media baja, la cual tiene una dieta regular, así como la calidad de la ropa que porta.

4.3. ECONOMIA DE AGUA POTABLE Y AGUA RESIDUAL

4.3.1. Aprovechamiento y demanda de agua potable

Conforme a datos proporcionados por la Oficina de Agua y Saneamiento - del H. Ayuntamiento de Zumpango, en la localidad de Zumpango de Ocampo, extraen un caudal de agua potable de 255 litros por segundo, a través de tres pozos profundos, que bombean 85 litros por segundo cada uno, en un tiempo de bombeo de 12 hrs/día, lo que equivale a un suministro de agua de 3'672,000 lts/día, por pozo; o sea, que en total los tres pozos proporcionan 11,016 -- m³/día, con lo que cubren las necesidades de agua potable de los habitantes de la localidad en un 100%.

Basándonos en el gasto de agua potable y en el número de habitantes, que son 11 016,000 lts/día y 21,165; respectivamente, obtuvimos el consumo de -- agua potable per capita de 520 lts. diarios, lo que se considera alto, ya que rebasa 500 lts/día/habitante.

Se realizó un recorrido para localizar y caracterizar las fuentes de - - abastecimiento de agua potable de la localidad y se observó que los pozos pro fundos están localizados en los siguientes lugares:

Uno en el Centro, en la Plaza Juárez, otro en el norte, en el Barrio San tiago y el restante, en el sur de la localidad, en el Barrio de San Juan.

Actualmente la red de agua potable da servicio a 4 367 tomas domicilia-- rias, 13 tomas comerciales y 3 tomas industriales.

En el Municipio de Zumpango, no existe planta de desinfectación, tan só- lo existe un proyecto a largo plazo para dar tratamiento al agua proporciona- da por uno de los pozos, mediante cloro. En cuanto a la red de distribución, no existe ningún proyecto de ampliación, debido, principalmente, a que actual mente se esta cubriendo la demanda de agua potable de la población.

Disponibilidad de aguas residuales y usos: La totalidad de las aguas re- siduales de la localidad son enviadas al gran canal de México, mediante dos - descargas; una localizada en la parte oeste de la localidad, que colinda con San Pedro de la Laguna y la otra en la parte norte en la salida que conduce - al Municipio de Tequisquiác.

El tipo de alcantarillado de la localidad es combinado, ya que recibe -- aportaciones de agua, de la precipitación pluvial y de las descargas domici-- liarias, comerciales e industriales. La red de drenaje está entubada y cubre aproximadamente un 90% de la localidad.

Actualmente, se tienen registradas 4 367 descargas domiciliarias de - - aguas negras y 8 descargas de fábricas e industrias. Las fábricas e indus--

trias que descargan en la red de drenaje, tienen el siguiente giro: fábricas de sombreros, industria hilera, agro-industrias, molinos de tortillería y panificadoras. Las descargas de éstas no incrementan en forma significativa la contaminación de las aguas residuales, lo que indica que con tratamientos sencillos, se pueden acondicionar las aguas residuales, para que reúnan las características necesarias para ser utilizadas en riego agrícola.

Mediante proyecciones de la población (utilizando censos de 1930 a 1980) y aforos realizados en 1980, se pudo determinar que el volumen actual aproximado, que se maneja en la red del drenaje de la localidad es de 7 678,215 - - lts./día, lo que es equivalente a un gasto de 88.9 litros por segundo, es decir que la población aporta un volumen de 2 802,548 lts./año.

De acuerdo al gasto de agua residual por día y al número de habitantes de la localidad, que son 7 678,215 lts/día y 21 165, respectivamente, podemos deducir que cada habitante aporta 363 litros de agua residual por día. Los gastos determinados anteriormente, serán utilizados en el diseño de la planta de tratamiento.

Parte de las aguas residuales del Gran Canal, son empleadas en el Municipio de Zumpango, en las siguientes unidades de riego:

Lumbrera No. 3, San Juan Zitlaltepec, Superficie regada 300 - 00 Ha.

Lumbrera No. 9, San Miguel Bocanegra, Superficie regada 309 - 00 Ha.

Lumbrera No. 12, San Miguel Cuevas, Superficie regada 253 - 00 Ha.

En estas unidades extraen el agua residual del Gran Canal, mediante bombeo y la utilizan sin darle ningún tratamiento, lo que ha ido deteriorando las condiciones físico-químicas y biológicas del suelo. Las demás unidades de riego, correspondientes al Municipio en cuestión, utilizan pozos profundos para obtener el agua para riego.

El nombre de las unidades de riego que, pertenecen al Municipio de Zump--

pango, así como la superficie que cubren y el número de usuarios, se encuentran en la tabla 4.3.1.

TABLA 4.3.1.

SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS
 JEFATURA DEL DISTRITO Y UNIDADES DE RIEGO NO. 573
 UNIDAD OPERATIVA MUNICIPAL NO. 6 ZUMPANGO

NOMBRE DE LA UNIDAD	NO.	MUNICIPIO	NO.	SUPERFICIE EN HECTAREAS			USUARIOS			TIPO DE APROVECHAMIENTO
				EJIDO	P.Q.P.	TOTAL	EJIDO	P.Q.P.	TOTAL	
SANTO DOMINGO	95	ZUMPANGO	120	26-50	-	26-50	43	-	43	P.P.
PLAN JALPILLA	113	"	"	469-50	70-00	539-50	713	59	772	P.D.B.
LUMBRERA NO. 3										
SAN JUAN ZITLALTEPEC	43	"	"	92-00	208-00	300-00	129	263	392	P.D.B.
LUMBRERA NO. 9										
SAN MIGUEL BOCANEGRA	44	"	"	209-00	100-00	309-00	234	106	339	P.D.B.
POZO NO. 1 SAN JUAN	7	"	"	-	76-50	76-50	-	28	28	P.P.
POZO NO. 5 SAN MIGUEL	9	"	"	-	82-41	82-41	-	56	56	P.P.
POZO NO. 7 SANTIAGO	11	"	"	-	35-8574	35-8574	-	20	20	P.P.
POZO NO. 2 SAN MARCOS	61	"	"	-	98-4225	98-4225	-	61	61	P.P.
POZO NO. 3 SAN PEDRO	10	"	"	-	85-00	85-00	-	40	40	P.P.
POZO NO. 4 STA. MARIA	12	"	"	-	54-25	54-25	-	524	524	P.P.
POZO NO. 6 SAN LORENZO	8	"	"	-	71-4019	71-4019	-	52	52	P.P.
LA NORIA	68	"	"	44-88	-	44-88	13	-	13	P.P.
TUMBABURROS	109	"	"	84-00	-	84-00	25	-	25	P.P.
LAS PATERAS	69	"	"	62-00	-	62-00	20	-	20	P.P.
SAN PEDRO LA NORIA				106-00	-	106-00	35	-	35	P.P.
EL TERREMOTE				97-00	-	97-00	33	-	33	P.P.
HAUCALPAN	26	"	"	165-00	-	165-00	33	-	33	P.P.
SAN SEBASTIAN	87	"	"	93-00	-	93-00	93	-	93	P.P.
TEPETZINGO	103	"	"	-	51-50	51-50	-	22	22	P.P.
EMILIANO ZAPATA	30	"	"	-	17-25	17-25	-	24	24	P.P.
FRANCISCO I. MADERO	31	"	"	-	27-75	27-75	-	18	18	P.P.
LUMBRERA NO. 12										
SAN MIGUEL CUEVAS	45	"	"	230-00	23-00	253-00	286	5	291	P.D.B.
SUB-TOTAL				1000-50	401-00	1401-50	1362	433	1794	P.D.B.
SUB-TOTAL				678-38	600-3418	1278-7218	295	345	640	P.P.
TOTAL				1678-88	1001-3418	2680-2218	1657	778	2434	

P.D.B. Planta de Bombeo
 P.P. Pozo Profundo
 P.Q.P. Pequeña Propiedad

4.3.2. Proyección de la población de la localidad de Zumpango de Ocampo

La proyección de la población se realizó utilizando el modelo de crecimiento poblacional "J", los censos de población y vivienda del periodo de 1930 a 1980 fueron proporcionados por el H. Ayuntamiento de Zumpango, estos datos sólo contemplan a la localidad de Zumpango de Ocampo.

Según el modelo de crecimiento poblacional "J", la población final o futura se determina mediante la siguiente fórmula:

$$N = N_0 e^{ct}$$

Donde: N = Número final de individuos.

N_0 = Número inicial de individuos.

c = Constante de crecimiento poblacional.

t = Período (años de N_0 a N)

Para encontrar la constante de crecimiento poblacional (c) se despeja de la fórmula anterior, utilizando logaritmos:

$$N = N_0 e^{ct}$$

$$\log N = \log (N_0 e^{ct})$$

$$\log N = \log N_0 + \log e^{ct}$$

$$ct \log e = \log N - \log N_0$$

$$c = \frac{\log N - \log N_0}{t \log e}$$

La evolución de la población de la localidad en estudio de 1930 a 1980, en cuanto a número de habitantes es la siguiente:

<u>Año</u>	<u>Habitantes</u>	<u>Año</u>	<u>Habitantes</u>
1930	4 519	1960	10 334
1940	5 953	1970	13 615
1950	7 844	1980	17 938

Con el número de habitantes de 1930 a 1980, determinamos la constante de crecimiento poblacional (c):

$$c = \frac{\log N - \log N_0}{t \log e}$$

Donde: N = 17 938 (número de habitantes en 1980)

N₀ = 4 519 (número de habitantes en 1930)

t = 50 años (número de años entre 1930 y 1980)

$$c = \frac{\log 17\,938 - \log 4\,519}{50 \log e} = \frac{0.598731678}{21.71472409} \quad c = 0.027572612$$

El siguiente paso, es determinar la población futura, con base a (c) y - al último censo de población, aplicados al modelo de crecimiento nacional - - "J":

$$N = N_0 e^{ct}$$

Donde: N₀ = 17 938 (población en 1980)

c = 0.02757

t = 5 años (proyección c/5 años)

N = Población final

e^{ct} = 1.1478

N 1985 = (17 938) (1.1478) = 20 589 habitantes

N 1986 = (17 938)e^{(0.02757)(6)} = 21 165 habitantes

N 1990 = (20 589) (1.1478) = 23 632 habitantes

N 1995 = (23 632) (1.1478) = 27 125 habitantes

N 1996 = (21 165) e^{(0.02757) (10)} = 27,884 habitantes

N 2000 = (27 125) (1.1478) = 31,134 habitantes

N 2005 = (31 134) (1.1478) = 35 736 habitantes

Nota: La población de 1986, se calculó, ya que el registro más creciente de consumo de agua potable y volumen de agua residual corresponden a este año.

4.3.3. Proyección de la demanda de agua potable y del gasto de aguas residuales en la localidad de Zumpango de Ocampo.

Se tomó como base la proyección de la población de la localidad que se obtuvo mediante el modelo de crecimiento poblacional "J", y el consumo per capita por día de agua potable, el proceso que se siguió fue el siguiente:

$$\text{Para 1980 } \frac{272\ 160\ \text{m}^3/\text{mes}}{17\ 938\ \text{hab.}} = 15.1722\ \text{m}^3/\text{mes}/\text{hab.} = 506\ \text{lts}/\text{día}/\text{hab.}$$

$$\text{Para 1986 } = \frac{328\ 140\ \text{m}^3/\text{mes}}{21,165\ \text{hab.}} = 15.5039\ \text{m}^3/\text{mes}/\text{hab.} = 517\ \text{lts}/\text{día}/\text{hab.}$$

Teniendo el consumo per capita de agua potable en 1980 (506 lts/día), y 1986 (517 lts/día) se obtuvo un promedio que fue de 512 lts/día que se multiplicó por el número de habitantes del año 2000:

$$Q = (512\ \text{lts}/\text{día}/\text{hab}) (31\ 134\ \text{hab}) = 15'940,608\ \text{lts}/\text{día} = 184.498\ \text{l.p.s.}$$

Lo que equivale a un gasto anual de 5'818,321.9 m³/año para el año 2000.

Ahora para determinar el caudal de aguas residuales del año 2000, se realizó lo siguiente:

Se obtuvo el registro del gasto de agua residual por mes de 1980, y de acuerdo al número de habitantes de ese año se determinó el gasto per capita de aguas residuales:

$$Q\ \text{Per capita} = \frac{190,972\ \text{m}^3/\text{mes}}{(1980)\ 17,938\ \text{hab.}} = 10.6462\ \text{m}^3/\text{mes}/\text{hab} = 355\ \text{lts}/\text{día}/\text{hab.}$$

$$Q\ \text{Per capita} = \frac{230,346}{(1986)\ 21,165} = 10.8833\ \text{m}^3/\text{mes}/\text{hab} = 363\ \text{lts}/\text{día}$$

Se sacó el promedio de los dos gastos y se obtuvo 359 lts/día.

Con base al gasto per capita de agua residual promedio y al número de habitantes del año 2000 en la localidad, se determinó el gasto de aguas residuales

ies de la localidad correspondiente al año 2000:

$$Q_{2000} = 359 \text{ lts/día/hab.} \times 31\,134 \text{ hab.} = 11\,117, 106 \text{ lts/día}$$

Lo que equivale a 129.364 l.p.s., por lo que, para el año 2000 se estima un gasto anual de 4'079,643.7 m³ de aguas residuales.

En la tabla 4.3.3. se calculó el consumo de agua potable y el gasto de agua residual, para diferentes años, con base a los resultados de la proyección de la población, al volumen de agua residual (m³/mes), y el volumen de agua potable (m³/mes), correspondientes a los años de 1980 y 1986, proporcionados por el H. Ayuntamiento de Zumpango:

TABLA 4. 3. 3.

PROYECCION DE POBLACION, VOLUMEN DE AGUA
POTABLE Y VOLUMEN DE AGUA RESIDUAL

AÑO	HABITANTES	VOLUMEN DE AGUA POTABLE					VOLUMEN DE AGUA RESIDUAL				
		M ³ /MES	M ³ /DIA	L.P.S.	M ³ /DIA/HAB	L/DIA/HAB	M ³ /MES	M ³ /DIA	L.P.S.	M ³ /DIA/HAB	L/DIA/HAB
1980	17 938	272 160	9 072.000	105.000	0.506	506	190 972	6 365.733	73.677	0.355	355
1985	20 589	316 247	10 541.568	122.009	0.512	512	221 743	7 391.451	85.549	0.359	359
1986	21 165	328 140	10 938.000	126.597	0.517	517	230 346	7 678.215	88.868	0.363	363
1990	23 632	362 987	12 099.584	140.041	0.512	512	254 516	8 483.888	98.193	0.359	359
1995	27 125	416 640	13 888.000	160.741	0.512	512	292 136	9 737.875	112.707	0.359	359
2000	31 134	478 218	15 940.608	184.498	0.512	512	335 313	11 177.106	129.365	0.359	359
2005	35 736	548 905	18 296.832	211.769	0.512	512	384 876	12 829.224	148.486	0.359	359

V METODOLOGIA

Las actividades que se desarrollaron para realizar el presente estudio se llevaron a cabo conforme a la siguiente secuencia:

Recopilación, análisis y actualización de la información disponible; - referente a la población, servicios, usos del agua original, manejo y usos del agua residual, usos del suelo. Para conocer la situación actual de la zona de estudio, en cuanto a demanda, disponibilidad y usos del recurso en cuestión.

Se investigaron las características físico-químico-biológicas de las - aguas residuales municipales generadas en la zona de estudio y se estudiaron las posibilidades de modificación de la calidad de las aguas residuales municipales, considerando los aspectos técnicos involucrados para el reuso de este tipo de agua en el riego agrícola.

Se realizaron los estudios de algunos aspectos socio-económicos, complementándose con el estudio técnico y estar así en posibilidad de analizar diferentes sistemas alternativos para la disposición en riego agrícola de - las aguas residuales.

Una vez elegida la mejor alternativa, con base en los estudios antes - expuestos, se realizaron los estudios básicos para determinar las características del sistema, como son: las estructuras necesarias, tratamientos, así como magnitud, beneficios, tipo de cultivos, área de influencia, etc.

5.1. Caracterización analítica de suelos y aguas del área de estudio

Para la elaboración del proyecto, se realizó una serie de trabajos que se agrupan de la siguiente manera:

1. Trabajos de Campo.- comprende el muestreo de suelos hecha al ázar, en donde, además se subdividió en 2 estratos que se consideran más o menos homogéneos. La profundidad de muestreo se efectuó hasta una profundidad de 60 cm en los siguientes espesores:

0 - 20 cm 20 - 40 cm 40 - 60 cm

Se tomaron, aproximadamente, 2 kg de suelo (que se etiquetaron y registraron en una libreta) depositados en bolsas de polietileno para su transporte y manejo en el laboratorio.

Para la determinación sobre el agua de riego, se realizaron los muestreos, de acuerdo al agua utilizada para riego de los muestreos de suelo.

Sitios de muestreos:

- Pozos 1, 2, 3.- Localidad: Hacienda Clila
Topografía: Plana, al pie de una colina
Cultivos : Calabaza, haba, avena, frijol, trigo, alfalfa, maíz.
Pozos 1 y 2: Con riego del Gran Canal (Lumbrera 3).
Pozo 3 : De temporal
- Pozos 4, 5, 6.- Localidad: San Miguel Bocanegra
Topografía: Plana
Cultivos : Alfalfa, maíz, avena, calabaza, frijol, trigo, haba, cebada.
Pozos 4 y 5: Con riego del Gran Canal (Lumbrera 9)
Pozo 6 : De temporal.

Pozos 7, 8, 9.- Localidad: San Pedro de la Laguna
Topografía: Plana, terreno barbechado
Cultivos : Alfalfa, avena, calabaza, maíz, frijol.
Los tres pozos se encuentran en terrenos regados con aguas provenientes del manto freático.

Pozos 10, 11, 12.-Localidad: Zumpango de Ocampo
Topografía: Plana, terreno barbechado.
Cultivos : Alfalfa, calabaza, maíz, avena. Los lugares muestreados son regados con aguas residuales de la localidad de Zumpango.

2. Los trabajos de laboratorio.- consistieron en la realización de -- los análisis de aguas y suelos.

Análisis de suelos: Por medio de un análisis de suelos se pueden encontrar los elementos suficientes para identificar la naturaleza del problema, si es que existe, y poder hacer las correcciones necesarias para corregir -- tal problema.

Determinaciones físicas a).- Densidad aparente: se determinó por el método de probeta:

$$da = \frac{\text{Peso de probeta} - \text{Peso de probeta sola}}{10 \text{ ml}}$$

b).- Textura: Se determinó, mediante el método de Bouyoucos, basado en las diferentes velocidades de sedimentación de partículas y obteniendo los porcentajes con las fórmulas siguientes:

$$\% \text{ Limos + arcillas} = \frac{\text{Primera lectura} \times 100}{\text{g muestra}}$$

$$\% \text{ arcillas} = \frac{\text{Segunda lectura} \times 100}{\text{g muestra}}$$

$$\% \text{ arenas} = 100 - (\% \text{ limos} + \text{arcillas})$$

Los porcentajes obtenidos, se llevaron al triángulo de textura.

c).- Color: Se determinó por medio de la carta de colores Munsell, esta determinación es muy útil en el estudio de los fenómenos de pedogenésis.

Determinaciones químicas: a) Cationes adsorbidos en el complejo de intercambio. La cantidad de Ca, Mg, K, y Na, adsorbidos; permiten calcular el PSI, valor que sirve para clasificar el suelo según su sodicidad.

Para la determinación de estos cationes, se procedió, en primer lugar a preparar una mezcla con 10 g de suelo, 10 ml de acetato de sodio. En pH 7 y carbón activado. Se tomó una alícuota del filtrado de la mezcla de 10 ml. Se agregó 10 ml de solución Buffer de amonio pH 10, 5 gotas de KCN 2%, 4 gotas de negro de ericromo T y se tituló con EDTA 0.02 N. Esta titulación nos dió los ml de EDTA gastados para calcio y magnesio.

El procedimiento para determinar calcio, sólo se tomó una alícuota de 10 ml del filtrado y se agregó 5 ml de NaOH al 5%, murexida y se tituló con EDTA 0.02 N.

El cálculo se hizo de la siguiente forma:

$$\text{Ca meq/100 g} = \frac{\text{m/de EDTA} \times \text{N} \times 5 \times 100}{\text{g muestra}}$$

$$\text{Mg} = \text{meq/100 g} = \frac{(\text{m/de EDTA para Ca y Mg} - \text{m/de EDTA para Ca}) \times \text{N} \times 5 \times 100}{\text{g muestra}}$$

Nota: Se multiplica por 5 porque se tomó una alícuota de 10 ml de un total de 50 ml.

Para el cálculo de la concentración de K y Na; se procedió a determinar su contenido en el extracto de suelo flamométricamente, para lo cual, se elaboraron curvas patrón de cada elemento, por medio de soluciones de concentraciones conocidas de los mismos elementos y, posteriormente, se calcularon por interpolación en dichas curvas las concentraciones de Na y K; estos valores se sustituyen en las siguientes fórmulas para calcular la relación de adsorción de sodio:

$$RAS = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{++} + Mg^{++}}{2}}}$$

Para determinar el porcentaje de Sodio Intercambiable se utiliza la siguiente fórmula:

$$PSI = \frac{Na^+}{CICT} \times 100$$

b).- Capacidad de intercambio catiónico (CIC).- Esta determinación se realiza por medio de centrifugación, método basado en la saturación del suelo con acetato de sodio, para desplazar todos los elementos en los sitios de intercambio, luego se determina el sodio por flamometría e igual que en la determinación de cationes adsorbidos, la concentración de Na encontrada, se sustituye en la siguiente fórmula:

$$CIC = \frac{(\text{meq/l}) \text{ de sodio en curva} \times \text{dilución} \times 10}{\text{g muestra}}$$

c).- pH: Se utiliza para clasificar los suelos sódicos. El pH se determinó por medio del potenciómetro, en una relación agua suelo 1:1

d).- Conductividad eléctrica específica (CEe) a 25°C mmhos/cm: Esta propiedad se determinó en el extracto de saturación, mediante el transporte de la electricidad que se lleva a cabo por los iones de las sales disueltas, dado que los iones conducen la corriente eléctrica. En el análisis de agua -

La CE se obtuvo con conductímetro y se utiliza para indicar la concentración de los constituyentes ionizados de las soluciones. Está estrechamente relacionada con la suma de cationes o aniones.

También se realizaron los análisis de N_2 , P_2O_5 , K_2O , así como el porcentaje de M.O.

5.2 Método para la obtención de la necesidad de riego.

Se determinó la superficie que es posible regar, de acuerdo al caudal de aguas residuales generadas en la localidad de Zumpango de Ocampo y al uso consuntivo de los cultivos predominantes en la zona.

Para determinar las áreas de riego se ha procedido de la siguiente manera:

1). Se calculó la necesidad de riego (N. R.), con base en la fórmula:

$$NR = ET_{xm} - Pe$$

Donde: Pe = Precipitación efectiva

ET_{xm} = Uso consuntivo mensual

Para determinar Pe se utilizó la siguiente fórmula:

$$Pe = (Po.5) (Cp)$$

Donde: $Po.5$ = Precipitación que tiene una probabilidad de ocurrir de 0.5

Cp = Coeficiente de aprovechamiento que está determinado por la fórmula:

$$Cp = \frac{ET/Po.5}{1.53 + 0.8 (ET/Po.5)}$$

Donde: ET = Evapotranspiración; que está determinado por:

$$ET = 0.77 (Ev)$$

Donde: E_v = Evaporación

Para determinar el uso consuntivo se empleó el método de Norero, para zonas templadas:

$$ET_{xm} = [0.3 + a \left(\frac{t}{tc} \right)^2 \left(1 - \frac{t}{tc} \right)] E_v$$

Donde : a = Índice de área foliar (viene dado en tablas)

t = Intervalo medio en días

tc = Ciclo vegetativo del cultivo

E_v = Evaporación

Los resultados de estas determinaciones se muestran en el Cuadro No.

6.3

VI. RESULTADOS

6.1 Análisis y clasificación de las aguas residuales del lugar.

6.1.1. Resultados de los análisis de agua de riego utilizada en la zona de estudio.

<u>Tipo de agua</u>	<u>Parámetros</u>	
	<u>pH</u>	<u>C.E.(micromhos/cm)</u>
Residual (del Gran Canal)	7.6	1320
Residual (del Gran Canal)	7.0	1320
Residual (del Gran Canal)	7.2	880
Blancas (de pozo profundo)	8.0	605
Residual Municipal (Canal de desagüe de Zumpango)	6.9	1540

Nota: Estos análisis fueron realizados en el Laboratorio de Suelos de Fertimex, por el Ing. Eduardo Villalobos Gallardo, Jefe del Laboratorio de Edafología.

Para complementar el estudio de las propiedades físicas, químicas y -- biológicas del agua de riego de la zona, nos auxiliamos de los valores promedio de diversos parámetros en agua de riego, determinados por la Secretaría de Recursos Hidráulicos S.R.H. y se muestran en la tabla 6.1.1.

TABLA 6.1.1.
CONCENTRACIONES PROMEDIO DE DIVERSOS PARAMETROS
EN AGUA DE RIEGO. (mg/l)

<u>Parámetros</u>	<u>Aguas Negras</u>	<u>Aguas Blancas</u>	<u>Aguas Mezcladas</u>
C.E. (micromhos/cm)	1736.0	711.85	1439.6
Sólidos sedimentables (SSe) ml/l.	5	-	-
Sólidos totales (ST)	1546.0	745.3	1422.0
Sólidos suspendidos totales (SST)	202.67	66.83	114.2
Sólidos disueltos totales (SDT)	1373.2	613.10	1240.4
Coliformes fecales (NMP/100 ml)	3.38×10^8	1.9×10^4	4.05×10^9
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)	171.6	47.57	184.0
Demanda química de oxígeno (DQO)	455.0	133.53	439.0
Detergente (ABS)	8.86	2.52	6.08
N-NH ₃	10.13	3.27	7.72
N-NO ₂	6.90	2.275	6.60
N-NO ₃	0.17	0.43	0.93
P-PO ₄ ³⁻	26.24	5.93	13.31
P-PO ₄ (orto)	9.07	2.975	5.67
Cl ⁻	184.4	103.23	207.0
SO ₄ ⁼	210.35	59.12	153.0
Dureza total	472.3	234.43	298.77
Alcalinidad total	450.2	233.71	459.0
pH	7.71	7.72	7.7
Pb	0.1614	0.0472	0.1302
Hg	0.6026	0.0005	0.0017
Cd	0.0295	0.101	0.0396
Zn	0.540	0.265	0.361
Cu	0.186	0.235	0.124
Ni	0.1025	0.0719	0.143
Fe	2.751	0.735	2.65
Mn	0.1770	0.049	0.29
Cr	0.145	0.0273	0.139
K	51.55	11.17	44.74
Na	326.5	35.85	270.85
Mg	23.8	7.4	16.5
Ca	53.8	7.4	36.7
B	1.31	0.24	1.139
Temperaturas °C	13	-	-
G y A	60	-	-
RAS	52.4	13.2	52.5

Fuente: Reuso del Agua en la Agricultura, la Industria, los Municipios y en la Recarga de Acuíferos. 2a. etapa, Dirección General de Usos del Agua y Prevención de la Contaminación, S.R.H. - D.H.T.A., México, - - D. F., 1975.

Requisitos de tratamiento: Ante el estudio de las propiedades físicas, químicas y biológicas, de las aguas residuales, se puede deducir respecto a las obligaciones legales de control de la contaminación (ver Tabla 6.1.2.) que estas aguas residuales deben sufrir una serie de tratamientos previos antes de ser aplicadas sobre superficies de cultivo.

Estos tratamientos previos, deberán orientarse a la eliminación de los componentes que se encuentran en exceso y deberán ser eficaces, en cuanto a los aspectos de mantenimiento del equilibrio ecológico presente en la zona de aplicación, eficacia nutricional del efluente y respecto a las normas sanitarias que, salvaguarden la salud de las comunidades humanas y animales que residen en la zona de reutilización.

De acuerdo a las características sanitarias que, debe tener un agua residual para aplicarse en riego, es menester que de las aguas residuales de Zumpango sean removidos los excesos de SST, SSe, detergentes, grasas y aceites, coliformes y la DBO como lo evidenció la caracterización de estas aguas.

Con base a las propiedades del suelo, la materia orgánica debe estar presente de una manera significativa en el afluente del tratamiento, al igual -- que los nutrientes: fósforo y nitrógeno, además de que dicho afluente debe tener presencia de oxígeno disuelto, a fin de evitar las zonas de anerobiosis. Por otro lado, los sólidos deben ser reducidos para evitar taponamiento de pozos y los coliformes fecales deben ser estrictamente controlados.

Analizando los requerimientos anteriores, y los diferentes procesos de tratamiento de aguas residuales, seleccionamos el sistema de tratamiento biológico, con base a lagunas de oxidación y lagunas de maduración, en la primera se buscará la reducción de los sólidos en exceso, detergentes, grasas y -- aceites y en una reducción no muy marcada de materia orgánica, al grado de -- que ésta se encuentre presente también en el suelo y de que su estabilización

no alcance la fase nitrogenadas, a fin de que sean los organismos del suelo los que incorporen este nutriente y el fósforo.

En las lagunas de maduración se buscará la remoción de los coliformes totales y fecales a los límites requeridos.

Asimismo, se propone como otra alternativa, la utilización de tanques -- Imhoff, que presenta las ventajas de ocupar poco espacio, su costo es menor - que el de otro dispositivos, su funcionamiento es sencillo, por lo cual ocupa poca mano de obra y es bastante eficiente en el tratamiento de aguas residuales municipales.

Las consideraciones básicas del diseño de las plantas de tratamiento se tratarán en el apartado siguiente.

TABLA 6.1.2.
VALORES MAXIMOS PERMISIBLES EN AGUAS
PARA USO AGRICOLA E INDUSTRIAL

<u>Constituyente o Determinación</u>	<u>Concentración Permisible</u>
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)	100 mg/l
Oxígeno disuelto (OD) (mínimo)	3.20 mg/l
Sólidos Sedimentables (SSe)	1 mg/l
Sólidos disueltos totales (SDT)	Conductividad no mayor 2000 mg/l
Sólidos suspendidos totales (SST)	100 mg/l
pH	6 a 9
Detergentes	.5 mg/l
Grasas y aceites	10 mg/l
Materia flotante	Ausente
Coliformes totales	10,000 número más probable/100 ml.
Turbiedad (unidad de turbiedad Jackson)	Condiciones naturales
Color (Escala Pt-Co)	Condiciones naturales + 10
Temperatura	Condiciones naturales + 2.5 °C
Sustancias Tóxicas	Ninguna sustancia tóxica sola o en combinación con otras estará presente, en concentraciones tales que, -- conviertan el agua del cuerpo receptor en inadecuada para el uso específico a que se destine.
Arsénico	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
Plomo	5.00 mg/l
Selenio	0.05 mg/l

Referencia: Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación de Aguas (SRH - SSA), México, 1975.

TABLA 6.2.

ANALISIS Y CLASIFICACION DE LOS SUELOS DEL LUGAR

Pozo	Prof.(cm)	Color	%			Textura	Da (g/cm ³)	Tipo de Agua
			Arena	Lima	Arcilla			
1	0 - 20	Café obs.	51	15	34	Mig.Arc.Are.	1.10	Agua del
	20 - 40	"	51	20	29	"	1.18	Gran Ca-
	40 - 60	"	47	23	30	"	1.11	nal
2	0 - 20	Café obs.	50	22	28	Mig.Arc.Are.	1.18	Agua del
	20 - 40	"	45	23	32	"	1.17	Gran Ca-
	40 - 60	"	50	23	27	"	1.17	nal
3	0 - 20	Café obs.	50	21	29	Mig.Arc.Are.	1.20	Temporal
	20 - 40	"	48	23	29	"	1.10	
	40 - 60	"	47	22	31	"	0.97	
4	0 - 20	Café obs.	53	20	27	Mig.Arc.Are.	1.04	Agua del
	20 - 40	Café neg.	55	21	24	"	1.08	Gran Ca-
	40 - 60	Café claro	57	24	19	Mic.Arenoso	1.08	nal
5	0 - 20	Café claro	68	18	14	Mig. arenoso	1.12	Agua del
	20 - 40	"	68	22	10	"	1.10	Gran Ca-
	40 - 60	"	70	21	9	"	1.07	nal
6	0 - 20	Café claro	45	31	24	Franco	1.02	Temporal
	20 - 40	"	45	34	21	"	1.07	
	40 - 60	"	45	33	22	"	1.02	
7	0 - 20	Café neg.	47	23	30	Mig.Arc.Are.	1.20	Agua Fre-
	20 - 40	"	47	23	30	"	1.06	ática (Po-
	40 - 60	Café obs.	46	25	29	"	1.06	zo prof)
8	0 - 20	Café obs.	46	23	31	Mig.Arc.Are.	1.20	Agua Fre-
	20 - 40	"	44	27	34	"	1.14	ática (Po-
	40 - 60	"	44	22	34	"	1.11	zo prof)
9	0 - 20	Café obs.	44	25	31	Mig.Arc.Are	1.05	Agua Fre-
	20 - 40	"	44	22	34	"	0.90	ática (Po-
	40 - 60	"	38	23	30	"	1.03	zo prof)
10	0 - 20	Café obs.	28	30	42	Mig. arcilloso	1.16	Agua resi-
	20 - 40	"	28	24	48	Arcilloso	1.03	dual Mun.
	40 - 60	"	26	26	48	"	1.04	Zumpango
11	0 - 20	Café obs.	26	26	48	Arcilloso	1.05	Agua resi-
	20 - 40	"	28	24	48	"	1.03	dual Mun.
	40 - 60	Café obs.	28	28	44	"	0.99	Zumpango
12	0 - 20	Café neg.	34	24	42	Mig. arcilloso	1.15	Agua resi-
	20 - 40	"	24	20	48	Arcilloso	1.03	dual Mun.
	40 - 60	Café obs.	32	20	48	"	1.01	Zumpango

TABLA 6.2.1

DETERMINACIONES QUIMICAS DE SUELOS

Pozo Prof.	pH	C.E.		M.O			Kg/Ha			Cationes Solubles (meq/100g)				
		mmhos/cm	%	NAPROF.	P ₂ O ₅	K ₂ O	Na	K	Ca	Mg	CICT	PSI		
1	0-20	6.9	1.65	2.3	58	201	4 475	5.4	4.3	6.4	7.7	23.8	22.7	
	20-40	7.6	1.21	2.5	63	144	3 161	4.9	2.8	7.3	3.9	18.9	25.9	
	40-60	7.6	1.21	2.3	58	201	2 706	5.4	2.5	7.9	3.3	19.1	28.3	
2	0-20	6.9	0.56	2.3	58	58	3 254	5.0	2.9	6.4	5.6	19.9	25.1	
	20-40	7.4	0.76	2.2	55	58	2 072	5.7	1.9	7.8	5.6	21.0	27.1	
	40-60	7.0	0.63	2.2	55	58	2 376	5.0	2.2	7.5	8.3	23.0	21.7	
3	0-20	6.9	2.28	2.5	63	58	3 267	5.1	2.9	6.8	4.7	19.5	26.1	
	20-40	6.9	1.52	2.5	63	87	3 300	5.0	3.2	6.9	7.0	22.1	22.6	
	40-60	7.1	1.52	2.3	58	87	2 620	4.7	2.9	7.3	4.3	19.2	24.4	
4	0-20	7.8	3.29	2.3	58	259	3 874	6.1	4.0	9.7	2.8	22.6	27.0	
	20-40	8.4	1.39	0.6	15	58	2 706	9.3	2.7	8.2	6.8	27.0	34.4	
	40-60	8.4	1.39	0.6	15	201	3 023	6.1	3.0	8.0	6.5	23.6	25.8	
5	0-20	7.9	2.01	1.0	25	144	4 184	5.6	4.0	9.5	4.5	23.6	23.7	
	20-40	8.2	1.52	1.0	25	58	3 643	6.0	3.5	9.7	5.8	25.0	24.0	
	40-60	8.2	1.77	0.6	15	58	3 161	5.7	3.1	8.6	5.8	23.2	24.6	
6	0-20	8.0	1.27	1.5	38	201	3 709	3.8	3.9	12.7	3.8	24.2	15.7	
	20-40	7.9	0.68	1.4	35	58	2 706	3.8	2.7	12.5	4.5	23.5	16.1	
	40-60	7.9	0.83	1.5	38	58	2 370	3.8	2.5	12.5	3.4	22.2	17.1	
7	0-20	8.0	1.14	1.8	45	58	2 416	9.3	2.1	7.7	3.1	22.2	41.9	
	20-40	8.1	0.89	1.4	35	29	2 006	5.8	2.0	8.0	3.6	19.4	29.9	
	40-60	8.1	0.89	1.4	35	115	3 762	6.0	3.8	8.6	3.6	22.0	27.3	
8	0-20	8.1	1.65	1.9	48	58	2 891	10.1	2.6	6.3	5.5	24.5	41.2	
	20-40	8.3	1.52	1.4	35	115	3 775	10.5	3.5	6.3	5.1	25.4	41.3	
	40-60	8.2	1.77	1.5	38	115	3 353	9.9	3.2	6.2	4.3	23.6	41.9	
9	0-20	8.2	2.01	1.8	45	144	2 587	9.7	2.6	6.9	3.7	22.9	42.3	
	20-40	8.1	3.04	1.4	35	144	1 901	10.9	2.2	8.1	3.5	24.7	44.1	
	40-60	8.1	3.54	1.4	35	115	1 643	11.5	1.7	6.4	5.2	24.8	46.4	
10	0-20	8.1	3.54	2.6	65	288	4 534	10.5	4.1	9.0	5.5	29.1	36.0	
	20-40	8.3	3.04	2.1	53	115	5 227	11.2	5.4	8.9	7.8	33.3	33.6	
	40-60	8.3	2.40	1.8	45	144	4 415	10.9	4.5	9.1	6.7	31.2	34.9	
11	0-20	7.9	3.54	2.5	63	71	4 600	9.5	4.7	9.7	4.6	28.5	33.3	
	20-40	8.1	2.01	2.2	55	73	4 310	9.9	4.4	10.6	4.4	29.3	33.8	
	40-60	8.2	2.01	1.9	48	75	4 244	9.7	4.6	10.0	5.0	29.3	33.1	
12	0-20	8.1	3.29	2.5	63	72	4 415	10.5	4.1	10.4	3.3	28.3	37.1	
	20-40	8.3	3.04	1.9	48	77	4 066	11.1	4.2	9.9	3.6	28.8	38.5	
	40-60	8.4	2.53	1.8	45	74	4 693	11.1	4.9	8.8	5.2	30.0	37.0	

Estos resultados nos permiten clasificar a los suelos como se muestra en las siguientes tablas.

Esta caracterización de los suelos se ha hecho, con base a los rangos de valores utilizados en el Laboratorio de Edafología de Fertimex.

Al analizar los resultados se hace evidente que uno de los principales problemas que se están presentando en estos suelos es la acumulación de sodio adsorbido, en la zona radicular, lo que ocasiona que las fuerzas de atracción de las partículas arcillosas disminuyan mucho y las arcillas tiendan a dispersarse, perdiendo su estructura y restringiendo así el crecimiento normal de las plantas.

TABLA 6.2.2.

CLASIFICACION DE SUELOS DE ACUERDO A LA METODOLOGIA EMPLEADA EN EL LABORATORIO DE EDAFOLOGIA DE FERTIMEX

Pozo Prof. cm.	M.O. (%)			NAPROV. KG/HA			P ₂ O ₅ KG/HA			K ₂ O KG/HA			C.I.C. MEQ/100g		
	Bajo	Medio	Alto	Bajo	Medio	Alto	Bajo	Medio	Alto	Bajo	Medio	Alto	Bajo	Medio	Alto
	0.5-1.0	1.1-1.30	3.1-5.0	12.5-25.0	27.5-75.0	7.75-125.0	8-20	21-50	51-100	751-1200	0-6	6.1-2.5	25.1-		
1	0-20	2.3			58				201	4475				23.8	
	20-40	2.5			63				144	3161				18.9	
	40-60	2.3			58				201	2706				19.1	
2	0-20	2.3			58				58	3254				19.9	
	20-40	2.2			55				58	2072				21.0	
	40-60	2.2			55				58	2376				23.0	
3	0-20	2.5			63				58	3267				19.5	
	20-40	2.5			63				87	3300				22.1	
	40-60	2.3			58				87	2620				19.2	
4	0-20	2.3			58				259	3874				22.6	
	20-40	0.6			15				58	2706					27.0
	40-60	0.6			15				201	3023				23.6	
5	0-20	1.0			25				144	4184				23.6	
	20-40	1.0			25				58	3643				25.0	
	40-60	0.6			15				58	3161				23.2	
6	0-20	1.5			38				201	3709				24.2	
	20-40	1.4			35				58	3706				23.5	
	40-60	1.5			38				58	2370				22.2	
7	0-20	1.8			45				58	2416				22.2	
	20-40	1.4			35			29		2006				19.4	
	40-60	1.4			35				115	3762				22.0	
8	0-20	1.9			48				58	2891				24.5	
	20-40	1.4			35				115	3775					25.4
	40-60	1.5			38				115	3353				23.6	
9	0-20	1.8			45				144	2587				22.9	
	20-40	1.4			35				144	1901				24.7	
	40-60	1.4			35				115	1643				24.8	
10	0-20	2.6			65				288	4534					29.1
	20-40	2.1			53				115	5227					33.3
	40-60	1.8			45				144	4415					31.2
11	0-20	2.5			63				71	4600					28.5
	20-40	2.2			55				73	4310					29.3
	40-60	1.9			48				75	4244					29.3
12	0-20	2.5			63				72	4415					28.3
	20-40	1.9			48				77	4066					28.8
	40-60	1.8			45				74	4693					30.0

TABLA 6.2.3.

CLASIFICACION DE SUELOS

Pozo	Prof. cm.	C.E. (MMHOS/CM)			pH			PSI (%)		
		Bajo 0.5-1.0	Medio 1.1-2.5	Alto 2.6-4.0	Bajo 0-5	Medio 5.1-7.0	Alto 7.1-14	Normal 0 - 15	Sódico 16-25	muy Sod. mayor 25
1	0-20		1.65			6.9		22.7		
	20-40		1.21				7.6			25.9
	40-60		1.21				7.6			28.3
2	0-20	0.56				6.9			25.1	
	20-40	0.76					7.4			27.1
	40-60	0.63					7.0			21.7
3	0-20		2.28			6.9				26.1
	20-40		1.52			6.9			22.6	
	40-60		1.52				7.1		24.4	
4	0-20			3.29			7.8			27.0
	20-40		1.39				8.4			34.4
	40-60		1.39				8.4			25.8
5	0-20		2.01				7.9		23.7	
	20-40		1.52				8.2		24.0	
	40-60		1.77				8.2		24.6	
6	0-20		1.27				8.0	15.7		
	20-40	0.68					7.9		16.1	
	40-60	0.83					7.9		17.1	
7	0-20		1.14				8.0			41.9
	20-40	0.89					8.1			29.9
	40-60	0.89					8.1			27.3
8	0-20		1.65				8.1			41.2
	20-40		1.52				8.3			41.3
	40-60		1.77				8.2			41.9
9	0-20		2.01				8.2			42.3
	20-40			3.04			8.1			44.1
	40-60			3.54			8.1			46.4
10	0-20			3.54			8.1			36.0
	20-40			3.04			8.3			33.6
	40-60		2.40				8.3			34.9
11	0-20			3.54			7.9			33.3
	20-40		2.01				8.1			33.8
	40-60		2.01				8.2			33.1
12	0-20			3.29			8.1			37.1
	20-40			3.04			8.3			38.5
	40-60		2.53				8.4			37.0

TABLA 6.2.3.
 CLASIFICACION DE SUELOS

Fozo	Prof. cm.	C.E. (MMHOS/CM)			pH			PSI (%)		
		Bajo 0.5-1.0	Medio 1.1-2.5	Alto 2.6-4.0	Bajo 0-5	Medio 5.1-7.0	Alto 7.1-14	Normal 0 - 15	Sódico 16-25	muy Sod. mayor 25
1	0-20		1.65			6.9		22.7		
	20-40		1.21				7.6			25.9
	40-60		1.21				7.6			28.3
2	0-20	0.56				6.9		25.1		
	20-40	0.76					7.4			27.1
	40-60	0.63					7.0			21.7
3	0-20		2.28			6.9				26.1
	20-40		1.52			6.9		22.6		
	40-60		1.52				7.1	24.4		
4	0-20			3.29			7.8			27.0
	20-40		1.39				8.4			34.4
	40-60		1.39				8.4			25.8
5	0-20		2.01				7.9		23.7	
	20-40		1.52				8.2		24.0	
	40-60		1.77				8.2		24.6	
6	0-20		1.27				8.0	15.7		
	20-40	0.68					7.9		16.1	
	40-60	0.83					7.9		17.1	
7	0-20		1.14				8.0			41.9
	20-40	0.89					8.1			29.9
	40-60	0.89					8.1			27.3
8	0-20		1.65				8.1			41.2
	20-40		1.52				8.3			41.3
	40-60		1.77				8.2			41.9
9	0-20		2.01				8.2			42.3
	20-40			3.04			8.1			44.1
	40-60			3.54			8.1			46.4
10	0-20			3.54			8.1			36.0
	20-40			3.04			8.3			33.6
	40-60		2.40				8.3			34.9
11	0-20			3.54			7.9			33.3
	20-40		2.01				8.1			33.8
	40-60		2.01				8.2			33.1
12	0-20			3.29			8.1			37.1
	20-40			3.04			8.3			38.5
	40-60		2.53				8.4			37.0

CUADRO No. 6.3
NECESIDADES DE AGUA PARA IRRIGACION DE LOS CULTIVOS RECOMENDABLES PARA LA
ZONA Y DELIMITACION DEL AREA BAJO RIEGO CON LAS AGUAS RESIDUALES DEL LUGAR.

LOCALIDAD: ZUMPANGO DE OCAMPO, ESTADO DE MEXICO

CULTIVO	USO CONSUNTIVO				NECESIDAD DE RIEGO			SUPERFICIE QUE SE PUEDE REGAR			ADMINISTRACION DEL AGUA				
	Ev	a	t	tc	Exm	Po.5	Pe	N.R. (Et _{xm} - Pe)	Gasto	Gasto de agua re- sidual	Superficie que se pue- de regar	Consumo de agua en la - superfi- cie re- gada	Volumen de agua residual acumula- da	Volumen de agua residual exedente	
	cm	días	días	cm/mes	cm	cm	cm	m ³ /Ha	m ³ /mes	Ha	m ³	m ³	m ³	m ³	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	7 - 9							Σ(12)/Σ(11)			11x13	12m+16m-1	12-14		
TRIGO	Ene	11.77	4.8	15	120	4.30	0.29	0.34	3.96	396	230,346	207.75287	82270.138	230.346	148075.86
	Feb	13.61	4.8	45	120	9.83	0.45	0.39	9.44	944	230,346	207.75287	196118.71	378421.86	182303.15
	Mar	19.38	4.8	75	120	19.44	1.10	1.20	18.24	1824	230,346	207.75287	378941.29	412699.15	33707.912
	Abr	20.05	4.8	105	120	15.23	2.69	2.52	12.71	1271	230,346	207.75287	284053.9	264653.9	0
		44.35							4435	921 384					
AVENA	Jun	16.43	4.8	15	150	5.64	11.14	5.18	0.46	46	230,346	445.11304	20475.2	230.346	209870.8
	Jul	13.84	4.8	45	150	8.34	10.50	4.55	3.79	379	230,346	445.11304	168697.84	440216.8	271518.96
	Ags	13.87	4.8	75	150	12.48	8.62	4.23	8.25	825	230,346	445.11304	367218.26	501864.96	134646.7
	Sep	11.89	4.8	105	150	11.95	8.06	3.75	8.20	820	230,346	445.11304	364992.7	364992.7	0
	Oct	11.98	4.8	135	150	8.25	5.03	3.08	5.17	517	230,346	445.11304	230123.44	230.346	222.56
		25.87							2587	11517.30					
CEBADA	Jun	16.43	4.8	15	120	6.00	11.14	5.18	0.82	82	230,346	433.53447	35549.006	230.346	194796.99
	Jul	13.84	4.8	45	120	9.99	10.50	4.55	5.44	544	230,346	433.53447	235837.31	425142.99	189306.68
	Ags	13.87	4.8	75	120	13.91	8.62	4.23	9.68	968	230,346	433.53447	419651.68	419651.68	0
	Sep	11.89	4.8	105	120	9.03	8.06	3.75	5.28	528	230,346	433.53447	228900.92	230.346	1445.08
		21.22							2122	921,384					

CONTINUA CUADRO No. 6.3

LOCALIDAD: ZUMPANGO DE OCAMPO, ESTADO DE MEXICO

CULTIVO	USO CONSUNTIVO							NECESIDAD DE RIEGO			SUPERFICIE QUE SE PUEDE REGAR			ADMINISTRACION DEL AGUA			
	Ev		a		t		tc	Exm	Po.5	Pe	N.R. (Et _{xm} -Pe)	Gasto	Gasto de agua re- sidual	Superficie que se pue- de regar	Consumo de agua en la - superfi- cie re- gada	Volumen de agua residual acumula- da	Volumen de agua residual exedente
	cm	días	días	días	cm/mes	cm	cm	cm	cm	m ³ /Ha	m ³ /mes	Ha	m ³	m ³	m ³	m ³	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
	7 - 9									Σ(12)/Σ(11)			11x13	12m+16m-1	12-14		
BLL	SORGO																
	Feb	13.61	4.8	15	120	4.98	0.45	0.39	4.59	459	230,346	197.60881	90702.443	230.346	139643.56		
	Mar	19.38	4.8	45	120	13.99	1.10	1.20	12.79	1279	230,346	197.60881	252741.66	369989.56	117247.9		
	Abr	20.05	4.8	75	120	20.11	2.69	2.52	17.59	1759	230,346	197.60881	347593.90	347593.90	0		
	May	20.13	4.8	105	120	15.29	4.87	3.80	11.49	1149	230,346	207.75287	227652.52	230.346	3293.48		
		46.46									4646			921,384			
CENTENO	SORGO																
	Dic	9.72	4.8	15	120	17.34	0.50	0.55	16.79	1679	230,346	137.19238	230.346	230.346	0		
	Ene	11.77	4.8	45	120	8.34	0.29	0.34	8.15	815	230,346	137.19238	111811.79	230.346	118534.2		
	Feb	13.61	4.8	75	120	13.65	0.45	0.39	13.2	1320	230,346	137.19238	181093.94	348880.21	187786.27		
	Mar	19.38	4.8	105	120	14.72	1.10	1.20	13.52	1352	230,346	137.19238	185484.09	398132.27	212648.18		
		51.66									5166			921,384			
GIRASOL	SORGO																
	Ags	13.87	4.8	15	120	5.07	8.62	4.23	0.84	84	230,346	472.98973	39731.138	230.346	190614.80		
	Sep	11.89	4.8	45	120	8.58	8.06	3.75	4.83	483	230,346	472.98973	235837.31	425142.99	189305.64		
	Oct	11.98	4.8	75	120	12.02	5.03	3.08	8.94	894	230,346	472.98973	422852.82	422852.82	0		
	Nov	10.71	4.8	105	120	8.13	8.8	3.62	4.51	451	230,346	472.98073	213318.37	230.346	17027.63		
		921,384									921,384						

CONTINUA CUADRO No. 6.3.

LOCALIDAD: ZUMPANGO DE OCAMPO, ESTADO DE MEXICO															
CULTIVO	USO CONSUNTIVO				NECESIDAD DE RIEGO			SUPERFICIE QUE SE PUEDE REGAR			ADMINISTRACION DEL AGUA				
	Ev	a	t	tc	Exm	Po.5	Pe	N.R. ($E_{xm} - Pe$)	Gasto	Gasto de agua re- sidual	Superficie que se pue- de regar	Consumo de agua en la - superfi- cie re- gada	Volumen de agua residual acumula- da	Volumen de agua residual exedente	
	cm	días	días	cm/mes	cm	cm	cm	m^3 /Ha	m^3 /mes	Ha	m^3	m^3	m^3	m^3	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
									7 - 9	$\Sigma(12)/\Sigma(11)$			11x13	12m+16m-1	12-14
	Nov	10.71	6.2	15	360	3.32	8.8	3.62	-0.3	-30	230,346	214.9151	-6447.4529	230.346	236793.45
	Dic	9.72	6.2	45	360	3.74	0.50	0.55	3.19	319	230,346	214.9151	68557.916	467139.45	398581.54
	Ene	11.77	6.2	75	360	6.04	0.29	0.34	5.7	570	230,346	214.9151	122501.6	628927.54	506425.94
	Feb	13.81	6.2	105	360	9.17	0.45	0.34	8.78	878	230,346	214.9151	188695.45	736771.94	548076.49
	Mar	19.38	6.2	135	360	10.37	1.10	1.20	15.17	1517	230,346	214.9151	326026.2	778422.49	452396.29
	Abr	20.05	6.2	165	360	20.16	2.69	2.52	17.64	1764	230,346	214.9151	379110.23	682742.29	303632.06
	May	20.13	6.2	195	360	22.87	4.87	3.80	19.02	1902	230,346	214.9151	408168.51	533918.06	125209.55
	Jun	16.42	6.2	225	360	19.84	11.14	5.18	14.66	1466	230,346	214.9151	315065.53	355555.55	40490.017
	Jul	13.84	6.2	255	360	16.71	10.50	4.55	12.16	1216	230,346	214.9151	261336.76	270836.02	9499.2565
	Ags	13.87	6.2	285	360	15.39	8.62	4.23	16.16	1616	230,346	214.9151	239845.26	239845.26	0
	Sep	11.89	6.2	315	360	10.62	8.06	3.75	6.87	687	230,346	214.9151	147646.67	230.346	82699.33
	Oct	11.98	6.2	345	360	6.44	5.03	3.08	3.36	336	230,346	214.9151	72211.472	313045.33	240833.86

VII. ALTERNATIVAS DE CONDUCCION, TRATAMIENTO Y
DESINFECCION DE LAS AGUAS RESIDUALES DE -
LA LOCALIDAD DE ZUMPANGO

7.1. CONSIDERACIONES BASICAS DE DISEÑO DE PLANTAS DE TRATAMIENTO

Generalidades: La finalidad de las plantas de tratamiento de aguas residuales es convertir el desecho crudo en efluente final que sea aceptable y -- que dentro de los requerimientos que señalan las reglamentaciones gubernamentales. El tratamiento debe también comprender la disposición de los lodos - removidos en el proceso. Para el diseño de una planta se deben considerar, - primeramente, las características de las aguas residuales y después determinar de que manera los requerimientos de calidad del efluente pueden lograrse en forma técnicamente segura y económicamente factible.

Características de las aguas residuales: Según Steel, 1960, los residuos líquidos domésticos provienen de las viviendas, oficinas y negocios. - No incluye aguas residuales industriales y arriba del 99.9% es agua. Del pequeño porcentaje de sólidos, aproximadamente del 40 al 70% son de tipo orgánico.

A los sólidos orgánicos se deben los olores ofensivos y son causa, además de las mayores dificultades para la disposición de los desechos. La tabla 7.1. presenta un análisis promedio de las aguas residuales domésticas -- normales. Las características reales varían dependiendo de si el desecho es "débil" (más diluido) o "fuerte" (más concentrado). Las causas de estas variaciones se deben a las características inherentes a la comunidad, así como fenómenos adicionales, tales como: infiltración de agua subterráneas y adición de aguas pluviales. Si se tiene conocimiento de contribución industrial,

se deben hacer análisis actuales del agua residual que va a ser tratada, para determinar si está presente alguna característica que requiera algún tratamiento especial.

La concentración de sólidos suspendidos, particularmente los sólidos suspendidos sedimentables, determinan el grado de tratamiento necesario y los requerimientos para manejar los sólidos de la planta. Una buena aproximación de la cantidad de sólidos suspendidos presentes en las aguas es de aproximadamente 70 gramos, aportados por persona y por día. Los valores pH indican si hay necesidad de un ajuste químico para neutralizar, ya sea una excesiva alcalinidad, o bien, acidez. A menos que se descarguen aguas residuales industriales o algún desecho poco usual, en los sistemas de drenaje municipal, no hay necesidad de hacer ajuste en el pH. El contenido de grasas y aceites determina la necesidad de contar con desnatadores y dispositivos para el manejo y disposición de las grasas.

Además de las características ya discutidas, al diseñar una planta de tratamiento municipal se tiene que investigar las condiciones de drenaje. Se debe de determinar que cantidad y tipos de desechos arrastran las aguas residuales, para proveer lo necesario, a fin de evitar su ingreso a las unidades de la planta (ejemplo: ramas, botellas, basura, etc). También deberán estimarse las cantidades de arena y hacer el diseño adecuado de los dispositivos para su remoción.

TABLA 7.1.

ANÁLISIS DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS

<u>Parámetros</u>	<u>Concentración</u>
Sólidos Totales (mg/l)	1370
Sólidos Totales Volátiles (mg/l)	600
Sólidos Suspendedos (mg/l)	260
Sólidos Sedimentables (mg/l)	7
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/l)	274
Grasas y Aceites (mg/l)	60
pH	7.2
Coliformes (número más probable)	16×10^8

Fuente: Secretaría de Recursos Hidráulicos, "Sistema Económico de Tratamiento de Aguas Residuales Adecuados a las Condiciones Nacionales". México, D. F., Enero, 1975.

Volumen de las aguas residuales: El caudal del agua residual en el sistema de alcantarillado varía en el transcurso del día. La mayoría de los diseños de procesos de tratamiento se basan en el caudal promedio, resultante de mediciones a diferentes horas del día; elementos tales como obras de interconexión, se diseñan considerando los máximos que se esperan en los flujos, y en el diseño de cámaras desarenadoras y estaciones de bombeo se consideran los flujos máximos y mínimos. De aquí la importancia de conocer el caudal -- que llegará a la planta de tratamiento. Los registros de consumo de agua son una buena base para determinar los caudales promedio de aguas residuales municipales. Puede esperarse que alrededor del 70 al 80% del consumo del agua va ya a la planta de tratamiento. Cuando no se dispone de esa información, se pueden hacer estimaciones basándose en la población servida por el sistema. La práctica común es considerar una aportación de 200 a 300 litros por persona y por día. Realmente la aportación puede ser mayor o menor dependiendo de

las condiciones del sistema colector y de otras diferentes aportaciones que entran al sistema colector y de otras diferentes aportaciones que entran al sistema, tales como desechos industriales o agua pluvial.

Los caudales máximos y mínimos son más difíciles de estimar. Pueden tener una variación de 20 a 400% con respecto al promedio diario para comunidades pequeñas y de 50 a 200% para grandes ciudades (según "American Society of Civil Engineers and Water Pollution Control Association", 1967).

El criterio que utiliza la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH) para el cálculo de caudales máximos es el de Harmon, que establece:

$$F_{\max} = F_{\text{med}} \left(1 + \frac{14}{4 + \sqrt{P}} \right)$$

Donde: F_{\max} = Caudal máximo

F_{med} = Caudal medio

P = Población en miles de habitantes

Para caudales mínimos, se considera un 50% de caudal promedio ($F_{\min} = 0.5 F_{\text{med}}$).

Período de diseño: La vida media de equipo y/o instalación, se tendrá que seleccionar al principiar el trabajo de diseño, puesto que esto determina la vida del servicio y los requerimientos de capacidad del tratamiento. La capacidad de tratamiento se basa en los datos de población actual, más el crecimiento anticipado de población. Lo normal es diseñar para una vida útil que va de 5 a 15 años y el período de diseño promedio en México es de 10 años.

El período de diseño de 5 a 10 años, no necesariamente se aplica a todas las partes de la planta. La mayoría de los canales hidráulicos y unidades que no pueden agrandarse fácilmente se tendrán que diseñar para dar servicio por un tiempo mayor. Las estaciones de bombeo se construyen con espacio

para instalar bombas adicionales, con objeto de manejar caudales futuros (según American Society of Civil Engineers and Water Pollution Control Association, 1967).

7.2. SELECCION DE PROCESOS

Plantas de tratamiento exclusivamente para aguas residuales municipales:

Las aguas residuales municipales, en la ausencia de aguas residuales industriales, presentan características que pueden definirse mediante un conjunto de parámetros más o menos constante. Sin embargo, los niveles o concentraciones de esos parámetros varían de una comunidad a otra, dependiente entre otros factores de:

La condición del sistema de drenaje.

El grado de que incidan al sistema las aguas pluviales y la infiltración de aguas freáticas.

La naturaleza de la comunidad servida.

Las características o parámetros que se presentan en las aguas residuales municipales y que están influenciados por los anteriores factores, se pueden remover de acuerdo a lo siguiente:

Objetos voluminosos y diversos: Muchos objetos que causan problemas en las plantas de tratamiento entran a los sistemas de drenaje obstaculizando sus operaciones normales, por ejemplo: papel, trapos y objetos varios como troncos y piezas de madera, animales muertos, botellas y recipientes de plástico, que provienen de las casas, pozos de inspección abiertos, sistemas de drenaje combinado y descarga intencional por individuos. Estos objetos causan daños y bloqueos cuando llegan a la planta de tratamiento, por lo que, normalmente se colocan rejillas de barras y/o trituradores para removerlos y/o reducirlos en su tamaño. Dependiendo de la disponibilidad de la mano de

obra y de la cantidad de material cribado esperado, la limpieza de las rejillas se podrá hacer manual o con equipo automático.

Arena: La arena entra a los sistemas de drenaje, a través de las juntas y rupturas en los tubos de drenaje, a través de la entrada de agua pluvial en los pozos de inspección, ya sea porque estén averiados o destapados y también por los sistemas de drenaje combinados. Por lo tanto, dependiendo de las condiciones del sistema de drenaje, la cantidad de arena recolectada puede variar significativamente.

Desde el punto de vista de la eficiencia en la remoción de arena, es preferible utilizar cámaras desarenadoras aireadas. Sin embargo, no es frecuentemente factible seleccionar un sistema aireado, a menos que, los compresores de aire se requieran en otro tratamiento, por ejemplo: el tratamiento secundario. Por lo tanto, para la mayoría de las plantas de tratamiento primario, donde el aire comprimido no se utiliza en ningún otro lado, se prefieren cámaras desarenadoras de sedimentación simple.

Para plantas de tratamiento pequeñas (con capacidad para menos de 40 000 habitantes aparentes), se puede considerar la limpieza manual de las cámaras desarenadoras, previendo las unidades adicionales necesarias para la operación. Para plantas mayores o donde se desea más automatización, es conveniente considerar la remoción mecánica.

Bombeo del influente: Idealmente se prefieren dos tipos de sistemas de bombeo en la mayoría de las plantas de tratamiento municipal:

Bombas horizontales en estaciones con pozo húmedo y seco.

Bombas espirales.

Las bombas verticales no se utilizan frecuentemente, a causa de los problemas de alineamiento asociados con el largo del eje vertical. En casos donde el espacio es limitado o el costo de construcción de un pozo seco es inaceptable, se justifica el uso de bombas verticales.

Sólidos sedimentables: La elección del proceso para remover los sólidos sedimentables tiene la influencia directa de:

Costos

Disponibilidad de terreno

Requerimientos de tratamientos adicionales o al futuro

Consideraciones de estética

Cuando se tiene el área suficiente de terreno con las condiciones necesarias y las limitaciones ambientales y de estética no son demasiado estrictas, el método de tratamiento más conveniente y de más bajo costo es el de la laguna de estabilización, seguida de la descarga directa del efluente a algún cuerpo de agua o a terrenos de irrigación. Donde el terreno es limitado se puede utilizar, ya sea, sedimentador con digestión separada de lodos o bien tanques Imhoff.

Se deberá considerar, seriamente, la selección de sedimentadores circulares para minimizar el costo y los problemas de mantenimiento, en el caso de que el área requerida de sedimentación sea mayor de 45 metros cuadrados; cuando el área sea menor de 45 metros cuadrados o cuando la disponibilidad de terrenos es un problema, se debe considerar el uso de tanques rectangulares, construidos con muros comunes, en caso de requerirse dos o más unidades.

Los tanques Imhoff son bastante aceptables para los sistemas municipales que sirven a poblaciones de 20 000 habitantes o menos.

Grasas, aceites y material flotante: Para la gran mayoría de los tratamientos municipales, el equipo para la remoción de natas, usualmente instalado, tanto en sedimentadores circulares como en rectangulares son adecuados para utilizarse en el tratamiento de aguas residuales municipales con niveles normales de material flotante y grasas y aceites. Dependiendo del tamaño de instalación, cantidad de sobrenadante o natas esperadas y disponibilidad de mano de obra, el dispositivo puede ser manual o automático.

Para lagunas o tanques de oxidación, cualquier nata o espuma acumulada - puede removerse periódicamente, por medios manuales o mecánicos. Las obras - de salida de las lagunas deberán equiparse con mampara, con objeto de evitar que el material sobrenadante salga de la laguna con el efluente.

Desinfección: Aunque la ozonización se practica en algunas plantas grandes de tratamiento, la cloración es la técnica de desinfección más práctica y económica. La elección del sistema de cloración, cloro líquido contra otros tipos de compuestos clorados, es una decisión económica. En la mayoría de -- los casos el cloro líquido es lo más práctico y recomendable.

Disposición de lodos: Donde hay suficiente disponibilidad de terrenos y donde los requerimientos estéticos o ambientales no están limitados, la aplicación de los lodos digeridos a terrenos, es bastante satisfactoria. En realidad, el enriquecimiento de la tierra puede ser significativo con los lodos cuando se aplican a terrenos de cultivo.

Donde no hay disponibilidad de terreno o los requerimientos estéticos o ambientales lo requieran, los lodos digeridos tendrán que secarse en lechos de arena o por otro medio y disponerlos adecuadamente.

Resumen: Los puntos antes citados que, por supuesto, tienden a simplificar la selección del "mejor" proceso de tratamiento, se resumen en la tabla 7.2. La información dada en esta tabla se usó como una guía, pero - no es una regla fija.

TABLA 7.2.

RESUMEN DE ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO

<u>Concepto</u>	<u>Influencia en la selección de los procesos de tratamiento</u>
1. Remoción de objetos voluminosos y diversos.	<p>A. Si se presentan solamente objetos pequeños, tales como ramas, trapos y bolsas de plástico; usar:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Rejillas con limpieza mecánica, aberturas de 2.5 cm entre barras. - Rejillas de limpieza manual con aberturas de 2.5 cm entre barras si hay suficiente mano de obra. - Triturador con desviación a rejillas don de la disposición de material cribado es un problema. <p>B. Si se presentan objetos grandes, tales como leños, botellas y recipientes de plásticos, instalar antes de las rejillas una rejas para basura con aberturas entre barras de 5 cm; de limpieza manual con rastrillos.</p>
2. Remoción de arena	<p>Instalación de cámara de sedimentación de arena con:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Remoción manual para plantas que sirvan a menos de 40 000 habitantes. - Equipo mecánico de remoción en plantas mayores.
3. Instalación de estaciones de bombeo para el influente.	<p>A. Considerar el uso de bombas espirales si:</p> <ul style="list-style-type: none"> - No está limitada la disponibilidad de espacio. - La altura total requerida por las bombas no es excesiva. - Las rejillas, cámaras desarenadoras, necesitan localizarse después de las bombas.

- B. Usar bombas horizontales con pozos húmedos y secos si;
 - Existe espacio para el pozo húmedo y para el seco.
 - El costo de este tipo de dispositivo es adecuado.
 - No hay peligro de que el pozo seco se inunde.
 - C. Usar bombas verticales con pozos húmedos y secos si;
 - Existe espacio para el pozo húmedo y para el seco.
 - La distancia vertical entre los motores y las bombas no es excesiva.
 - D. Usar bombas verticales si;
 - No existe espacio para el pozo seco.
 - La distancia vertical entre el motor y la bomba no es excesiva.
4. Remoción de sólidos sedimentables.
- A. Usar un sistema de Tanques Imhoff en el caso donde;
 - Posteriormente no se piense en un tratamiento secundario en un futuro cercano.
 - B. Usar sedimentadores rectangulares para áreas menores de 45 m^2 y donde;
 - Se tenga terreno limitado.
 - El costo de los sedimentadores circulares no sea favorable.
 - C. Usar sedimentadores circulares para áreas mayores de 45 m^2 .
 - D. Usar un tanque de oxidación en los casos donde;
 - Se tenga terreno disponible.
 - Este método sea ambientalmente aceptable.
5. Remoción de grasas y aceites.
- A. Si existen concentraciones elevadas de grasas y aceites usar;
 - Equipo de recolección mecánica en los se-

dimentadores rectangulares y circulares.

B. Si los problemas de grasas y aceites no son frecuentes usar;

- Tubería ranurada para sedimentadores rectangulares.

- Equipo de recolección mecánica para sedimentadores circulares.

Igual que para grasas y aceites.

6. Remoción de materia flotante.

7. Desinfección.

A. Para pequeñas plantas, donde no se justifican económicamente una sofisticada alimentación de cloro, usar soluciones de hipoclorito de sodio o calcio con 15 minutos de retención en cámaras de contacto.

B. Para plantas grandes, usar cloro líquido o gaseoso, con 15 minutos de retención en cámaras de contacto.

8. Disposición de lodos.

A. Donde no exista restricción de terrenos y los requerimientos estéticos no sean severos, considerar;

- Lagunas anaerobias y posteriormente aplicación a terrenos o para relleno de terrenos.

- Digestión anaerobia con posterior aplicación a terrenos.

B. Donde exista restricción de terreno y los requerimientos estéticos no sean severos, considerar;

- Digestión anaerobia seguida por lechos de secado y relleno de suelos con los lodos secos.

C. Donde el terreno sea relativamente escaso o los requerimientos estéticos sean relativamente severos, considerar;

- Digestión anaerobia seguida por filtración al vacío, a presión o de bandas o centrifugación, con relleno de terrenos.

7.3. ALTERNATIVA I, TANQUE IMHOFF

Diseño de plantas de tratamiento: (Tratamiento Primario -Tanque Imhoff- con aplicación de lodos a terrenos de cultivo):

Datos considerados:

Población 21 165 habitantes en 1986

Aportación por habitante 350 litros/día

Caudal máximo = Fmax Calculado según el criterio de Harmon

$$F_{\max} = F_{\text{med}} \left(1 + \frac{14}{4 + \sqrt{P}} \right)$$

Donde: Fmax = Caudal máximo

Fmed = Caudal medio

P = Población en miles de habitantes

Fmin = 0.5 Fmed

Caudal mínimo = Fmin

Carga estática para el siste-

ma de bombeo Se desconoce

Sólido sedimentables totales 180 mg/l(21)

1). Determinación de población futura y el caudal de agua residual:

Población futura para un período de diseño de 10 años:

Calculado con base al modelo de crecimiento poblacional "J"

$$N = N_0 e^{ct}$$

Donde: N = Población final

N₀ = Número inicial de habitantes

c = constante de crecimiento poblacional (0.02757)

t = Período (años de N₀ a N) = 10 años

Población futura = (21 165) e (0.02757) (10) = 27 884 habitantes

Caudal promedio diario:

$$\text{Presente (1986)} = (21,165) (350 \text{ lts}) = 7'407,750 \text{ lts/día} \\ = 7,407 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$\text{Futuro (1996)} = (27,884) (350 \text{ lts}) = 9'759,400 \text{ lts/día} \\ = 9,759 \text{ m}^3/\text{día}$$

Por lo tanto:

$$\text{El caudal máximo futuro} = 9,759 \left(1 + \frac{14}{4 + \sqrt{27,884}}\right) = 24,481 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$\text{El caudal mínimo futuro} = (0.5) (9,759) = 4,879 \text{ m}^3$$

2). Capacidad de la estación de bombeo:

Este parámetro no se determinó, debido a que no se cuenta con la información suficiente sobre la ubicación específica de la planta.

3). Dispositivos para cribado:

Rejillas y canal de entrada

Velocidad en el canal 60 cm/seg a flujo normal

90 cm/seg a flujo máximo

Por tanto; el área A del canal será la mayor de las áreas, según la ecuación 3.4.3.1.

$$A = \frac{F}{V}$$

Donde: F = Promedio diario (futuro) = 9,759 m³/día = 0.11295 m³/seg

$$A = (\text{normal}) = \frac{0.11295 \text{ m}^3/\text{seg}}{0.60 \text{ m}^3/\text{seg}} \\ = 0.18825 \text{ m}^2$$

$$F_{\text{max}} = (\text{futuro}) = 24,481 \text{ m}^3/\text{día} = 0.28334 \text{ m}^3/\text{seg} \\ = 0.28334 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$A = (\text{máxima}) = 0.90 \text{ m/seg} = 0.31482 \text{ m}^2$$

El ancho mínimo del canal deberá ser de 0.6 metros y puesto que la longitud de las barras no deberá exceder de 2 metros, el tamaño de las barras seleccionadas es de 0.8 cm de espesor por 5 cm de ancho. Utilizando un espacio entre barras de 2.5 cm, la eficiencia de las cribas según referencia 21), es 77%.

Por tanto, el incremento neto de área a área "humeda" es:

$$\frac{0.31482 \text{ m}^2}{0.77} = 0.40886 \text{ m}^2$$

0.77

En la práctica se ha establecido que la longitud de las barras deberá de extenderse 25 cm sobre el nivel máximo del agua.

Profundidad máxima aproximada del flujo:

$$A = b \times h$$

Donde: A = Área del canal

b = Ancho del canal

h = Profundidad del canal

Entonces,

$$h = \frac{A}{b} = \frac{0.40886 \text{ m}^2}{0.6 \text{ m}} = 0.68143 \text{ m}$$

b 0.6 m

Para asegurar velocidades adecuadas a flujos bajos se incorpora un canal semicircular en el fondo del canal, por lo tanto, el área del canal semicircular será:

$$\text{Caudal } F \text{ mínimo} = 4,879 \text{ m}^3/\text{día} = 0.05647 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$A = 0.60 \text{ m/seg} = 0.09412 \text{ m}^2 = 941.2 \text{ cm}^2$$

y el diámetro del canal semicircular requerido es:

$$D = \sqrt{8A} = \sqrt{8 \times 941.2} = 48.95657 \text{ cm}$$

Puesto que los flujos son comparativamente pequeños, comparados con flujos originados en grandes ciudades, deben emplearse rejillas de limpieza manual.

Se asume un canal de 0.6 metros de ancho por 0.9 metros de profundidad.

La cantidad de material cribado según la tabla 3.1.2 para aberturas de - 2.5 cm es $22 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{m}^3$ de flujo, por lo tanto, para caudales futuros promedios, la cantidad será de:

$$9,759 \text{ m}^3/\text{día} \times 22 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{m}^3 = 0.2147 \text{ m}^3/\text{día}$$

4). Cámara desarenadora: El ancho W de la cámara (capítulo 3.2.5) se mantiene igual que el ancho del canal de entrada 0.6 m. Puesto que los flujos son variables, será necesario controlar la velocidad de acceso a la cámara con un vertedor proporcional. El mantenimiento de una velocidad constante de 30 cm/seg \approx 25% se logrará por el uso de tal vertedor para rango total de flujos. Conservadoramente, la longitud de la cámara se determina a partir de la velocidad máxima, tirante máximo y las temperaturas más bajas.

De la tabla 3.2.1. la velocidad de sedimentación a 10 °C (ya que en la zona de estudio la temperatura más baja es de 11.1 °C) es 2.1 cm/seg y de la ecuación 3.4.7. se tiene:

$$L = \frac{H}{u} \times V$$

Donde: L = Largo teórico de la cámara

H = Tirante hidráulico

u = Velocidad de sedimentación de las arenas

V = Velocidad del flujo (0.30 m/seg)

$$L = 0.68143 \text{ m} \quad (0.30 \text{ m/seg} \times 1.25) = 12.16839 \text{ m}$$
$$0.021 \text{ m/seg}$$

Debido a las turbulencias de la entrada y salida, la longitud deberá incrementarse un 40%. (21)

$$L' = L \times 1.4$$

Donde: L' = Largo de diseño de la cámara

L = Largo teórico de la cámara

$$L^4 = 12.16839 \text{ m} \times 1.4 = 17.03575 \text{ m}$$

Dado que normalmente la cantidad de arenas en las aguas residuales varía de un rango de 0.01 a 0.06 m³ por cada 1 000 m³ de agua residual (6). Para el diseño se previene un volumen de almacenamiento de arenas en el flujo de la cámara de 0.06 m³ por 1 000 m³ de aguas de desecho.

Si la arena se extrae cada 2 días, este volumen será de:

$$(2 \text{ días}) (0.06 \text{ m}^3) \frac{9,759 \text{ m}^3/\text{día}}{1\,000 \text{ m}^3} = 1.17108 \text{ m}^3$$

y la profundidad del canal será : 0.10 m

Tanque Imhoff (Cámara de sedimentación): Considerando un tiempo de retención mínimo en la cámara de sedimentación de 2 horas, según el inciso 3.4.4.

2. y la figura del mismo número, el volumen requerido de dicha cámara es:

$$V_s = F_{med} \times t$$

Donde: V_s = Volumen parcial de la cámara de sedimentación

F_{med} = Caudal promedio diario (futuro)

t = Período de retención en la cámara

Entonces,

$$V_s = 9,759 \text{ m}^3/\text{día} \times 2 \text{ hrs} \times 24 \text{ hrs} = 813.25 \text{ m}^3 = 813 \text{ m}^3$$

1 día

Carga superficial recomendada: $q = 24 \text{ m}^3/\text{día}/\text{m}^2$

$$\begin{aligned} \text{Area de la cámara de sedimentación: } A_s &= \frac{9,759 \text{ m}^3/\text{día}/\text{m}^2}{24 \text{ m}^3/\text{día}/\text{m}^2} \\ &= 406.625 \text{ m}^2 = 407 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Dimensiones de la cámara de sedimentación: Asumiendo una relación de largo : ancho, $(L_s/W_s) = 5$, y que el área de la cámara de sedimentación es:

$A_s = L_s \times W_s = 406.625 \text{ m}^2$. Entonces resolvemos este sistema de ecuaciones -- por igualación para determinar las dimensiones de la cámara de sedimentación:

$$Ls \quad \quad \quad Ls \times Ws = 406.625 \text{ m}^2$$

$$Ws = 5 \quad \quad \quad Ls = \frac{406.625 \text{ m}^2}{Ws}$$

$$Ls = 5 Ws$$

Entonces, igualando los valores de Ls:

$$5 Ws = \frac{406.625 \text{ m}^2}{5}$$

$$Ws^2 = \frac{406.625 \text{ m}^2}{5}$$

$$Ws = \frac{406.625 \text{ m}^2}{5}$$

$$Ws = 9.01804 \text{ m} = 9 \text{ m}$$

Conociendo el valor de Ws, sustituimos en Ls - 5 Ws, entonces,

$$Ls = 5 (0.018) = 45.09019 \text{ m} = 45$$

Como conocemos el volumen, el largo y el ancho de la cámara, podemos ahora obtener la altura de ésta por medio de la siguiente ecuación:

$$Vs = Ls \times Ws \times Ds$$

Donde: Vs = Volumen de la cámara de sedimentación

Ds = Altura de la cámara de sedimentación

Ls = Largo de la cámara de sedimentación

Ws = Ancho de la cámara de sedimentación

Entonces,

$$Ds = \frac{Vs}{Ls \times Ws} = \frac{813.25 \text{ m}^3}{45.09019 \text{ m} \times 9.01804 \text{ m}} = 1.99 \text{ m} = 2 \text{ m}$$

La altura total hasta la ranura se determina con la siguiente ecuación:

$$D = D_F + Ds$$

Donde: D = Altura total de la cámara de sedimentación

D_F = Altura del fondo inclinado de la cámara

Ds = Altura de la cámara de sedimentación

Considerando la pendiente del fondo como = 45°

$$\text{Obtenemos: } \text{tg} = D_F$$

$$\text{tg} = W_s/2$$

Despejamos D_F :

$$D_F = \frac{W_s}{2} \quad \text{tg } 45^\circ = \frac{9.01804 \text{ m}}{2} \times 1 = 4.50902 \text{ m} = 4 \text{ m}$$

Altura total hasta la ranura = $D_F + D_s = 4.509 \text{ m} + 2 \text{ m} = 6.509 \text{ m} = 6 \text{ m}$

El volumen total de la cámara de sedimentación es:

$$V_t = V_s + V_f$$

Donde: V_t = Volumen total de la cámara de sedimentación

V_s = Volumen parcial de la cámara de sedimentación

V_f = Volumen del fondo de la cámara de sedimentación

Calculamos:

$$V_f = \frac{W_s \times D_f \times L_s}{2} = \frac{9.01804 \times 4.50902 \text{ m} \times 45.09019 \text{ m}}{2} = 916.774042 \text{ m}^3$$

Entonces,

$$V_t = 813.25 \text{ m}^2 + 916.74042 \text{ m}^3 = 1,729.9904 \text{ m}^3$$

Debido que el volumen de la cámara se incrementó en 916.74042 m^3 , el tiempo total de la retención también se verá incrementado:

Dado que: $V = F \times T$

$$\text{Entonces, } T = \frac{V}{F} = \frac{1729.9904 \text{ m}^3}{9759 \text{ m}^3/\text{día} \times \text{día} / 24 \text{ hrs}} = 4.25 \text{ hrs}$$

En conclusión, las dimensiones de la cámara de sedimentación serán las siguientes:

Pendiente del fondo de la cámara = 45°

Longitud de la cámara $L_s = 45 \text{ m}$

Ancho de la cámara $W_s = 9 \text{ m}$

Altura de la cámara $D_s = 2 \text{ m}$

Altura del fondo de la cámara	$D_f = 4.5 \text{ m}$
Altura total hasta la ranura	$D = 6.5 \text{ m}$
Volumen parcial de la cámara	$V_s = 812 \text{ m}^3$
Volumen del fondo de la cámara	$V_f = 917 \text{ m}^3$
Volumen total de la cámara	$V_t = 1,730 \text{ m}^3$
Tiempo total de retención	$T = 4.25 \text{ hrs}$
Area de la cámara	$A_s = 407 \text{ m}^2$

Cámara de natas: Adoptando que el área de ventilación sea de 25% de la área superficial al total del tanque, el 75% restante, corresponde al área superficial de sedimentación. De ahí que: Área total $\frac{407 \text{ m}^2}{0.75} = 542.666 \text{ m}^2$
 $= 543 \text{ m}^2$

Y dado que:

$$A_t = L_t \times W_t$$

Donde: A_t = Área total del tanque

L_t = Longitud del tanque

W_t = Ancho del tanque

Entonces,

$$L_t \times W_t = 542.666 \text{ m}^2$$

$$W_t = \frac{542.666 \text{ m}^2}{45.09019 \text{ m}} = 12.035 \text{ m}$$

$$45.09019 \text{ m}$$

Se asume $W_t = 12.83 \text{ m}$ para permitir un ancho mínimo de 0.40 m para ventilación de gas sobre cada lado de la cámara de sedimentación.

Borde libre de la cámara de natas $H = 0.5 \text{ m}$ (según inciso 3.4.4.2.)

Cámara de digestión: Asumiendo que la cámara de digestión deberá de tener una capacidad de 50 litros por habitante, el volumen de la cámara de digestión será:

$$V_D = 50 \text{ l/hab} \times 27,884 \text{ hab} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000} = 1,394.2 \text{ m}^3$$

Es conveniente que la cámara se componga de 3 tolvas, lo que hace que cada una tenga una longitud de 15 m.

Si la pendiente es de 30° ($\theta_2 = 30^\circ$), la profundidad de la tolva (D_H) será:

$$\text{Tg } \theta_2 = \frac{D_H}{Wt/2}$$

$$D_H = \text{Tg } \theta_2 \left(\frac{Wt}{2} \right) = 0.57735 \left(\frac{12.83 \text{ m}}{2} \right) = 3.7037 \text{ m}$$

Asumiendo que la dimensión del fondo del recipiente es $B = 0.6 \text{ m}$, (según inciso 3.4.5.3), entonces la pequeña cúspide de la pirámide se puede despreciar. Por lo tanto, el volumen de cada tolva (volumen de una pirámide) será:

$$V_H = \frac{1}{3} Wt \frac{L_t}{3} D_H$$

Donde: V_H = Volumen de la tolva

D_H = Profundidad de la tolva

L_t = Longitud del tanque

$$V_H = \frac{1}{3} 12.83 \text{ m} \frac{45.09019 \text{ m}}{3} 3.7037 \text{ m} = 238.0685 \text{ m}^3$$

La capacidad de las tres tolvas es de 714.2055 m^3

El volumen requerido arriba de las tolvas está determinado por la siguiente ecuación:

$$V = V_D - V_H + V_s$$

Donde: V = Volumen arriba de las tolvas

V_D = Volumen de la cámara de digestión

V_H = Volumen de las tolvas

V_s = Volumen de la cámara de sedimentación

$$V = 1,394.2 \text{ m}^3 - 238.1 \text{ m}^3 + 1,730 \text{ m}^3 = 2,886.1 \text{ m}^3$$

$$\text{Area} = L_t \times W_t = 45.09019 \text{ m} \times 12.83 \text{ m} = 578.507 \text{ m}^2$$

Profundidad = $D_s + D_f$, se obtiene despejando de la siguiente ecuación:

$$V = (W_t) (L_t) (D_s + D_f)$$

Donde: V = Volumen arriba de las tolvas

W_t = Ancho del tanque

L_t = Longitud del tanque

D_s = Profundidad de la cámara de sedimentación

D_f = Profundidad del fondo de la cámara de sedimentación

Despejando:

$$D_s + D_f = \frac{V}{W_t (L_t)} = \frac{2,886.1 \text{ m}^3}{578.507 \text{ m}^2} = 4.9888 \text{ m} = 5 \text{ m}$$

Profundidad total del agua:

$$D = D_s + D_f + D_H = 4.989 \text{ m} + 3.704 \text{ m} = 8.693 \text{ m}$$

Resumiendo, las dimensiones de la cámara de digestión son las siguientes:

Volumen de la cámara $V_D = 1,394.2 \text{ m}^3$

Número de tolvas = 3

Longitud de las tolvas = 15 m

Pendiente de las tolvas = 30°

Profundidad de las tolvas $D_H = 3.7 \text{ m}$

Fondo del recipiente $B = 0.60 \text{ m}$

Volumen de cada tolva $V_H = 238.07 \text{ m}^3$

Borde libre de la cámara de natas $H = 0.5 \text{ m}$

De lo anterior, resulta:

Altura del tanque Imhoff = $D + H$

$$D + H = 8.693 \text{ m} + 0.5 \text{ m}$$

$$= 9.193 \text{ m}$$

Longitud total Lt = 45.09 m
Ancho total Wt = 12.83 m

Desinfección: Dosificación de acuerdo con la ecuación:

$$Q = F \times c / 1000$$

Donde: Q = Velocidad de alimentación del cloro (kg/día)

F = Caudal promedio de agua residual (m³/día)

c = Dosificación de cloro (mg/l); se asumen una dosificación
20 mg/l

Por lo tanto:

$$Q = \frac{9.759 \times 20}{1000} = 195.18 \text{ kg/día}$$

Cámara de contacto: El contacto mínimo recomendado a caudal máximo es -
de 20 minutos:

Por lo tanto:

$$24,481 \text{ m}^3/\text{día} \times 20 \text{ min} = 340.01 \text{ m}^3/(\text{en 20 minutos})$$

Manejo de lodos: Disposición para aplicación a terrenos de cultivo.

La cantidad de lodo que se ha distribuido, depende de:

Caudal diario promedio = 9,759 m³/día

Sólidos sedimentables totales = 180 mg/l

Contenido de humedad del lodo extraído
de la cámara de digestión = 90%

La cantidad de lodo extraído, es,

Por lo tanto:

$$9,759 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \times 180 \frac{\text{mg}}{\text{l}} \times \frac{1000 \text{ l}}{\text{m}^3} \times \frac{1 \text{ Kg}}{10^6 \text{ mg}} \times \frac{100}{100} = 17,566.2 \text{ kg.}$$

Se recomienda una velocidad de aplicación entre 2 a 9 kg/m² (inciso 3.4.7.4.)

Se asume una aplicación de lodos, a razón de 5 kg/m².

El área de terreno requerida diariamente es,

Por lo tanto:

$$\frac{17,566.2 \text{ kg}}{5 \text{ kg/m}^2} = 3,513.6 \text{ m}^2$$

7.4. ALTERNATIVA II, LAGUNA DE OXIDACION

Tratamiento a base de lagunas de oxidación. Se asume que no se remueven lodos de las lagunas.

Datos considerados:

Población futura año de 1996)	= 27,884 habitantes
Aportación por habitante	= 350 l/día
DBO influente	= 274 mg/l
Caudal diario promedio	= 9,759 m ³

Se asumen las condiciones de control para el mes frío, que es en enero, con una temperatura promedio de 11.1 °C:

$K = 0.24$ (según la tabla 3.4.4.3.a.)

Tratamiento preliminar y desinfección: El criterio y la secuencia a seguir para el cálculo de estos conceptos son los mismos que se utilizaron para la Alternativa I.

Lagunas: El diseño de las lagunas está basado en la ecuación 3.4.4.3. Se asumen tres lagunas en serie y como aproximación a priori, que la primera - laguna remueve 70% de DBO_5 .

Primera laguna: El tiempo de retención (t) se obtiene a partir de la ecuación 3.4.4.3.

$$Y_1 = \frac{Y}{kt + 1}$$

Donde: $Y = DBO_5$ del influente (274 mg/l)

$Y_1 = DBO_5$ del efluente 274 mg/l - (274 mg/l x 0.7) = 82.2 mg/l

$k =$ Coeficiente de reacción (0.24/día)

$t =$ Período de retención para la laguna

Sustituyendo en la ecuación:

$$82.2 \text{ mg/l} = \frac{274 \text{ mg/l}}{(0.24/\text{día}) t + 1}$$

Despejando t, tenemos:

$$t = \frac{274 \text{ mg/l} - 82.2 \text{ mg/l}}{82.2 \text{ mg/l} (0.24/\text{día})} = \frac{191.8 \text{ mg/l}}{19.73 \text{ mg/l/día}} = 9.7 \text{ días} = 10 \text{ días}$$

Se asume una profundidad = 1.20 m

Volumen = 10 día x 9,759 m³/día = 97,590 m³

Area superficial = $\frac{97,590 \text{ m}^3}{1.20 \text{ m}}$ = 81,325 m²

Carga orgánica a la laguna = 27,884 hab x 350 l/hab x 274 mg/l x $\frac{1 \text{ kg}}{10^3 \text{ mg}}$

$$= 2,674.07 \text{ kg/día}$$

$$\text{Carga superficial aplicada} = \frac{2,674.07 \text{ kg/día}}{81.325 \times 1000 \text{ m}^2} = 32.88 \text{ kg/1000 m}^2/\text{día}$$

$$\text{Efluente de la laguna} = (1.00 - 0.70) (274 \text{ mg/l}) = 82 \text{ mg/l}$$

Segunda laguna: Se recomienda un tiempo de retención (t) no menor de 7 - días.

$$\text{Efluente de la laguna} = \frac{82 \text{ mg/l}}{(0.24/\text{día}) (7 \text{ días}) + 1} = 31 \text{ mg/l}$$

$$\text{Eficiencia de la laguna} = \frac{(82 \text{ mg/l} - 31 \text{ mg/l})}{82 \text{ mg/l}} \times 100 = 62\%$$

$$\text{Eficiencia de la laguna 1 + laguna 2} = \frac{(274 \text{ mg/l} - 31 \text{ mg/l})}{274 \text{ mg/L}} \times 100 = 89\%$$

$$\text{Volumen} = 7 \text{ días} \times 9,759 \text{ m}^3/\text{día} = 68,313 \text{ m}^3$$

Se asume una profundidad de 1.20 m

$$\text{Área superficial} = \frac{68,313 \text{ m}^3}{1.20 \text{ m}} = 56,927.5 \text{ m}^2$$

$$\text{Carga orgánica a la laguna} = 82 \text{ mg/l} \times 9,759 \text{ m}^3/\text{día} \times \frac{10^3 \text{ l}}{1 \text{ m}^3} \times \frac{1 \text{ kg}}{10^6 \text{ mg}} = 800 \text{ kg/día}$$

$$\text{Carga superficial aplicada} = \frac{800 \text{ kg/día}}{56.927 \times 1000 \text{ m}^2} = 14 \text{ kg/1000 m}^2/\text{día}$$

Tercera laguna: Se recomienda un tiempo de retención no menor de 7 días:

$$\text{Efluente final} = \frac{31 \text{ mg/l}}{(0.24/\text{día} \times 7 \text{ días}) + 1} = 12 \text{ mg/l}$$

$$\text{Eficiencia de la laguna} = \frac{(31 \text{ mg/l} - 12 \text{ mg/l})}{31 \text{ mg/l}} \times 100 = 61\%$$

$$\text{Eficiencia total de la serie} = \frac{(274 \text{ mg/l} - 12 \text{ mg/l})}{274 \text{ mg/l}} \times 100 = 96\%$$

$$274 \text{ mg/l}$$

$$\text{Volumen} = 7 \text{ días} \times 9,759 \text{ m}^3/\text{día} = 68,313 \text{ m}^3$$

Se asume una profundidad de 1.20 m

$$\text{Area superficial} = \frac{68,313 \text{ m}^3}{1.20 \text{ m}} = 56,927.5 \text{ m}^2$$

$$\text{Carga orgánica a la laguna} = 31 \text{ mg/l} \times 9,759 \text{ m}^3/\text{día} \times \frac{10^3 \text{ l}}{1 \text{ m}^3} \times \frac{1 \text{ kg}}{10^6 \text{ mg}}$$

$$= 302 \text{ kg/día}$$

$$\text{Carga superficial aplicada} = \frac{302 \text{ kg/día}}{56.9275 \times 1000 \text{ m}^2} = 5 \text{ kg}/1000 \text{ m}^2/\text{día}$$

R e s u m e n

	Laguna 1	Laguna 2	Laguna 3
Tiempos de retención (días)	10	7	7
Volumen (m ³)	95,590	68,313	68,313
Area superficial (m ²)	81,325	56,927	56,927
Carga superficial (kg/1000 m ² /día)	33	14	5
Eficiencia de la laguna (%)	70	62	61
Eficiencia total de la serie (%)	70	89	96

Arreglo de las lagunas: Utilizar 3 lagunas en serie con 1.20 m de profundidad de agua, más 1 metro de bordo libre.

Dimensiones: Laguna No. 1 285 m x 285 m

Laguna No. 2 y 3 239 m x 239 m cada una.

Manejo de lodos: Debido a la acción biológica anaerobia, los lodos depositados en el fondo de la laguna se digieren y su volumen se reduce gradual--

mente. Por lo tanto, no se requiere la remoción de lodos.

VIII. DISCUSION

Con base a los resultados obtenidos en el estudio de los suelos, se hace la siguiente caracterización de los suelos:

En cuanto a salinidad: Que es el contenido de sales en el agua del suelo y su efecto nocivo, se deben a que producen presiones osmóticas en la solución que está en contacto con las raíces de las plantas, estas presiones al pasar de ciertos valores, ocasiona disminución en los rendimientos o pérdida total de las cosechas.

Para medir el efecto de las sales se determinó la conductividad eléctrica que es una medida indirecta de la presión osmótica y que de acuerdo con el reporte del análisis del suelo, las muestras de la zona de estudio están dentro de la normalidad. Presentándose los valores más altos en los suelos regados con agua residual municipal (pozos 10, 11 y 12); y en el pozo 9, que pertenece a un suelo regado con aguas freáticas.

Sodicidad: Esta caracterización está dada por el contenido de sodio intercambiable, en los coloides del suelo, por lo cual se determinó el PSI, encontrando que en los suelos existen ya problemas de sodicidad, ya que, presentan más del 15% de sodio intercambiable.

Los valores más altos corresponden a los pozos 7, 8, 9, debido a que esos suelos son regados con aguas freáticas que presentan sales sódicas, ocasionando que las fuerzas de atracción disminuyan y las arcillas tiendan a dispersarse perdiendo su estructura.

El suelo con menor porcentaje de sodio intercambiable es el del pozo 6 que representa un terreno de temporal, mostrando una marcada diferencia con respecto a los suelos regados con aguas freáticas y agua residual y que se encuentran clasificados como suelos muy sódicos.

Reacción de suelos: Al determinar el pH de los suelos, encontramos que predominan en la zona los suelos alcalinos, con un pH de 7.4 a 8.4. En este tipo de suelos, suelen presentarse poblaciones bacterianas y disminuye la capacidad de intercambio catiónico, lo cual, probablemente, en los suelos de la zona no se presenta por la aportación de sales y materia orgánica que contienen las aguas residuales.

Por lo que respecta a la riqueza del suelo, que es una característica -- que nos indica la mayor o menor cantidad que tiene un suelo de elementos nutritivos asimilables, observamos que los contenidos de M.O. son aceptables, -- encontrándose moderadamente en suelos regados con aguas del Gran Canal con -- porcentajes que van de 2.2% a 2.5% y en los suelos regados con agua residual municipal los valores van de 1.8% a 2.6%. Los suelos de temporal y de riego con aguas freáticas reportan porcentajes de 1.4% a 1.8%. Los únicos suelos -- que presentan deficiencias de M.O. son el pozo 4 y el 5 que son suelos regados con aguas del Gran Canal.

El suelo que presenta una mayor capacidad de intercambio catiónico es el regado con agua residual municipal, marcando una diferencia entre el riego con agua freática y residual del Gran Canal y agua residual municipal. Esto es, -- debido, principalmente, a que las aguas residuales municipales contienen una -- mayor cantidad de M.O. y están menos contaminadas que las aguas residuales del Gran Canal.

De acuerdo a los resultados podemos caracterizar estos suelos de una forma general con los siguientes conceptos:

Son suelos que, en cuanto a su riqueza, no presentan mayor problema, ya -- que tienen concentraciones de M.O. aprovechable, P_2O_5 , K_2O ; y cationes solubles bastante aceptables, excepto en el caso del sodio que son concentraciones muy altas.

Las propiedades nutritivas que caracterizan a las aguas residuales, influyen en la fertilidad del suelo, pero también el riego intensivo y sin los tratamientos que este tipo de agua requiere están ocasionando sodicidad en el suelo, afectando con esto su estructura, lo que, repercute en la productividad, ya que las plantas encuentran mayor dificultad para su desarrollo.

A continuación se realiza una discusión acerca de los contenidos encontrados en las aguas residuales de los parámetros de mayor interés:

Por un lado, la irrigación con aguas residuales favorece el crecimiento de los cultivos, principalmente, por la aportación de micro y macronutrientes y, por otro lado, el elevado contenido de sales de estas aguas disminuye la calidad del suelo y afectan la producción.

En cuanto a los contaminantes biológicos presentes en las aguas residuales éstos no afectan la calidad del suelo, pero los suelos y los cultivos que en él se producen, sirven como medio de transmisión de enfermedades a los trabajadores agrícolas y a los consumidores de cultivos producidos en estas zonas.

Si confrontamos la tabla 6.1.1. frente a la tabla 6.1.2. encontramos -- que los valores promedio que presentan las aguas residuales no tratadas rebasan los límites permisibles, en cuanto a los parámetros sanitarios se refiere por lo que se hace necesario darles un tratamiento previo a su aplicación, para reducir los componentes que se encuentren en exceso.

Por lo que respecta a las alternativas de tratamiento que proponemos, se puede observar que de acuerdo a la proyección de población, volumen de agua potable y volumen de agua residual pueden ser aceptadas.

En la Alternativa I, tratamiento primario (tanque Imhoff) se obtuvo un caudal máximo a futuro (1996) igual a $24,481 \text{ m}^3/\text{día}$ y el caudal mínimo futuro es igual a $4,879 \text{ m}^3/\text{día}$; por lo que está por arriba de las necesidades, y -

para el volumen de agua potables $13,888 \text{ m}^3/\text{día}$, aproximadamente, con un volumen de agua residual de $9,737.875 \text{ m}^3/\text{día}$, aproximadamente.

Se deben de tomar en cuenta las características y dimensiones de cada -- componente de los tanques Imhoff:

a). Cámara desarenadora:

Largo de diseño de la cámara	17.03575 m
Profundidad del Canal	0.10 m

b). Cámara de sedimentación:

Pendiente del fondo de la cámara	45°
Longitud de la cámara	45 m
Ancho de la cámara	9 m
Altura de la cámara	2 m
Altura del fondo de la cámara	4.5 m
Altura total hasta la ranura	6.5 m
Volumen parcial de la cámara	812 m^3
Volumen del fondo de la cámara	917 m^3
Volumen total de la cámara	1,730 m^3
Tiempo total de retención	4.25 hrs
Area de la cámara	407 m^2

c). Cámara de natas:

Ancho del tanque	12.83 m
Borde libre de la cámara	0.5 m
Area total	543 m^2

d). Cámara de digestión

Volumen de la cámara	1,394.2 m^2
Número de las tolvas	3
Longitud de las tolvas	15 m

Pendiente de tolvas	30°
Profundidad de las tolvas	3.7 m
Fondo del recipiente	0.60 m
Volumen de cada tolva	238.07 m
Longitud total	45.09 m
Ancho total	12.83 m

Alternativa II, Laguna de oxidación:

Características de la	1a. laguna	2a. laguna	3a. laguna
Tiempo de retención	10 días	7 días	7 días
Profundidad	1.20 m	1.20 m	1.20 m
Volumen	97,590 m ³	68,313 m ³	62,313 m ³
Area superficial	81,325 m ²	56,927 m ²	56,927 m ²
Carga orgánica	2,674.07 kg/día	800.0 kg/día	302.0 kg/día
Efluente de la laguna	82 mg/l	31 mg/l	12 mg/l
Eficiencia	70%	62%	61%
Eficiencia total de la serie	70%	89%	96%

Los tanques Imhoff ofrecen ventajas para el tratamiento de aguas residuales, ya que integran la sedimentación del agua y la digestión de los lodos sedimentados en la misma unidad y requiere de una operación muy simple, puesto que, no tiene parte mecánicas. Sin embargo, para su uso correcto, es necesario que las aguas negras pasen antes por los procesos de cribado y remoción de arena.

En el caso de las lagunas de estabilización (oxidación) se lleva a cabo la sedimentación de las aguas y una remoción de la materia orgánica, mediante procesos físicos y biológicos naturales y es el tratamiento recomendable don-

de haya disponibilidad de terreno adecuado para acomodar las lagunas.

En las tablas 3.4.2.1. y 3.4.2.2.; se presenta por porcentaje de remoción de contaminantes en aguas residuales que nos permite evitar el depósito de lodos en las aguas receptoras, reduciendo los olores y las capas de lodos anaerobios en el fondo de las corrientes, que nos permite posteriormente, poder realizar la desinfección adecuada antes de la descarga, que en este caso es por cloración, con una dosificación de 20 mg/l, con una velocidad de alimentación de 195.18 kg/día. Es el método que proponemos para destrucción de organismos patógenos que causan enfermedades.

Con la finalidad de mostrar el beneficio que podría obtenerse si se hace un uso adecuado de las aguas residuales de la localidad de Zumpango de -- Ocámpo, se determinó el uso consuntivo de los cultivos que se consideraron más viables, de acuerdo a las características de la zona y de las aguas residuales, también se analizó la administración de agua de acuerdo a la necesidad de riego del cultivo y de la superficie que se pretende regar (Ver Cuadro No. 1).

Con base en este estudio, podemos ver que si se introduce algunos de -- los cultivos analizados, la superficie aproximada de riego sería la siguiente: trigo-207 Ha.; avena-445 Ha.; sorgo-197 Ha.; centeno-137 Ha.; girasol-472 Ha. y alfalfa-214 Ha.

Como podemos ver son superficies considerables, quedando así de manifiesto la importancia que tiene el uso adecuado de las aguas residuales municipales.

IX. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las grandes áreas urbanas que cuentan con drenaje combinado, genera volúmenes considerables de aguas residuales, las cuales son poco factibles de someter a tratamiento, tanto por razones técnicas como económicas. Como alternativa a esta situación, se ha encontrado mediante la disposición de las aguas residuales en los suelos, se logra un tratamiento, debido al paso del agua, a través de la masa del suelo y por la vegetación, la cual utiliza ciertas sustancias necesarias para su desarrollo y en consecuencia, aguas abajo se obtiene un efluente de las infiltraciones de calidad similar al resultante de un sistema de tratamiento secundario y en algunos casos terciario. Para poder realizar este tipo de tratamiento, se requieren una gran área de terreno y una infraestructura hidráulica adecuada para la distribución del agua residual. Es por ello que disponer estas aguas en los distritos de riego, reporta ventajas sobre otras superficies, ya que las áreas están bien definidas y la infraestructura se encuentra instalada.

Por lo general, las aguas residuales se disponen en un volumen más o menos constante, lo que proporciona un gasto mínimo disponible durante todo el año.

Debido a su origen, las aguas residuales contienen gran cantidad de macro y micronutrientes, lo que evita la necesidad de añadir fertilizantes al suelo.

La adición de materia orgánica debido a sus características, tiene la propiedad de mejorar la textura del suelo; a los suelos friccionantes les proporciona cohesión ayudando así a retener humedad; a los suelos cohesivos les proporciona una textura que tiene mejor drenaje con la que se evita, en cierto nivel, el encharcamiento.

La mayor parte de los distritos de riego, como ya se dijo, se encuentran situados en regiones áridas, donde la mayoría de los suelos son neutros o ligeramente alcalinos, abundan las arcillas plásticas o los suelos calizos y su contenido de materia orgánica es bajo.

Estas características proporcionan a los distritos de riego elementos -- ventajosos para la recepción de aguas residuales, ya que los suelos alcalinos son los más tolerantes a elementos tóxicos, pues son capaces, ya sea de amortiguarlos o precipitarlos. El bajo contenido de materia orgánica obliga, para elevar la propiedad a la adición de fertilizantes; regando con aguas negras se añade la materia orgánica necesaria, por lo que, se evita o disminuye la erosión por este concepto.

El aprovechamiento de las aguas residuales por medio de la infraestructura hidráulica existentes en los distritos de riego, da la posibilidad de reutilizar el intercambio de aguas residuales por aguas de primera calidad, utilizando las últimas en otros usos prioritarios, o la factibilidad de incrementar el área cultivada cuando hay disponibilidad de suelo.

En ocasiones, el alto contenido de tóxicos en estas aguas, provocan efectos indeseables en el desarrollo de los cultivos.

El riego con aguas residuales es selectivo, por lo que está restringido a algunos cultivos. Los cultivos que se riegan con estas aguas deben ser tolerantes a las sales y al boro en la mayoría de los casos, las aguas contaminadas no deben tocar los frutos, ser cultivos que no se consuman crudos, o -- sirvan como forraje, debido a los organismos patógenos que se encuentran presentes en el agua.

En los suelos, el riego con aguas residuales puede provocar problemas de salinización o sodización, cuando el drenaje no es bueno, el exceso de materia orgánica putrescible un crecimiento desmedido de organismos que la degrada.

dan, lo que redundan en un abatimiento del oxígeno del suelo y, en consecuencia, un efecto nocivo en el desarrollo de la planta. La alta concentración de sólidos suspendidos, contenidos en las aguas residuales, provoca que al ser aplicadas al suelo, se tapen los poros del mismo, lo que imposibilita la aereación de éste, la infiltración del agua y con ello, el desarrollo de las plantas.

Este mismo efecto también es provocado por las grasas y aceites, debido a la película que producen en la superficie del suelo.

El sistema de riego es otro factor que se ve limitado, ya que con la utilización de aguas residuales básicamente solo se puede utilizar sistemas de riego superficiales, o es necesario aplicar un tratamiento eficiente, que elimine sólidos, sales, grasas y aceites y otras sustancias que provoquen obstrucción, para poder utilizar sistemas de riego por aspersión, goteo, pregurizadores, etc., por lo que, la utilización de aguas residuales en los distritos de riego también se ve limitada a la infraestructura existente en cada distrito.

Por último, el aprovechamiento de las aguas residuales en el riego agrícola en los distrito de riego provoca efectos nocivos en la salud pública, molestias por malos olores, mosquitos y estéticamente es ofensiva a la vista, provoca también, problemas de taponamiento en las estructuras y deteriora la salud del ganado que pasta en la zona, por lo cual su uso debe estar sujeto a una planeación adecuada y a la toma de medidas preventivas para evitar todos los potenciales efectos perjudiciales.

Tomando en consideración la caracterización de las aguas residuales de la población de Zumpango de Ocampo, Estado de México, técnica y agrónicamente, es factible utilizarla para uso de riego agrícola, siempre y cuando sean tratadas para evitar la contaminación de suelos, plantas y consumidores, prin

cipales.

Es una fuente adicional, segura y creciente; para garantizar la satisfacción de las demandas de agua en la zona.

El tipo de tratamiento que se sugiere son de los más económicos, requieren poca mano de obra y son muy eficientes.

El riego agrícola aplicado con aguas residuales es altamente benéfico -- por la cantidad de nutrientes que trae en dilución y en suspensión y además porque los residuos orgánicos modifican las características físicas de los -- suelos.

El mal manejo del riego agrícola con aguas residuales ha ocasionado un incremento del PSI arriba de lo permitido, lo que puede ocasionar un abandono de estas tierras si no se toman medidas de recuperación de estos suelos.

El empleo de aguas residuales tratadas en riego agrícola, es una solución en esta zona para la introducción de cultivos que pueden ser más rentables.

Los procesos de tratamientos propuestos son: Tratamiento Primario, por medio de Tanques Imhoff y Lagunas de Estabilización; son medidas de una operación simple y son de fácil implementación; además de que no requieren de grandes inversiones y pueden dar resultados inmediatos.

Se proponen cultivos que se consideran más viables, de acuerdo a las características de la zona y de las aguas residuales y la superficie aproximada de riego que sería la siguiente: Trigo - 207 Ha.; Avena - 445 Ha.; Sorgo - 197 Ha.; Centeno - 137 Ha.; Girasol - 472 Ha. y Alfalfa - 214 Ha.

RECOMENDACIONES: En suelos pobres se recomienda el uso de aguas residuales, ya que proporciona los nutrientes necesarios para el crecimiento de la planta, por lo que se eleva la productividad.

Los suelos deben tener buen drenaje, ya que las concentraciones de sales y elementos tóxicos a las plantas no se incrementarán marcadamente.

Se recomienda escoger los cultivos que se van a sembrar para que los organismos patógenos no causen daño a los consumidores

El uso de las aguas residuales es posible y conveniente, pero deben ser tratadas para evitar que algunos elementos y microorganismos lleguen al consumidor.

Las aguas de primer uso son buenas para cualquier cultivo.

Las aguas residuales mezcladas son buenas y, en algunos casos excelentes para cultivos tolerantes y semitolerantes.

Las aguas residuales municipales crudas son buenas para cultivos tolerantes.

Se debe tener cuidado al regar con aguas crudas industriales, ya que bajan los rendimientos hasta en un 50% en muchos cultivos, dependiendo de la concentración y tipo de elementos contaminantes.

En las zonas en que la escasez de agua es grande la recirculación de -- aguas residuales industriales es provechosa, desde el punto de vista económico.

No existen estudios que señalen una evidencia epidemiológica concluyente del recorrido de los organismos en la cadena alimenticia, y su consecuente -- daño a los animales y seres humanos. Sin embargo, es conveniente restringir la explotación de cultivos de consumo humano directo que tenga contacto con -- el suelo o con el agua de riego.

Para los cultivos que se desarrollan sin estar en contacto con el suelo o con el agua de riego, se recomiendan plazos de seguridad, entre el último -- riego y la cosecha, mayores de 35 días, siendo conveniente la recolección mecánica y no depositar la cosecha en el suelo durante el empaque y transporte

para evitar la contaminación.

Se debe evitar el riego con agua residual en parcelas ubicadas a distancias menores de 230 m de las zonas habitacionales.

No permitir que el ganado abrevé en los canales de riego.

Es indispensable reglamentar el uso de las aguas residuales en la agricultura para lo cual se requieren estudios que permitan definir criterios -- técnicos de calidad, adecuados a las condiciones del país que deban satisfacer las aguas residuales tratadas, para su reuso en la agricultura.

BIBLIOGRAFIA

1. Arévalo V.J. 1984. Algunos componentes del crecimiento de Vides Cus, Carignani y Carbenet Savignion, bajo el riego de Aguas Negras. UACH. Méx. Fitotecnia. Págs. 128-130
2. Bautista de Dios H. J. 1977. Producción de Maíz Forrajero, regados con - Aguas Negras en el Distrito de Riego No. 88 Chiconautla, Méx. Chapingo Méx. Págs. 4-9, 64-69, 76-89
3. Briones S. G. 1982. Factibilidad de la Irrigación Agrícola con Aguas Residuales de Cervecería. Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey. Págs. 12-29
4. CONACYT 1980. Simposio Internacional sobre renovación de Aguas Residuales para riego en sistemas Agrícolas e Industriales. Hotel Hacienda Cocoyoc, Morelos. Págs. 1-5
5. Contretas M.R. y Cantú G.M. 1984. Reuso y Disposición de Aguas Residuales en riego Agrícola en México. Trabajo Técnico -- DGVAPC - SARH. México. Págs. 1-8
6. Fair G.M. et al 1981. Purificación de aguas y tratamientos y remoción de Aguas Residuales. Ed. Limusa, México.
7. González V. C. E. 1980. Establecimiento de Pasto Salado (Distichlis Spicata (L) Grene) bajo riego con Aguas Negras en el Lago de Texcoco. UACH. Págs. 22-24
8. Gutiérrez R.M. 1982. Estudio del contenido de Iones Inorgánicos y sus interacciones en suelos y plantas de los Distritos de riego 03 y 88. UNAM, México, D. F. Págs. 197-228
9. Macareño C.F. 1974. Estudio preliminar sobre contaminación de los Suelos y de la Producción Agrícola en el Distrito de Riego

03 por el uso de Aguas Negras de la Cd. de México.
Colegio de Postgraduados Chapingo, Méx. Págs. 67-70

10. Mc Cullock W.A. y Griddle D.W. 1976. Sistema de riego y conservación de suelos. SARH, SAO, DGDR, DEEE. Memorándum Técnico No. 335, México.
11. Metcall-Eddy 1981. Tratamiento y depuración de las Aguas Residuales. 2a. Ed. Editorial Labor, S.A. Barcelona.
12. Moctezuma H.M. 1987. Uso de mejoradores en la recuperación de suelos - Salinos y Sódicos. FES-Cuautitlán, Cuautitlán Izca-lli, Estado de México. Págs. 62-93
13. Muñoz M.L.R. 1966. Riego por aspersión. Unidad de Enseñanza e Investi-gación. Chapingo, México.
14. Ortiz V.B. 1977. Fertilidad de Suelos. Chapingo, México. Págs. 45-125
15. Ortiz V.B. y Ortiz S.C.A. 1980. Edafología. 3a. Ed. UACH, Chapingo, Mé-xico. Págs. 328-359
16. SARH, 1978. Características de Distritos, Unidades de Riego. Di-rección General de Distritos y Unidades de Riego. Mé-xico.
17. SARH, 1980. Distrito de Control de la Contaminación y Reutiliza-ción de las Aguas Residuales del Area Metropolitana de Monterrey, Resumen y aspectos sobresalientes. Di-rección General de Protección y Ordenación Ecológica. México.
18. SARH, DGUAPC 1982. Estudios de calidad del Agua. Manual, Departamento - de Entrenamiento. México.
19. SARH, 1984. Estudio para la introducción de Aguas Residuales en - mantos subterráneos. Dirección General de Protección

- y Ordenación Ecológica. INGGO, S. C. Primera Parte. México, D. F. Págs. 3-72
20. SARH, DGUAPC 1984. Introducción a la Ingeniería Sanitaria. Departamento de Entrenamiento. Manual, México, D. F.
 21. SARH, Manual de Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales. Dirección General de Usos del Agua y Prevención de la Contaminación. México.
 22. SARH, 1981. Manual para la clasificación de las Aguas para Riego Agrícola. Dirección General de Usos de Agua. Méx.
 23. SARH, 1984. Aprovechamiento de Aguas Residuales en Riego Agrícola. Dirección General de Usos del Agua y Prevención de la Contaminación. México, D. F. Págs. 3-16, 215-240
 24. Seoanez, C.M. 1978. Aprovechamiento y Tratamiento Agrario de las Aguas Residuales Urbanas. Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias, Ministerio de Agricultura. Madrid, España. Págs. 31-53
 25. SPFI, 1981. El uso del Azufre para el desarrollo y modernización de la Agricultura en America Latina. 1er. Simposio, México, D. F. Págs. 1-9
 26. Téllez L. J.L. y Camarillo G.M. 1985. Determinación del tipo de suelo y formulación de un programa para la rehabilitación de suelos con problemas de salinidad en la Unidad de Riego "Santiago Atocan" del Municipio de Santa Ana - Nextlalpan en el Estado de México. UNAM, FES-Cuautitlán. Cuautitlán Izcalli, Estado de México. Págs. 90-130
 27. Tisdale, S.L. y Nelson, W.L. 1970. Fertilidad de los suelos y Fertilizantes. Montaner y Simón, S. A. Barcelona, España.

28. Valdivieso, G.A. 1977. Estudio bacteriológico de 5 forrajes regados -- con Aguas Negras de los Distritos de riego 03 y 88, en los Estados de Hidalgo y México. UNAM, Facultad de Veterinaria-Zootecnista, México. Págs. 3-9
29. Vázquez, A.E. 1984. Evaluación de la reserva de Sales en los Suelos Salinos. FES-Cuautitlán, Cuautitlán Izcalli, Estado de México. Págs. 173-189
30. Turk, L. M. Millar C.E. y Forth H.D. 1981. Fundamentos de la ciencia del Suelo. Ed. CECSA. México, D. F. Págs. 47-71
31. Winter, E.J. 1981. El agua, el suelo y la planta. Ed. Diana, México, - D. F. Págs. 104-159
32. Zimmerman, J.D. 1981. El Riego. Compañía Editorial Continental, S.A. México, D. F.