



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

**ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD PARA LA
CREACIÓN DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO
DE AGUAS NEGRAS (RESIDUALES) DESTINADAS
AL RIEGO, EN EL MUNICIPIO DE JQUIPILCO
ESTADO DE MÉXICO.**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO QUÍMICO
P R E S E N T A:
DAVID CASTRO GONZÁLEZ

ASESOR: I.Q.I. FRANCISCO LEONARDO MARTÍNEZ CUIEL

MÉXICO D.F.

2003



A



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

PAGINACIÓN DISCONTINUA

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



**FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES ZARAGOZA**

**JEFATURA DE LA CARRERA
DE INGENIERIA QUIMICA**

OFICIO: FESZ/JCIQ/042/03

ASUNTO: Asignación de Jurado

ALUMNO: CASTRO GONZALEZ DAVID
P r e s e n t e.

En respuesta a su solicitud de asignación de jurado, la jefatura a mi cargo, ha propuesto a los siguientes sinodales:

| | |
|--------------------|--|
| Presidente: | M. en C. A. Lourdes Castillo Granada |
| Vocal: | I.Q.I. Francisco Leonardo Martínez Curiel |
| Secretario: | Biol. Roberto King Díaz |
| Suplente: | Biol. María Eugenia Ibarra Hernández |
| Suplente: | Biol. Eloisa Adriana Guerra Hernández |

Sin más por el momento, reciba un cordial saludo.

A T E N T A M E N T E
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
México, D. F., 04 de Marzo de 2003

EL JEFE DE LA CARRERA

M. en C. ANDRÉS AQUINO CANCHOLA

INGE

FESZ

B

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a las personas e instituciones que hicieron posible realización de este trabajo.

A la Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza

Al Centro de Información y Documentación Sobre Protección al Ambiente

Al I.B.I y M.C.A. JESÚS ANTONIO VILCHIS JUÁREZ, por las aportaciones inmensurables, que permitieron la realización y culminación de este trabajo.

Al I.Q.I. Francisco Leonardo Martínez Curiel, por sus aportaciones y disposición.

A los integrantes del jurado, por sus atenciones y tiempo para la revisión de este trabajo.

C

DEDICATORIAS

A mi madre (Carmelita):

Por el esfuerzo realizado, en el camino que recorrimos antes y después de ingresar a la universidad.

A mi padre:

Por su apoyo y confianza que siempre ha depositado en mí.

A mi hermana:

Por compartir la responsabilidad con mi padre.

A mi hermano:

Por su apoyo y confianza que en todo momento tuvo conmigo.

A mis hijos (Héctor, Oscar y Marcos):

*Son mi orgullo, el regalo más grande que Dios me ha dado.
Esperando que este trabajo los motive a superarse y cuando llegue el momento contarán con todo mi apoyo*

A mi esposa (Coty) :

*Con tu apoyo y entereza salimos siempre adelante. Por estar siempre conmigo poniendo el hombro para apoyarme
GRACIAS.*

DAVID

D

INDICE

| | |
|-------------------|---|
| INTRODUCCIÓN..... | i |
|-------------------|---|

CAPITULO I

| | | |
|--------|---|----|
| 1. | GENERALIDADES DEL AGUA | 1 |
| 1.1. | Importancia | 2 |
| 1.2. | Propiedades | 4 |
| 1.2.1. | Físicas | 4 |
| 1.2.2. | Químicas | 10 |
| 1.3. | Captación | 14 |
| 1.3.1. | Agua de lluvia | 15 |
| 1.3.2. | Aguas superficiales | 15 |
| 1.3.3. | Aguas subterráneas | 16 |
| 1.4. | Contaminación | 19 |
| 1.4.1. | Principales contaminantes y su clasificación | 19 |
| 1.4.2. | Fuentes y control | 21 |
| 1.4.3. | Enfermedades contraídas por agua contaminada | 22 |
| 1.5. | Normatividad | 24 |
| 1.5.1. | Definiciones | 24 |
| 1.5.2. | Contaminantes en las descargas de aguas residuales | 25 |
| 1.5.3. | Aguas residuales para el riego agrícola y de hortalizas | 27 |
| 1.5.4. | Environment Protection Agency (EPA) | 29 |

CAPITULO II

| | | |
|--------|---|----|
| 2. | PROCESO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES..... | 30 |
| 2.1. | El agua residual y su uso | 31 |
| 2.2. | Tratamiento de agua residual | 34 |
| 2.2.1. | Pretratamiento | 34 |
| 2.2.2. | Tratamiento primario | 37 |
| 2.2.3. | Tratamiento secundario | 41 |
| 2.2.4. | Tratamientos descentralizados | 48 |
| 2.3. | Aspectos sanitarios en la utilización de aguas residuales | 58 |
| 2.3.1. | Calidad de los efluentes empleados en la agricultura | 59 |
| 2.3.2. | Calidad de los efluentes empleados en la acuicultura | 59 |

E

| | |
|---|----|
| 2.3.3. Lodo proveniente del tratamiento de aguas residuales | 61 |
| 2.3.4. Sistemas de desinfección..... | 65 |
| 2.3.5. Selección de cultivos..... | 68 |
| 2.4. Procesos para el tratamiento de aguas residuales..... | 70 |
| 2.4.1. Procesos propuestos | 71 |

CAPITULO III

| | |
|--|----|
| 3. ESTUDIO FINANCIERO..... | 73 |
| 3.1. Introducción..... | 74 |
| 3.2. Topografía y tipo de suelo..... | 76 |
| 3.3. Caudales y características..... | 80 |
| 3.4. Consideraciones generales de diseño..... | 81 |
| 3.4.1. Características de los sistemas..... | 82 |
| 3.4.2. Dimensionamiento..... | 86 |
| 3.5. Análisis Económico..... | 92 |
| 3.5.1. Inversión inicial..... | 92 |
| 3.5.2. Mantenimiento..... | 92 |
| 3.5.3. Valoración de la razón beneficio/costo..... | 93 |

| | |
|-------------------|----|
| CONCLUSIONES..... | 98 |
|-------------------|----|

| | |
|-------------------|----|
| BIBLIOGRAFÍA..... | 99 |
|-------------------|----|

| | |
|------------------------------------|-----|
| ANEXOS..... | 102 |
| Anexo A (Memoria de calculo)..... | 103 |
| Anexo B (Pozo de absorción)..... | 110 |
| Anexo C (Filtro intermitente)..... | 112 |

F

INTRODUCCIÓN

El agua juega en la biosfera un papel esencial, tanto en los procesos geológicos y meteorológicos y es vital en muchos procesos biológicos. La conservación y el control de los suministros de agua es factor de primer orden en la conservación del equilibrio de la naturaleza. Todos los seres vivos necesitan agua para realizar sus funciones vitales. Alrededor del 71% del cuerpo humano está representado por el agua.

De acuerdo con el Plan Nacional Hidráulico, para 1995 México contaba con una población total de 91.6 millones de habitantes de los cuales 15.1 millones carecen del servicio de agua potable y 30.2 millones no cuentan con alcantarillado (Coll M., 1997). En lo que se refiere a las comunidades rurales, que es precisamente donde se agudizan las carencias de los servicios más elementales, 45% de ellas están sin servicio de agua potable y 84% sin servicio de alcantarillado.

El agua residual es uno de los principales contaminantes en ríos, lagos y lagunas, además es causa de múltiples enfermedades, para quienes habitan en las márgenes de éstos.

Son varias las razones por las cuales los ríos o cualquier depósito de agua no se deben usar como albañales. El excremento llevado por el agua es portador de gran número de microorganismos, muchos de ellos son dañinos y las enfermedades bacterianas que pueden producir son la disenteria, cólera y la fiebre tifoidea.

El municipio de Jiquipilco se localiza al norte del Valle de Toluca y al oriente del Valle de Ixtlahuaca, ocupando parte de la serranía de Monte Alto. Su territorio se eleva 2550 msnm partiendo del valle de Ixtlahuaca y su cabecera se encuentra a una altitud 2700 msnm (Hernández N., 1997).

Las aguas residuales del municipio de Jiquipilco forman parte de la cuenca que se vierte al río Lerma, uno de los ríos más afectados por la contaminación. Cerca de 14,500 m³ son vertidos diariamente al río Lerma, mientras que por otro lado cerca de 5,000 hectáreas esperan el agua de temporal para ser útiles y rentables, dependiendo totalmente de que el suministro de agua de temporal sea bueno o malo. Este problema de la contaminación se puede evitar al darle un

tratamiento físico, químico y biológico al agua, para que esta sea usada en la siembra de diferentes productos agrícolas.

Diseñar una plantas de tratamiento de aguas residuales que permitan la reutilización del agua es la finalidad de esta tesis.

Debido a lo accidentado del terreno es preferible el uso de sistemas descentralizados que con un menor costo permitan aprovechar al máximo este recurso. Se analiza el establecimiento de un sistema de tratamiento de agua en la cabecera municipal para de ahí partir y poder realizar este tipo de servicios en toda la comunidad.

Se proponen siete sistemas de tratamiento de aguas residuales pensando en que la inversión y el mantenimiento, tengan lo mínimos costos, por los que se busca que el consumo de energía también sea mínimo, es por ello que no se proponen sistemas con partes electromecánicas, al contrario se busca que los sistemas sean ecológicos de tal manera que conserven o mejoren el entorno natural.

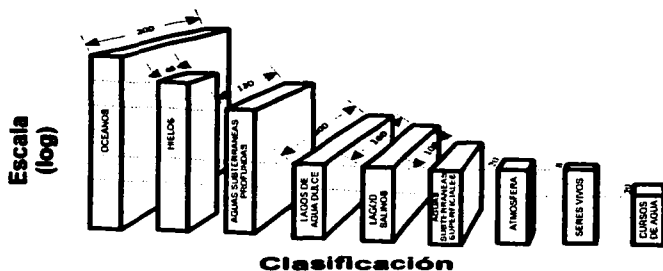
CAPITULO I

GENERALIDADES

1.1 IMPORTANCIA DEL AGUA

El agua es un compuesto formado por dos moléculas de hidrógeno y una de oxígeno de fórmula química H_2O . Cuyo punto de congelación a 1 atm es de $0^\circ C$ y el punto de ebullición es de $100^\circ C$. Este es pues el compuesto químico más abundante en la tierra (las reservas estimadas a nivel mundial son de $136 \cdot 10^9 km^3$).

El agua útil para los seres que viven sobre los continentes sólo corresponde a una pequeña fracción de la masa líquida de la tierra: el 3 % si se cuentan las aguas subterráneas y los hielos, netamente menos del 1 % si se desprecian.



El agua juega en la biosfera un papel esencial, tanto en los procesos geológicos y meteorológicos y es esencial en muchos procesos biológicos, ya que la vida como la conocemos en la tierra no sería posible sin el agua. Algunas plantas contienen agua en una proporción del más del 90% de su peso. Alrededor del 71% del cuerpo humano está representado por el agua, que debe reponerse a medida que esta se evapora y fluye en la superficie del cuerpo y se expulsa en forma de vapor mediante la respiración.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Las primeras civilizaciones de las que se tiene conocimiento se desarrollaron en grandes valles fluviales del Norte de África y el Oriente Medio, donde raramente se registran precipitaciones y escasea el agua superficial. Para sobrevivir el hombre realizo proyectos entorno al agua como cavar pozos, abrir canales para el riego, construir presas y acueductos. La preocupación por el agua ha sido en realidad premisa esencial para el desarrollo de la civilización. Para poder tener más clara la idea de la importancia del agua basta ver los datos de la tabla 1-1.

Tabla 1-1. Número de litros necesarios para la obtención de algunos artículos (Crites, 1994).

| Artículo | Caudal, m ³ /10 ³ kg producido |
|-------------------|--|
| Papel | 83-125 |
| Cerveza | 8-15 |
| Productos lácteos | 8-17 |
| Tela (teñido) | 25-50 |
| Amoníaco | 83-250 |
| Azúfre | 8-9 |

La captación de agua en cantidad suficiente para satisfacer las necesidades de las comunidades humanas, de la industria y de los regadíos es de una importancia primordial. Al no bastar en muchos casos para ello el agua de ríos y lagos, se recurre a extraer la de subsuelos, con lo que se corre el riesgo de agotarla.

A la limitación de la disponibilidad natural del agua se añade su aprovechamiento irracional y el tremendo despilfarro que supone su contaminación. El desarrollo industrial a elevado el consumo per cápita a niveles insospechados (de 10-20 L/día a 5000 L/día en algunos países), este consumo refleja el grado de desarrollo industrial de cada país: 50 m³/h-año en Asia y África, 500 m³/h-año Europa, mas de 1000 m³/h-año en Norteamérica. El problema tiende a agravarse por la propia dinámica del crecimiento demográfico hasta el punto de que, según previsiones serias, las necesidades se duplicarán en los próximos 20 años (Crites, 1994).

1.2 PROPIEDADES

El agua a temperatura normal, se presenta como un líquido inodoro, insípido, transparente y prácticamente incoloro, pues sólo en grandes masas presenta un tono débilmente azulado. Aunque el agua es tan común, no lo son algunas de sus propiedades físicas y químicas, las cuales son precisamente en muchos casos, las que hacen que el agua sea un elemento tan útil e importante. Es necesario hacer notar que casi todas las propiedades físicas, químicas y biológicas, dependen de la temperatura.

1.2.1 PROPIEDADES FÍSICAS (Geyer, 1996, V. II)

Entre las propiedades físicas del agua dentro de las más importantes en el aspecto de control hidráulico y de la calidad están: La estructura molecular, densidad, viscosidad, presión de vapor, tensión superficial, resistencia a la difusión, poder de solución y suspensión, absorción de la luz, capacidad calorífica.

Estructura molecular

Las moléculas del agua líquida ocupan un volumen de 29.7 \AA^3 . Se presenta en forma de unidades o en grupo de moléculas H_2O , o como iones hidrógeno e hidroxilos. El espacio medio de poro entre las moléculas es, aproximadamente, de 36.7 %.

En el hielo las moléculas ocupan, únicamente, un volumen ligeramente mayor, que es de 32.3 \AA^3 . De acuerdo con esto el volumen por molécula gramo es de 19.44 cc y la densidad del hielo se convierte en 0.93.

En el estado de vapor, las moléculas se encuentran ampliamente separadas. Su tamaño equivalente es próximo a 3.3 \AA^3 , y se mueven a una alta velocidad ejerciendo una presión $P = \frac{1}{3} N m v^2$, de acuerdo con la teoría cinética de los gases. N es el número de moléculas por unidad de volumen de gas, m la masa de cada molécula y v^2 el cuadrado medio de la velocidad de las moléculas.

Densidad

Se encuentra entre las propiedades hidráulicas más importantes del agua. Forma parte del número de Reynolds, e interviene en las formulas de sedimentación, resistencia al flujo. Las variaciones de densidad en las masas profundas de agua dan por resultado la estratificación e inversión temporal de los lagos y depósitos, con las amplias variaciones consecuentes en el agua.

La densidad se expresa en tres formas distintas: 1) como masa densidad ρ o masa por unidad de volumen; 2) como peso específico γ o peso (fuerza) por unidad de volumen y 3) como peso específico relativo $s = \rho/\rho_w = \gamma/\gamma_w$ (adimensional).

La presión tiene poco efecto sobre la densidad del agua. Su disminución relativa en volumen es sólo de $5 \cdot 10^{-5}$, por cada atmósfera de presión adicional o por el incremento en la profundidad de 10.33 m. Las impurezas disueltas cambian la densidad del agua pero no alteran el volumen del agua.

Viscosidad

Al igual que la densidad es una de las propiedades hidráulicas más importantes del agua. Es una resistencia a la deformación y por ello, es análoga a la fricción interna. La viscosidad del agua se expresa en: 1) como viscosidad absoluta o dinámica μ o masa por unidad de longitud y tiempo, 2) viscosidad cinemática $\nu = \mu/\rho$, o longitud elevada al cuadrado por unidad de tiempo.

La viscosidad varía con la temperatura, de hecho, más que la densidad. Por lo general las impurezas ejercen una influencia escasa. Los lodos de aguas negras son plásticos en vez de viscosos

Presión de vapor

La presión de vapor es un factor de control de la evaporación, sea desde una superficie libre de agua o desde lodos de aguas negras que estén sujetos a secado. Por lo general la presión de vapor del agua p_w , se expresa en los mismos términos que la presión barométrica (mm Hg). Entre otros factores, la presión de vapor del agua reduce la altura de succión de las bombas en proporción a su presión parcial (es la presión ejercida por el vapor de agua y es igual al volumen relativo en la atmósfera).

Tensión superficial

La tensión superficial controla la elevación capilar del agua, es un enlace importante en el intercambio de sustancias que van hacia adentro y hacia afuera del agua, y fija la solubilidad humectante. Los depresores de la tensión superficial, como el jabón y los detergentes sintéticos. El polvo, el polen y otras partículas extrañas se mantienen en la superficie del agua gracias a la tensión superficial. Sus dimensiones son energía por unidad de área o fuerza por unidad de longitud. La tensión superficial de un líquido de densidad ρ , que se eleva hasta una altura h en un tubo capilar de diámetro interno d es $\sigma = h\rho g d/4$.

Los valores de las propiedades físicas descritas anteriormente a temperaturas comunes del agua se muestran en la siguiente tabla 1-2.

Tabla 1-2. Propiedades a diferentes temperaturas (Geyer, 1996, V, II).

| Propiedades | Temperatura | | | | | |
|--|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 0 | 4 | 10 | 20 | 30 | 100 |
| Densidad (ρ , γ , s) | 0.9999 | 1.0000 | 0.9997 | 0.9982 | 0.9957 | 0.9584 |
| Viscosidad dinámica (μ), centipoises | 1.79 | 1.57 | 1.31 | 1.01 | 0.800 | 0.284 |
| Viscosidad cinemática (ν), centistokes | 1.79 | 1.57 | 1.31 | 1.01 | 0.804 | 0.297 |
| Presión de vapor (p_v), mm Hg | 4.58 | 6.10 | 9.21 | 17.5 | 31.8 | 760 |
| Tensión superficial (σ), dinas/cm | 75.6 | 74.8 | 74.2 | 72.8 | 71.2 | 58.9 |

Difusión molecular de sustancias disueltas

Aun sin el mezclado mecánico, la concentración de sustancias que se encuentran en solución real dentro del agua, tanto moléculas como iones, finalmente llegara hacer uniforme. Sin embargo, este proceso de igualación es extremadamente lento. La ley de Fick establece que la velocidad de difusión dW/dt a través de una área de límite $dy dz$ es proporcional al gradiente de la concentración dc/dx de la sustancia, desde el punto de vista de concentración más alta a otro de menor concentración, o

$$\frac{\partial W}{\partial t} = -k_d \left(\frac{\partial c}{\partial x} \right) dy dz. \quad (1-1.)$$

Donde W es el peso de la sustancia disuelta, t es el tiempo, c la concentración, x es la distancia en la dirección, $dy dz$ el área a través de la cual deben pasar las moléculas, k_d un factor de proporcionalidad o coeficiente de difusión molecular.

Velocidad de absorción de gas

Si se da como postulado que la velocidad de absorción de gas es proporcional al grado de subsaturación del líquido absorbente, podemos escribir

$$\frac{dc}{dt} = K_g(c_s - c_t) \quad (1-2.)$$

donde dc/dt es la velocidad de absorción, transferencia en el tiempo t ; c_s la concentración de saturación a una temperatura dada; c_t la concentración en el tiempo t ; y K_g un factor para las condiciones existentes de exposición.

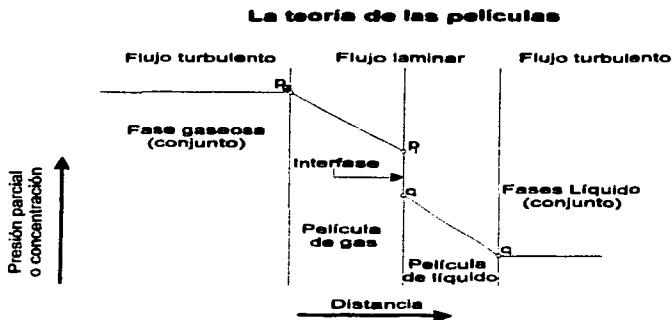


Fig. 1-2. Gradientes de presión y concentración en las películas de gas y líquido en la interfaz gas-líquido (Geyer, 1996, V: II)

De acuerdo con la teoría de las dos películas de Lewis y Shitman (Geyer, V. II, 1996), se forman películas límite en la interfaz tanto dentro del líquido como del gas; y la velocidad de paso a través de ellas está determinada por el espesor de estas películas (ver figura 1-2). La velocidad de difusión a través de las películas depende del área de la interfaz y del gradiente de concentración dentro de las películas componentes, de lo cual se desprenden tres situaciones generales:

1. El gas es altamente soluble en el líquido (p. ej. NH_3 en agua). El paso de las moléculas de gas a través de la película de gas se convierte entonces en el factor de control y se deduce que la

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

transferencia de gas puede incrementarse por reducción del espesor de la película de gas mediante movimiento o agitación del gas.

2. La solubilidad del gas en el líquido es baja (p. ej. O_2 , N_2 y CO_2 en agua). Aquí la concentración a la cual el gas disuelto se encuentra en equilibrio con el gas en la atmósfera. El paso de las moléculas de gas a través de la película líquida es entonces el factor de control y en este caso, la transferencia de gas se promueve mediante la reducción del espesor de la película líquida, por agitación o movimiento del líquido.
3. Para gases de solubilidad intermedia (p. ej. H_2S en agua). En este caso es importante el efecto de ambas películas. Por lo tanto, deben moverse o agitarse tanto el gas como el líquido para mantener bajos los espesores, con objeto de promover la transferencia del gas.

Solución y suspensión de sólidos

La solubilidad es una función de la temperatura, la naturaleza y la estructura del sólido; y de la naturaleza y concentración de las impurezas del agua. Además, algunas sustancias se descomponen por el calor de sus componentes. La solubilidad de estos componentes determina entonces, su concentración. La presión tiene poco efecto cuantitativo sobre la solución de los sólidos.

La velocidad de solución de los líquidos en el agua, así como la de los gases, es proporcional al grado de subsaturación del sólido en la solución. Además, varía directamente con el área superficial del sólido, e inversamente el volumen del líquido.

Los sólidos en suspensión se encuentran separados unos de otros en forma tan tosca, que son visibles a simple vista, ya sea directamente o porque absorben o difunden la luz.

Absorción de la luz

La absorción de la energía solar por el agua es importante debido a tres factores:

- 1) Los organismos autótrofos utilizan la energía radiante y aumentan la cantidad de sustancia celular (fotosíntesis).
- 2) Las bacterias y otros organismos vivientes son destruidos, y el color especialmente el natural, es blanqueado por longitudes de onda actínicas, en particular por la luz ultravioleta.
- 3) La energía absorbida se convierte en calor.

No toda la energía dirigida a la masa del agua penetra la superficie. Alguna es reflejada, aumentando su cantidad a medida que el ángulo de incidencia se hace más agudo. La reflexión aumenta cuando el viento ondula la superficie del agua.

La absorción de la radiación solar es selectiva. Para una longitud de onda determinada, la velocidad de absorción es proporcional a la intensidad de la luz, o sea

$$p_e = (i_o - i)/i_o = 1 - \exp(-k_e \lambda) \quad (1-3.)$$

donde i es la intensidad de la radiación, λ la longitud de onda de la trayectoria del haz, i_o la intensidad inicial o en la superficie, k_e coeficiente de extinción o velocidad de absorción, p_e la proporción de la energía absorbida

La distribución espectral de la energía solar cambia conforme aumenta la profundidad. En las aguas naturales, el coeficiente de extinción aumenta por efecto de las sustancias disueltas y en suspensión que ejercen, también, una absorción selectiva. Los cambios en la calidad del agua debido a la profundidad, complican su situación.

Capacidad calorífica

La capacidad calorífica de una sustancia es la cantidad necesaria de calor para elevar en un grado a la temperatura de unidad de masa de una sustancia. El calor específico es la relación de la capacidad calorífica a una temperatura determinada. Para la mayor parte de cálculos de ingeniería se pueden considerar al calor específico y a la capacidad calorífica como numéricamente iguales.

La capacidad térmica del agua es grande. Se requiere mucho calor para calentarla y mucho frío para enfriarla. La variación de la capacidad térmica con la temperatura es pequeña.

1.2.2 PROPIEDADES QUÍMICAS *(Allende)*

Son importante las propiedades químicas del agua ya que el contenido de sales cálcicas en el agua provocan efectos muy distintos. Una agua poco calcárea es agresiva y una agua demasiado calcárea es dura. Así mismo, la presencia de fosfatos, sulfuros, sulfatos y amoníaco constituyen un indicador de contaminación.

Dureza

El denominador común en la mayor parte de los problemas del agua es la dureza. Tradicionalmente se definía como la capacidad de consuno de jabón por el agua, sabemos que la dureza es la solución en agua tanto de calcio como de magnesio y en algunas ocasiones hierro (como bicarbonato ferroso, $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$), en forma de cationes, independientemente de la naturaleza de los iones presentes. Esta se a expresado, por lo general en función del carbonato de calcio (CaCO_3). Es una elección fortuita puesto que el peso molecular del CaCO_3 es 100 y su peso equivalente es 50, proporcionando una unidad conveniente de intercambio para expresar todos los iones en agua, en vez de mostrar a cada uno de ellos con su peso equivalente.

El concepto de equivalencia a carbonato de calcio es una forma ampliamente utilizada para describir en análisis de agua.

pH

La constante de disociación es muy pequeña de, 10^{-14} , en la neutralidad, en donde hay el mismo número de iones de H^+ y OH^- , sólo hay 10^{-7} moles por litro de cada uno de ellos, Que corresponde a una concentración real de 0.0001 mg/L de ion H^+ , equivalente a 0.005 mg/L de CaCO_3 . Por ello es más conveniente sustituir una expresión donde se trabaje con potencias de 10. Esta expresión se define como pH y su relación es:

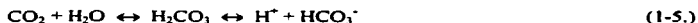
$$pH = \log \frac{1}{H^+} = -\log[H^+] \quad (1-4.)$$

La concentración de ión hidrógeno puede medirse con un potenciómetro, pero también puede titularse cuando la concentración es lo bastante grande para que sea detectada mediante el análisis químico.

Muy pocas aguas naturales tienen un pH inferior a 5.0 aproximadamente, de forma que rara vez se encuentran ácidos minerales fuertes en el agua dulce. Donde existe la alcalinidad de bicarbonato de calcio pueden estar presentes los ácidos débiles, entre los cuales el más importante es el ácido carbónico (dióxido de carbono en solución).

Importancia del CO₂

La atmósfera es una mezcla de gases que contiene aproximadamente 79% de N₂ y 21% de O₂ en volumen. Sin embargo también incluye el 0.04% de CO₂, el cual es extremadamente importante para el balance de la vida. Las plantas que contienen clorofila utilizan el dióxido de carbono para construir material celular como los carbohidratos. Al llover se disuelve cerca de 1 mg/L en el agua de lluvia. Una vez que el agua de lluvia penetra la capa de la tierra, esta expuesta a niveles de CO₂ gaseoso cien veces más grande que la atmósfera, creados por la respiración de los organismos del suelo. Entonces, las aguas de los pozos que se han filtrado a través de zonas ricas de CO₂ pueden contener de diez a varios cientos de mg/L de CO₂ disueltos. Este CO₂ disuelto en el agua reacciona con ella para formar ácido carbónico, que se disocia en iones hidrógeno y bicarbonato:



Si se satura el agua destilada con CO₂, se disuelven aproximadamente 1600 mg/L en el agua y el pH desciende hasta aproximadamente 4.

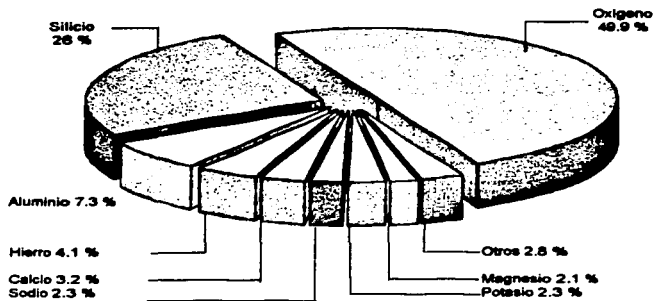
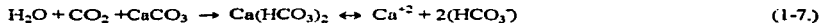
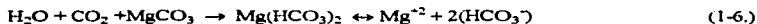


Fig. 1-3. Distribución de los elementos en la corteza terrestre (Allende)

La alcalinidad de la mayor parte de los recursos acuíferos naturales es causada por las sales de bicarbonato (HCO_3) disueltas. Las siguientes reacciones muestran cómo el agua que contiene CO_2 de la atmósfera y de los organismos del suelo reaccionan disolviendo el calcio y al magnesio mineral común llamado dolomita ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$), para producir la dureza y alcalinidad:



El agua disuelve muchos otros minerales además de la dolomita. En la figura 1-3 se muestra la distribución de los elementos en la corteza terrestre. Los tres más importantes están en forma de óxidos, SiO_2 , Al_2O_3 y Fe_2O_3 , los cuales son muy poco solubles en agua.

Conductancia

Un punto importante en la química del agua es la conductividad eléctrica. Cuando mayor es el contenido de minerales del agua, mayor será su conductividad. Esto tiene consecuencias importantes:

1. Cuando mayor es la conductividad, más libremente podrá fluir la corriente eléctrica a través del agua y más rápida es la velocidad de corrosión si las demás condiciones la favorecen.
2. Cuando mayor es la conductividad, menos ionizados estarán los minerales disueltos en el agua, pero los iones están empaquetados de forma más estrecha y chocan con mayor frecuencia.

Esto disminuye el coeficiente de actividad, aumentando la solubilidad del CaCO_3 y otros materiales ligeramente solubles. Como resultado, el CaCO_3 es más soluble en agua de mar que en el agua dulce.

Hay diversos factores incluidos en el proceso de corrosión, entre los cuales los principales son el pH, la conductividad, la temperatura y el oxígeno disuelto, la presencia de metales diferentes en el sistema, con el más anódico de ellos siendo corroído, y las diferencias en la estructura metalúrgica de un metal único en el sistema. Todos estos mecanismos de corrosión pueden agravarse mediante la presencia de materia suspendida.

1.3 CAPTACION

La captación de agua comprende el conjunto de operaciones y obras que tienen por objeto la toma y almacenamiento del agua con vistas al suministro de agua potable a una comunidad. Cuando la calidad de esta agua no es satisfactoria se introducen obras de purificación que la adecuen a los fines requeridos.

Las fuentes de agua determinan, comúnmente, la naturaleza de las obras de colección, purificación, conducción y distribución. Las fuentes comunes de aguas dulces y su desarrollo son:

1. Agua de lluvia
 - a) De los techados almacenada en cisternas, para abastecimientos individuales reducidos.
 - b) De cuencas mayores preparadas o colectores, almacenada en depósitos, para suministros comunales grandes.
2. Agua superficial.
 - a) De corrientes estancques naturales, lagos de tamaño suficiente, mediante toma continua.
 - b) De corrientes con flujo adecuado, mediante toma intermitente, temporal o selectiva de la agua de avenidas limpias y su almacenamiento en depósitos adyacentes a las corrientes.
 - c) De corrientes con flujos bajos en tiempos de sequia, pero con suficiente descarga anual, almacenada en uno o a más depósitos formados mediante presas construidas a lo largo de los valles de la corriente
3. Agua subterránea.
 - a) De manantiales naturales.
 - b) De pozos.
 - c) De galerías filtrantes, estanques o embalses
 - d) De pozos galerías y posibles manantiales, con caudales alimentados con agua, provenientes de otras fuentes:
 - i) Esparcidas sobre la superficie del terreno colector
 - ii) Conducidas a diques o depósitos de carga.
 - iii) Alimentadas a galerías o pozos de difusión.

Los suministros municipales pueden provenir de más de una fuente, combinándose ordinariamente los rendimientos de las fuentes disponibles antes de hacer su distribución.

1.3.1 AGUA DE LLUVIA

El agua de lluvia es raramente la fuente inmediata de abastecimiento local. En cambio el acopio del agua de lluvia está confinado a granjas y establecimientos rurales, generalmente en áreas semiáridas, carentes de aguas subterráneas o superficiales satisfactorias. El almacenamiento transforma la recepción intermitente del agua de lluvia en una fuente de suministro continuo. Para servicio municipal, generalmente deberán agregarse vertientes o colectores situados en suelo naturalmente impermeable o impermeabilizado con recubrimientos, cementado, pavimentación u otros medios similares.

El rendimiento bruto de aguas pluviales es proporcional al área receptora y a la cantidad de la precipitación. En ocasiones deben desecharse las primeras aguas porque contienen polvo, desechos de pájaros y otras sustancias indeseables, los filtros de arena permiten limpiar el agua a la entrada de la cisterna y previene el deterioro debido al crecimiento de organismos ofensivos, originando cambios en sabor, olor y otras alteraciones en su apariencia y buen gusto.

El almacenamiento proporcionado por las cisternas, depende de la distribución de las lluvias, varía con la duración de los periodos secos y se aproxima generalmente a un valor comprendido entre un tercio y la mitad del consumo anual (*Geyer, 1996, P. 1*).

1.3.2 AGUAS SUPERFICIALES

La cantidad que puede captarse varía directamente con el tamaño del área colectora, o de la cuenca hidrológica, así como la diferencia entre la cantidad que cae sobre ella y la que se pierde por evaporación. Si las cuencas de aguas superficiales y las de aguas subterráneas no coinciden, puede entrar algo de agua subterránea desde áreas cercanas de captación o bien, escapar hacia ellas.

Las comunidades situadas a los lados de corrientes, estanques o lagos o en sus cercanías, pueden abastecerse de ellos mediante el consumo continuo, siempre que el flujo de la corriente o la capacidad del lago sea lo suficientemente grande durante todas las estaciones del año para suministrar

los volúmenes requeridos, el agua generalmente debe elevarse desde las tomas cercanas a la comunidad o hasta las plantas de purificación, y de ahí al sistema de distribución. Las ciudades a orillas de grandes lagos protegen sus abastecimientos contra las aguas negras propias y las residuales procedentes de procesos industriales.

Presas

Los ingenieros en búsqueda de aguas limpias que puedan llevarse y distribuirse a la comunidad por gravedad, han generado depósitos construyendo presas. Las cuales para que sean útiles, su descarga anual debe ser igual o mayor que la demanda de la comunidad que van a abastecer durante algunos años. El área que drena hacia los abastecimientos es el área de captación o cuenca hidrológica. Su desarrollo económico depende el valor del agua en la región, pero es también una función del escurrimiento y de su variación de la accesibilidad de la cuenca, de la interferencia con derechos existentes sobre el agua y de los costos de construcción

1.3.3 AGUAS SUBTERRANEAS

Los suministros subterráneos municipales son menores en su aportación diaria, pero muchas veces más numerosos que los abastecimientos superficiales. Las aguas subterráneas se extraen de muchas formaciones geológicas. Las fuentes subterráneas también tienen una área de captación, pero la alimentación o recarga se produce por filtración en aberturas del suelo.

El rendimiento máximo del agua de superficie es directamente proporcional al tamaño del área de toma y a la diferencia entre la precipitación y la suma de evapotranspiración (es toda el agua que se escapa a la atmósfera, ya sea por evaporación, transpiración u otros procesos) y el escurrimiento de las tormentas. El flujo se extiende lateralmente a través de la holgura del acuífero y verticalmente es tan profundo como la zona de poros abiertos y pasajes en la costra de tierra y tan vadoso como el nivel freático. Si un estrato poroso yace bajo la capa impermeable, el flujo está confinado, como si se tratara de un tubo (agua artesiana) y cuando se perfora la tierra y el agua bota a presión. En otras formaciones geológicas, el agua está confinada sobre el vertedero del nivel freático.

Manantiales

Los manantiales normalmente se aprovechan para captar el flujo natural de un acuífero y está agua sale a la superficie debido a: 1) que el suelo cae bruscamente bajo el nivel freático normal (manantiales de depresión); 2) Cuando una obstrucción geológica lleva tras de sí agua del suelo y la fuerza hacia la superficie (manantiales de contacto); y 3) cuando una falla en un estrato impermeable permite el agua escapar de su confinamiento (manantiales de contacto).

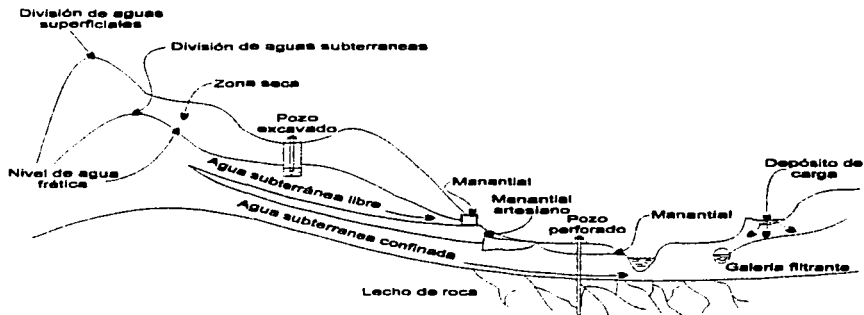


Fig. 1-4. Aguas subterráneas y su aprovechamiento como manantiales, pozos y galerías filtrantes (Geyer, 1996, p. 1).

Bajo circunstancias favorables el rendimiento puede aumentarse mediante la introducción de tubos colectores o galerías, situadas más o menos horizontalmente, dentro de las formaciones freáticas, que los alimentan (figura 1-4). La contaminación, generalmente, se origina, cerca del punto de captación y se puede evitar, circundando el manantial mediante una cámara hermética, que penetre hasta una distancia segura dentro del acuífero.

Pozos

Dependiendo de las formaciones geológicas y de su profundidad, los pozos son excavados, clavados, perforados y barrenados en el suelo. Los pozos excavados y clavados están restringidos a suelo suave y a profundidades menores de 30.5 m. Los suelos duros y las rocas requieren generalmente de pozos perforados barrenados hasta profundidades mucho mayores.

Los pozos generalmente no sufren de contaminación por filtración lateral, sino por entrada vertical de los contaminantes en la superficie del suelo o cerca de ella, esto se evita con revestimientos herméticos o sellos que penetran en el acuífero.

Galerías filtrantes

Las aguas subterráneas que se desplazan hacia las corrientes o lagos, proceden de tierras altas vecinas y pueden ser interceptadas mediante galerías filtrantes, tendidas más o menos, a ángulos rectos a la dirección del flujo, y que conducen el agua entrante a las estaciones de bombeo. Estos son, en esencia, pozos abiertos, grandes, largos y de poca profundidad. También pueden captarse agua subterránea de los túneles y escalonamientos, de minas galerías excavadas en las laderas de una montaña. Son particularmente útiles para explotar acuíferos de espesor reducido o donde deben excluirse aguas salinas profundas.

1.4 CONTAMINACIÓN

La Contaminación del agua, se considera a la incorporación al agua de materias extrañas, como microorganismos, productos químicos, residuos industriales, materia orgánica y de otros tipos. Estas materias deterioran la calidad del agua y la hacen inútil para los usos pretendidos. La materia extraña contaminante podrá ser materia inerte, como los compuestos de plomo o mercurio, o materia viva, como los microorganismos.

Una de las consecuencias de las propiedades físicas y químicas únicas del agua es que permite la contaminación fácilmente. El agua puede considerarse el ambiente líquido universal, para la materia viva y por consiguiente, es también propensa en forma excepcional a la contaminación por organismos vivos. Los medios de contaminación que implican la suspensión, disolución y cambio bioquímico no son necesariamente separados y distintos unos de otros.

1.4.1 PRINCIPALES CONTAMINANTES Y SU CLASIFICACIÓN

Las sustancias extrañas al agua pueden clasificarse con base a otras propiedades que las del tamaño de la partícula; pueden ser vivas o inertes, orgánicas o minerales, radioactivas o no radiactivas, tóxicas o inofensivas, entre otras. Puesto que el agua natural es químicamente pura primero veamos si las impurezas que se encuentran en ella pueden o no considerarse como contaminantes.

Los principales contaminantes del agua son los siguientes:

Aguas residuales y otros residuos que demandan oxígeno (en su mayor parte materia orgánica, cuya descomposición produce la desoxigenación del agua). Agentes infecciosos, nutrientes vegetales que pueden estimular el crecimiento de las plantas acuáticas. Éstas, a su vez,

interfieren con los usos a los que se destina el agua y, al descomponerse, agotan el oxígeno disuelto y producen olores desagradables.

Productos químicos; incluyendo los pesticidas, diversos productos industriales, las sustancias tensoactivas contenidas en los detergentes, y los productos de la descomposición de otros compuestos orgánicos.

Minerales inorgánicos y compuestos químicos; sedimentos formados por partículas del suelo y minerales arrastrados por las tormentas y escorrentías desde las tierras de cultivo, los suelos sin protección, las explotaciones mineras, las carreteras y los desechos urbanos.

Sustancias radiactivas procedentes de los residuos producidos por la minería y el refinado del uranio y el torio, las centrales nucleares y el uso industrial, médico y científico de materiales radiactivos.

Es conveniente clasificar las sustancias extrañas del agua según el volumen de sus partículas, por que es este volumen el que con frecuencia condiciona la eficiencia de los diversos métodos de purificación, de tal manera que podemos dividir a las impurezas del agua en tres clases:

Partículas suspendidas

Son las que tienen diámetro de aproximadamente un micrómetro. Son lo bastante grandes para ser retenidas por los filtros comunes, absorber la luz y ver que el agua que contaminan se vea sucia y turbia.

Partículas coloidales

Son tan pequeñas que pasan a través de los agujeros de la mayoría de los medios filtrantes; no se pueden eliminar del agua por sedimentación o filtración ordinaria. El agua que contiene partículas coloidales se aclara en el trayecto directo de la luz que la ilumina. Los colores de las aguas naturales, tales como el azul el verde y el rojo de los lagos y mares, son debido en gran parte a partículas coloidales.

Partículas disueltas

Este tipo de partículas no es retenida por medios filtrantes y no enturbia el agua. Estas partículas no son mayores de aproximadamente 1/1000 de micrómetro de diámetro. Si son eléctricamente neutras se les llama moléculas. Y si llevan una carga eléctrica se les conoce como iones.

1.4.2 FUENTES Y CONTROL

Las principales fuentes de contaminación acuática pueden clasificarse como urbanas, industriales y agrícolas.

La contaminación urbana está formada por las aguas residuales de los hogares y los establecimientos comerciales. Durante muchos años, el principal objetivo de la eliminación de residuos urbanos fue tan sólo reducir su contenido en materias que demandan oxígeno, sólidos en suspensión, compuestos inorgánicos disueltos (en especial compuestos de fósforo y nitrógeno) y bacterias dañinas. En los últimos años, por el contrario, se ha hecho más hincapié en mejorar los medios de eliminación de los residuos sólidos producidos por los procesos de depuración. Los principales métodos de tratamiento de las aguas residuales urbanas tienen tres fases: el tratamiento primario, que incluye la eliminación de arenillas: la filtración, el molido, la floculación (agregación de los sólidos) y la sedimentación; el tratamiento secundario, que implica la oxidación de la materia orgánica disuelta por medio de lodos biológicamente activos, que seguidamente es filtrado; y el tratamiento terciario, en el que se emplean métodos biológicos avanzados para la eliminación del nitrógeno, y métodos físicos y químicos, tales como la filtración granular y la adsorción por carbono activado. La manipulación y eliminación de los residuos sólidos representa entre un 25 y un 50% del capital y los costos operativos de una planta depuradora.

Las características de las aguas residuales industriales pueden diferir mucho tanto dentro como entre las empresas. El impacto de los vertidos industriales depende no sólo de sus características comunes, como la demanda bioquímica de oxígeno, sino también de su contenido en

sustancias orgánicas e inorgánicas específicas. Hay tres opciones (que no son mutuamente excluyentes) para controlar los vertidos industriales. 1) El control puede tener lugar allí donde se generan dentro de la planta; 2) Las aguas pueden tratarse previamente y descargarse en el sistema de depuración urbana; 3) Pueden depurarse por completo en la planta y ser reutilizadas o vertidas sin más en corrientes o cuerpos de agua.

La agricultura, la ganadería comercial y las granjas avícolas, son fuente de contaminantes orgánicos e inorgánicos de las aguas superficiales y subterráneas. Estos contaminantes incluyen tanto sedimentos procedentes de la erosión de las tierras de cultivo como compuestos de fósforo y nitrógeno que, en parte, proceden de los residuos animales y los fertilizantes comerciales. Los residuos animales tienen un alto contenido en nitrógeno, fósforo y materia consumidora de oxígeno, y a menudo albergan organismos patógenos. Los residuos de los criaderos industriales se eliminan en tierra por contención, por lo que el principal peligro que representan es el de la filtración y las escorrentías. Las medidas de control pueden incluir el uso de depósitos de sedimentación para líquidos, el tratamiento biológico limitado en lagunas aeróbicas o anaeróbicas, y toda una serie de métodos adicionales.

1.4.3 ENFERMEDADES CONTRAIDAS POR AGUA CONTAMINADA

Para calmar la sed del hombre, el agua potable debe ser pura y tener un buen sabor. Por lo tanto debe encontrarse libre de organismos patógenos; de sustancias venenosas o fisiológicamente indeseables; y por otra parte debe ser atractiva a los sentidos. Para que el agua sea aceptable y útil en términos generales, se le ha dado máxima importancia el que agua sea microbiológicamente segura para el consumo doméstico o industrial. Por eso que el cuidado del agua aún constituye la responsabilidad más esencial e indiscutible de las autoridades respectivas.

En el agua existen cinco clases de organismos capaces de infectar al ser humano: bacterias, protozoarios, helmintos, virus y hongos. Algunos de estos contemplan su ciclo de vida al pasar a través

de un portador acuático intermedio. Dentro de las enfermedades más importantes por contaminación de agua se encuentran:

Cólera

Es una enfermedad violenta en su inicio que va de 1 a 3 días y con frecuencia más fulminante en su evolución con una fatalidad de casos durante las epidemias de 5 a 75 %.

Fiebre tifoidea

Esta enfermedad es más persistente ya que los afectados son portadores activos más tiempo en su inicio dura de 2 a 3 semanas, pero menos violenta que el cólera

Disentería bacilar

Las especies causantes de esta varían ampliamente en cuanto a virulencia y respuesta del individuo a la infección. El número y agresividad de los organismos vaciados al ambiente son generalmente menores que para la fiebre tifoidea. Esta enfermedad comúnmente proviene de los alimentos infectados.

Protozoarios

En general los brotes de origen hídrico se asocian con la invasión de contaminantes en forma relativamente masiva a los sistemas de distribución, Por flujo a contracorriente desde los sistemas domésticos de drenaje y por conexiones cruzadas con suministros inseguros de agua.

Helmintos

Los huevos y las larvas de las lombrices intestinales pueden llegar a las corrientes acuáticas desde portadores humanos o animales, ya sea en forma directa o por deslaves del suelo. Las infecciones causadas por lombrices son esporádicas; ocurren en condiciones muy insalubres o por deficiencia en los sistemas de remoción de aguas negras. La irrigación en las cosechas que se consumen crudas pueden transmitir cualquiera de las lombrices intestinales comunes, la irrigación de los pastizales puede infectar al ganado, y a través de éste, al hombre.

1.5 NORMATIVIDAD

Es de considerar que las descargas de aguas residuales en las redes colectoras, ríos, cuencas, cauces, vasos, aguas marinas y demás depósitos o corrientes de agua y los derrames de aguas residuales en los suelos o su infiltración en los terrenos, provenientes de los sistemas de alcantarillado o drenaje municipal, provocan efectos adversos en los ecosistemas, por lo que es necesario fijar los límites máximos permisibles de contaminantes que deberán satisfacer dichas descargas. Así también las aguas residuales de origen urbano o municipal sin tratamiento o mezcladas, son utilizadas en gran proporción para el riego agrícola, cultivos hortícolas, hortofrutícolas y otros productos que se consumen crudos, por lo que para prevenir el deterioro ecológico y asegurar una calidad de agua satisfactoria para el bienestar de la población, es necesario fijar los parámetros físicos, químicos y en su caso bacteriológicos de los mismos y considerando que pueden afectar la salud humana es necesario determinar las condiciones bacteriológicas para su uso y asegurar una calidad de agua satisfactoria para el bienestar de la población.

1.5.1 DEFINICIONES

Para entender los efectos de las normas se asumen las definiciones siguientes:

1. **Límite máximo permisible promedio diario.**- Son los valores, rangos y concentraciones de los parámetros que debe cumplir el responsable de la descarga, en función del análisis de una muestra compuesta de las aguas residuales provenientes de los sistemas de alcantarillado o drenaje municipal.
2. **Límite máximo permisible instantáneo.**- Son los valores, rangos y concentraciones de los parámetros que debe cumplir el responsable de la descarga, en función del análisis de muestras instantáneas de las aguas residuales provenientes de los sistemas de alcantarillado o drenaje municipal.
3. **Muestra compuesta.**- La que resulta de mezclar varias muestras simples.

4. **Muestra simple o instantánea.**- La que se tome ininterrumpidamente durante el periodo necesario para completar un volumen proporcional al caudal, de manera que éste resulte representativo de la descarga de aguas residuales, medido en el sitio y en el momento del muestreo.
5. **Hortalizas.**- La acelga, ajo, apio, berro, betabel, brócoli, cebolla, cilantro, col, coliflor, epazote, espinaca, frijol ejotero, hierbabuena, hongo, lechuga, pápalo, perejil, quelite, quintonil, rábano, zanahoria, pepino, calabacita, jitomate, tomatillo y tomate verde o de cáscara, con excepción de las cinco últimas cuando se siembren con espaldera. Se equiparan a las hortalizas los siguientes frutos: fresa, jicama, melón, sandía y zarzamora.

1.5.2 CONTAMINANTES EN LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES

Sistemas de Alcantarillado

Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores provenientes de los sistemas de alcantarillado o drenaje municipal. Las descargas de aguas residuales provenientes de los sistemas de alcantarillado o drenaje municipal deben cumplir con las especificaciones que se indican en las Tablas 1-3 y 1-4.

TABLA 1-3 Para centros de población hasta 80,000 habitantes (NOM-33-94)

| Parámetro | Límites Máximos Permisibles | |
|--|-----------------------------|-------------|
| | Promedio Diario | Instantáneo |
| pH (Unidades de pH) | 6 - 9 | 6 - 9 |
| Sólidos suspendidos totales (mg/L) | 100 | 150 |
| Grasas y aceites (mg/L) | 20 | 30 |
| Sólidos sedimentables (mL/L) | 1.0 | 2.0 |
| Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L) | 100 | 150 |
| Demanda química de oxígeno (mg/L) | 200 | 250 |
| Substancias Activas al Azul de Metileno (mg/L) | 5 | 8 |

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

TABLA 1-4 Para centros de población mayores de 20,000 habitantes (NOM-33-94)

| Parámetro | Límites Máximos Permisibles | |
|--|-----------------------------|-------|
| | Promedio Diario | |
| | 6 - 9 | 6 - 9 |
| pH (Unidades de pH) | 50 | 80 |
| Sólidos suspendidos totales (mg/L) | 10 | 20 |
| Grasas y aceites (mg/L) | 1.0 | 1.2 |
| Sólidos sedimentables (mL/L) | 50 | 80 |
| Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L) | 100 | 160 |
| Demanda química de oxígeno (mg/L) | 5 | 8 |
| Substancias Activas al Azul de Metileno (mg/L) | | |

Aguas y Bienes Nacionales

Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales, las especificaciones que se indican en las Tablas 1-5 y 1-6.

Tabla 1-5 Límites máximos permisibles para contaminantes básicos (NOM-001-96)

| Parámetros (Miligramos por litro, excepto cuando se especifique) | Ríos | | | | Embalses naturales y artificiales | | | |
|---|-----------------------|---------|--------------------|---------|-----------------------------------|---------|--------------------|---------|
| | Uso en Riego Agrícola | | Uso público urbano | | Uso en Riego Agrícola | | Uso público urbano | |
| | P.M. | P.D. | P.M. | P.D. | P.M. | P.D. | P.M. | P.D. |
| Temperatura °C (1) | N.A. | N.A. | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 |
| Grasa y aceites (2) | 15 | 25 | 15 | 25 | 15 | 25 | 15 | 25 |
| Materia flotante (3) | Ausente | Ausente | Ausente | Ausente | Ausente | Ausente | Ausente | Ausente |
| Sólidos sedimentables (mL/L) | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| Sólidos suspendidos totales | 150 | 200 | 75 | 125 | 75 | 150 | 40 | 60 |
| Demanda bioquímica de Oxígeno | 150 | 200 | 75 | 150 | 75 | 150 | 30 | 60 |
| Nitrogeno total | 40 | 60 | 40 | 60 | 40 | 60 | 15 | 25 |
| Fosforo total | 20 | 30 | 20 | 30 | 20 | 30 | 5 | 10 |

(1) Instantáneo; (2) Muestra simple promedio ponderado; (3) Ausente según el método de prueba definido en la NMX-AA-006; P.D.=Promedio Diario; P.M.= Promedio mensual; N.A.= No es aplicable.

Tabla 1-6 Límites máximos permisibles para metales pesados y cianuros (NOM-001-96)

| Parámetros (*) (Miligramos por litro) | Ríos | | | | Embalses naturales y artificiales | | | |
|--|-----------------------|------|--------------------|------|-----------------------------------|------|--------------------|------|
| | Uso en Riego Agrícola | | Uso público urbano | | Uso en Riego Agrícola | | Uso público urbano | |
| | P.M. | P.D. | P.M. | P.D. | P.M. | P.D. | P.M. | P.D. |
| Arsénico | 0.2 | 0.4 | 0.1 | 0.2 | 0.2 | 0.4 | 0.1 | 0.2 |
| Cadmio | 0.2 | 0.4 | 0.1 | 0.2 | 0.2 | 0.4 | 0.1 | 0.2 |
| Cianuros | 1.0 | 3.0 | 1.0 | 2.0 | 2.0 | 3.0 | 1.0 | 2.0 |
| Cobre | 4.0 | 6.0 | 4.0 | 6.0 | 4.0 | 6.0 | 4.0 | 6.0 |
| Cromo | 1.0 | 1.5 | 0.5 | 1.0 | 1.0 | 1.5 | 0.5 | 1.0 |
| Mercurio | 0.01 | 0.02 | 0.005 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.005 | 0.01 |
| Níquel | 2.0 | 4.0 | 2.0 | 4.0 | 2.0 | 4.0 | 2.0 | 4.0 |
| Plomo | 0.5 | 1 | 0.2 | 0.4 | 0.5 | 1.0 | 0.2 | 0.4 |
| Zinc | 10 | 20 | 10 | 20 | 10 | 20 | 10 | 20 |

(*) Medidos de manera total; P.D.=Promedio Diario; P.M.= Promedio mensual; N.A.= No es aplicable.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

1.5.3 AGUAS RESIDUALES PARA RIEGO AGRÍCOLA Y DE HORTALIZAS

Aguas Residuales Para Riego Agrícola Y De Hortalizas

Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las aguas residuales de origen urbano o municipal para su disposición mediante riego agrícola, que aplica para los responsables de las descargas de aguas residuales de origen urbano o municipal, que cuenten con la aprobación de la autoridad competente para disponer de éstas mediante riego agrícola. Las descargas de aguas residuales de origen urbano o municipal que se dispongan mediante riego agrícola, deben cumplir con las especificaciones que se indican en la tabla 1-7.

Tabla 1-7. Especificaciones para máximos permisibles (NOM-032-93)

| Parámetros | Límites Máximos Permisibles |
|---------------------------------------|-----------------------------|
| pH (unidades de pH) | 6.5 a 8.5 |
| Conductividad Eléctrica(micromhos/cm) | 2000 |
| Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L) | 120 |
| Sólidos suspendidos totales(mg/L) | 120 |
| Aluminio (mg/L) | 5.0 |
| Arsénico (mg/L) | 0.1 |
| Boro (mg/L) | 1.5 |
| Cadmio (mg/L) | 0.01 |
| Cianuros (mg/L) | 0.02 |
| Cobre (mg/L) | 0.2 |
| Cromo Total (mg/L) | 0.1 |
| Hierro (mg/L) | 5.0 |
| Fluoruros (mg/L) | 3.0 |
| Manganeso (mg/L) | 0.2 |
| Níquel (mg/L) | 0.2 |
| Plomo (mg/L) | 5.0 |
| Selenio (mg/L) | 0.02 |
| Zinc (mg/L) | 2.0 |

Aguas Residuales Para Hortalizas

Establece las condiciones bacteriológicas para el uso de aguas residuales de origen urbano o municipal o de la mezcla de estas con la de los cuerpos de agua, en el riego de hortalizas y productos hortofrutícolas, esta norma debe de tomarse en cuenta para: Otorgar las autorizaciones, permisos o concesiones para el uso o aprovechamiento de aguas residuales en el riego de hortalizas y productos hortofrutícolas. Las restricciones de las aguas residuales de origen urbano o municipal o de la mezcla

de éstas con la de los cuerpos de agua, que se dispongan a través de su uso en el riego de hortalizas de consumo crudo, en lo relativo a parámetros bacteriológicos se clasifican en los siguientes tipos para efectos de determinar las clases de cultivos no permitidos:

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

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

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

Tipo 4.- La que contiene más de 100,000 Coliformes fecales por cada 100 mL

Los permisos y concesiones para el uso de aguas residuales con la de los cuerpos de agua en riego de hortalizas y productos hortofrutícolas, a las condiciones que a continuación se indican en la tabla 1-8:

Tabla 1-8. Condiciones para obtener permisos y concesiones de hortalizas (NOA1-033-93)

| Tipo De Riego | Tipo De Agua | Intervalo De Tiempo* | Cultivos No Permitidos |
|---------------|--------------|----------------------|--|
| Inundación | 1 | 20 | Los señalados en definiciones en el punto 5, excepto ajo, frijol ejotero, pepinillo pickle, pepino, jicama, melón y sandía. |
| Inundación | 2 | 20 | Los señalados en definiciones en el punto 5, excepto el melón y la sandía. |
| Inundación | 3 | 20 | Los señalados en definiciones en el punto 5. |
| Inundación | 4 | 20 | Los señalados en definiciones en el punto 5 y todas las demás hortalizas y frutos en general. |
| surco | 1 | 15 | Los señalados en definiciones en el punto 5, excepto ajo, frijol ejotero, pepino, pepinillo pickle, jicama, melón y sandía, así como el tomate verde o de cáscara. |
| surco | | 20 | Libre cultivo |
| surco | 2 | 20 | Los señalados en definiciones en el punto 5, excepto ajo, pepino, jicama, melón y sandía, así como el tomate verde o de cáscara. |
| surco | 3 | 20 | Los señalados en definiciones en el punto 5, excepto melón y sandía. |
| surco | 4 | 20 | Los señalados en definiciones en el punto 5 y todas las demás hortalizas y frutos en general. |
| Aspersión | 1 | 20 | Los señalados en definiciones en el punto 5, excepto ajo pepino, pepinillo pickle, jicama, melón y sandía. |
| Aspersión | 2 | 20 | Los señalados en definiciones en el punto 5 y todas las demás hortalizas y frutos en general. |

*Es el intervalo de tiempo mínimo(días) entre el último riego y la cosecha

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

1.5.4 ENVIRONMENT PROTECTION AGENCY (EPA)

Las aguas residuales tratadas son destinadas para satisfacer diferentes necesidades, tal como; necesidades domesticas de la población, en el riesgo de áreas verdes, la recreación, la industria, etc. necesitan cumplir con ciertos requisitos respecto al contenido de sustancias y organismos presentes en ellos, de tal forma que garanticen su manejo confiable y sin riesgos para la salud de quién esté en contacto con ellas y sin deteriorar las instalaciones y equipos de las actividades que la demanden. La EPA se pronuncia a este respecto con los valores que se muestran en la tabla 1-7.

Tabla 1-7. Criterios de calidad de agua residual tratada, para diversos usos (EPA, 1991)

| Parámetros | Areas Verdes y Forraje | Llenado de Lagos | Municipal no Potable | Potable |
|--------------------------------|------------------------|------------------|----------------------|---------|
| PH | 6.5 | 7.7 | 7.5 | 7.0 |
| Turbidez | 20 | 15 | 10 | 6 |
| Alcalinidad total | 500 | 500 | 300 | 300 |
| Bicarbonatos | 500 | 450 | 300 | 300 |
| Cloruros | 500 | 1000 | 500 | 250 |
| Sólidos totales | 1500 | 2000 | 1000 | 600 |
| Nitrógeno total | 10 | 10 | 10 | 10 |
| Fósforo total | 50 | 50 | 100 | 25 |
| Calcio total | 150 | 150 | 150 | NS |
| Magnesio total | 100 | 100 | 100 | NS |
| Sodio total | 100 | 250 | 250 | NS |
| Potasio total | 150 | 100 | 100 | NS |
| Coliformes totales | 1600 | 10 | 20 | 2E-6 |
| Coliformes fecales | 30000 | 1000 | 5 | 50E-6 |
| Materia orgánica DBO, solubles | 20 | 20 | 10 | 2.5 |
| DQO solubles | 50 | 50 | 20 | 4 |
| Grasa y aceites | 50 | 10 | 20 | 1 |

Nota: NS = no sancionados, valores en mg/l, Coliformes = millones de colonias/100ml, Turbidez = nefelométricas

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CAPITULO II

PROCESOS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES

2.1 AGUA RESIDUAL Y SU USO

El origen, composición y cantidad de los desechos están relacionados con los hábitos de vida vigentes. Cuando un producto de desecho se incorpora al agua, el líquido resultante recibe el nombre de agua residual.

Las aguas residuales domésticas son el resultado de actividades cotidianas de las personas. La cantidad y naturaleza de los vertidos industriales es muy variada, dependiendo del tipo de industria, de la gestión de su consumo de agua y del grado de tratamiento que los vertidos reciben antes de su descarga

La composición de las aguas residuales se analiza con diversas mediciones físicas, químicas y biológicas. Las mediciones más comunes incluyen la determinación del contenido en sólidos, la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), la demanda química de oxígeno (DQO) y el pH.

Los residuos sólidos comprenden los sólidos disueltos y en suspensión. Los sólidos disueltos son productos capaces de atravesar un papel de filtro, y los suspendidos los que no pueden hacerlo. La concentración de materia orgánica se mide con los análisis DBO y DQO. La DBO es la cantidad de oxígeno empleado por los microorganismos para descomponer la materia orgánica de las aguas residuales a una temperatura de 20 °C. De modo similar, la DQO es la cantidad de oxígeno necesario para oxidar la materia orgánica por medio de dicromato en una solución ácida y convertirla en dióxido de carbono y agua. El valor de la DQO es siempre superior al de la DBO porque muchas sustancias orgánicas pueden oxidarse químicamente, pero no biológicamente. La DBO suele emplearse para comprobar la carga orgánica de las aguas residuales municipales e industriales biodegradables, sin tratar y tratadas. La DQO se usa para comprobar la carga orgánica de aguas residuales que, o no son biodegradables o contienen compuestos que inhiben la actividad de los microorganismos. El pH mide la acidez de una muestra de aguas residuales. El contenido típico en materia orgánica de estas aguas es un 50% de carbohidratos, un 40% de proteínas y un 10% de grasas; y entre 6,5 y 8,0, el pH puede variar.

De acuerdo con el Plan Nacional Hidráulico, para 1995 México contaba con una población total de 91.6 millones de habitantes de los cuales 15.1 millones carecen del servicio de agua potable y 30.2 millones no cuentan con alcantarillado. En lo que se refiere a las comunidades rurales, que es

precisamente donde se agudizan las carencias de los servicios más elementales, el 45% de ellas están sin servicio de agua potable y el 84% sin servicio de alcantarillado (Collu, 1997).

La limitante clave que deben enfrentar los municipios al proporcionar servicios de saneamiento en el medio rural y zonas marginadas es precisamente la falta de tecnología de bajo costo. Considerando esta situación deben proponerse tecnologías que puedan adaptarse a las necesidades de dichas comunidades. Por lo tanto el principal trabajo es hacer accesibles a las pequeñas comunidades del país una alternativa de tratamiento de aguas residuales que permitan combatir y prevenir la contaminación de las fuentes de agua disponibles en la forma más económica posible.

El desbalance entre el recurso hídrico y el crecimiento explosivo de las grandes ciudades, ha obligado a priorizar el uso de aguas superficiales para abastecimiento público y generación de energía eléctrica. Como lógica consecuencia, la actividad agrícola ubicada en la periferia de las ciudades se ha visto seriamente afectada y ha optado por el uso de aguas residuales como única alternativa de supervivencia.

En 1992 México reportó 350 000 hectáreas agrícolas regadas directamente con aguas residuales y en la costa del Perú existen más de 4 000 hectáreas regadas con esta agua (CEPIS, 1997).

La contaminación del agua y de los alimentos constituye un importante factor de riesgo de enfermedades diarreicas; se ha calculado que hasta un 70% de los 1400 millones de episodios de diarrea que afectan a los niños menores de 5 años en todo el mundo se debe a patógenos transmitidos por el agua y los alimentos. Las cepas de *Escherichia coli*, por sí solas causan el 25% de todas las diarreas en el mundo (CEPIS, 1997).

La capacidad de renovación de los cuerpos de agua es finita, sin embargo se cree en la asimilación ilimitada por parte de la naturaleza. Es por ello que no se le ha otorgado la prioridad necesaria a la descontaminación de los cursos superficiales de agua. Tampoco existe en los diversos sectores de nuestra sociedad una percepción completa de los efectos que podrían ocasionar en la salud la disposición de aguas residuales sin tratamiento previo.

Un estudio realizado en Lima, Perú, permitió comparar la calidad sanitaria de los productos alimenticios regados con aguas de río no contaminados y con aguas residuales crudas y tratadas. Los resultados de la evaluación sanitaria de los productos agrícolas se resumen en la figura 2-1. Los productos regados con aguas residuales crudas mostraron mayor presencia de entero parásitos, el riesgo disminuyó en las verduras regadas con aguas residuales tratadas y aguas superficiales no contaminadas.

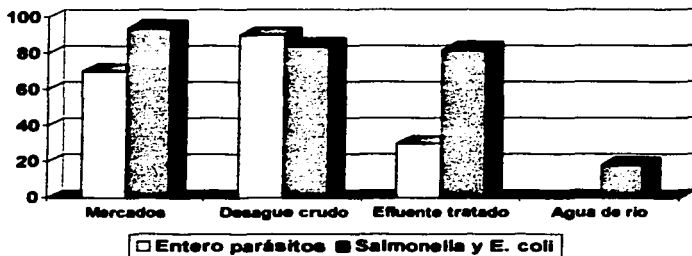


Fig. 2-1. Nivel de contaminación en los riegos (CEPIS, 1997)

En los métodos convencionales de tratamiento de agua residuales acentúan la reducción o la eliminación de la demanda bioquímica de oxígeno y de los sólidos en suspensión, en tanto que en el tratamiento para aprovechamiento se exige la eliminación de agentes patógenos como los helmintos, operación para la cual no son muy eficaces los métodos convencionales.

Por tanto, cada sistema de aprovechamiento exige un objetivo relacionado con la calidad de las aguas residuales tratadas, en lo que respecta a la máxima concentración permisible de determinados microorganismos. Las directrices apropiadas para fines de diseño permitirán seleccionar la tecnología de tratamiento de aguas residuales y las técnicas administrativas de aprovechamiento que ofrezcan el grado de protección sanitaria que se necesite.

Se pueden tomar varias medidas, para proteger la salud al aprovechar aguas residuales: 1) tratamiento de éstas; 2) restricción de cultivos; 3) control de las clases de empleo de las aguas residuales; 4) exposición a las mismas y 5) fomento de la higiene. De éstas, el tratamiento de las aguas residuales y la restricción de cultivos han sido las más ampliamente adoptadas en los sistemas de aprovechamiento controlado.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

2.2 TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL

El tratamiento de aguas negras se refiere al procesamiento de las aguas residuales, sobre todo domésticas, producidas por actividades típicas de la comunidad y de las familias. En áreas rurales, las características de las aguas negras tienden a encuadrarse en esta definición. Cuanto más crecen las ciudades y se industrializan, el volumen y la característica de alguna industria en particular puede afectar la composición de las aguas negras.

Quando las aguas negras llegan a la planta de tratamiento, pasan primero a través de una serie de tamices que eliminan objetos grandes; luego a través de un mecanismo de trituración, que reduce todos los objetos remanentes a un tamaño lo suficientemente pequeño para ser tratados eficazmente, esto se conoce como pretratamiento. Posteriormente pasa al tratamiento primario en el cual se emplean una serie de cámaras de depósito, para sedimentar los sólidos en suspensión y materiales flotantes. Si en este punto las aguas negras son vertidas ahora a un río esto no se ve tan mal, porque la corriente no lleva sólidos visibles, pero sigue constituyendo un poderoso contaminante, que lleva una fuerte carga de microorganismos, muchos de los cuales son patógenos. Es por ello que se hace necesario el tratamiento secundario, el cual consiste en un tratamientos biológico convencionales. Finalmente el tratamiento terciario que permite eliminar la contaminación que no se elimina con el tratamiento secundario.

Las prácticas de tratamiento de aguas de desecho varían tanto en el tipo de equipo como en las secuencias de tratamiento. La mayor parte de las plantas caen dentro de alguna categoría básica como se muestra en la figura 2-2.

2.2.1 PRETRATAMIENTO

El objeto del pretratamiento consiste en separar de las aguas negras aquellos constituyentes que pudiesen obstruir o dañar las bombas, o interferir con los procesos subsiguientes del tratamiento, para lograr esto se usa equipo muy variado, como los siguientes.

Rejas y cribas de barras

Están formadas por barras usualmente separadas desde 2 hasta 15 centímetros. Generalmente tienen claros de 2.5 a 5 cm. Aunque algunas veces se usan las rejas grandes en posición vertical, la regla general es que deben instalarse con un ángulo de 45 a 60 ° con la vertical. Los sólidos separados por estos utensilios, se eliminan enterrándolos o incinerándolos, o se reduce de tamaño con trituradoras o desmenuzadoras y se reintegran a las aguas negras.

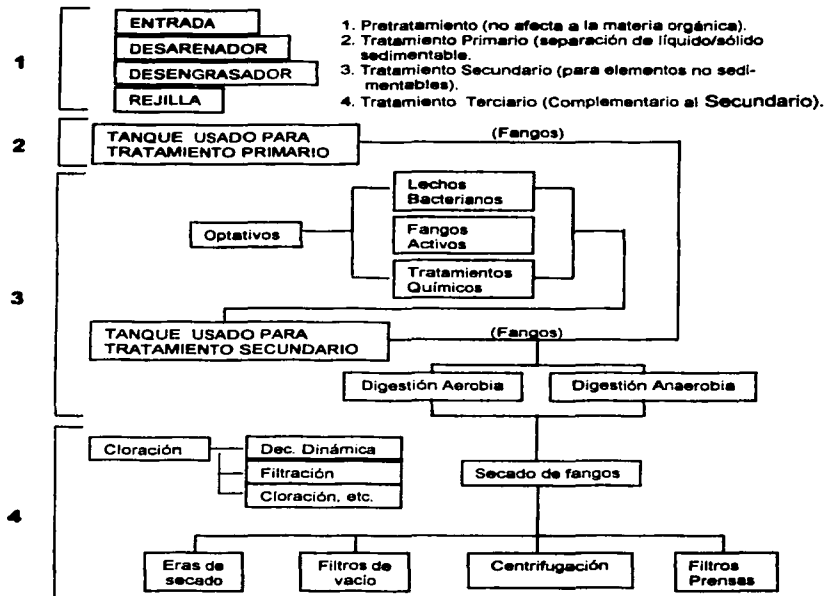


Fig. 2-2. Esquema secuencial de una depuración de aguas negras (Hernandez M., 1992)

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Cribas finas

Se usan generalmente en el tratamiento de muchos tipos de desechos industriales, pero no se consideran adecuadas para el tratamiento de aguas negras, salvo en casos excepcionales, debido a las restringidas aplicaciones que tienen.

Desmenuzadores

Los molinos, cortadoras y trituradoras, son dispositivos que sirven para romper o cortar los sólidos hasta un tamaño tal que no obstruyan bombas o tuberías, o afecten los sistemas de tratamientos posteriores.

Desarenadores

Las aguas negras contienen por lo general, cantidades relativamente grandes de sólidos inorgánicos como arena, cenizas y grava, a los que generalmente se les llama arena. Las arenas pueden dañar las bombas por abrasión y causar serias dificultades en los tanques de sedimentación y en la digestión de los lodos por acumularse junto a las salidas causando obstrucciones.

Tanques de preaeración

A veces se procura una preaeración de las aguas negras, para lograr lo siguiente:

- a) Obtener una mayor eliminación de sólidos suspendidos, en tanques de sedimentación.
- b) Ayudar a la eliminación de grasas y aceites que arrastren las aguas negras.
- c) Refrescar las aguas negras sépticas antes de llevar a cabo el tratamiento.
- d) Disminuir la DBO.

2.2.2 TRATAMIENTO PRIMARIO

Los dispositivos que se usan en el tratamiento primario, se diseñan para retirar de las aguas negras, los sólidos orgánicos e inorgánicos sedimentables, mediante el proceso físico de sedimentación. Esto se lleva a cabo reduciendo la velocidad del flujo. En el tratamiento preliminar se disminuye esta velocidad unos 30 cm/s, durante un corto lapso de tiempo, durante el cual se depositan como arenas los sólidos inorgánicos más pesados. En el tratamiento primario la velocidad del flujo se reduce hasta 1 o 2 cm/s, en un tanque de asentamiento o sedimentación, durante el tiempo suficiente, para dejar que se depositen la mayor parte de los sólidos sedimentables que son principalmente orgánicos, separándose de la corriente de aguas negras.

Los principales dispositivos para el tratamiento primario son los tanques de sedimentación, algunos de los cuales tienen la función adicional de servir para la descomposición de los sólidos orgánicos sedimentados, lo cual se conoce como digestión de lodos. Son diversos los tipos de tanques que se usan en este proceso.

Tanques sépticos

El tanque séptico fue uno de los dispositivos de tratamiento primario más antiguos que se usaron. Está diseñado para mantener a las aguas negras a una velocidad muy baja y bajo condiciones anaeróbicas, por un periodo de 12 a 24 horas, durante el cual se efectúa una gran eliminación de sólidos sedimentables (ver figura 2-3). Debido a los largos periodos de retención y a la mezcla con los sólidos en descomposición, las aguas negras salen del tanque en una condición séptica que dificulta el tratamiento secundario. Los tanques sépticos ya no se usan excepto en instalaciones muy pequeñas.

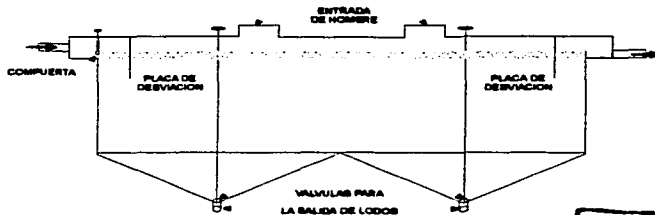


Fig. 2-3. Esquema de tanque séptico (Hilleboe, 1995)

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Tanques de doble acción

Estos tanques se idearon para corregir los defectos principales del tanque séptico:

- a) Impedir que los sólidos que sean separados por las aguas negras se mezclen nuevamente con ellas, permitiendo la retención de estos sólidos para su descomposición en la misma unidad.
- b) Proporcionar un efluente aceptable para un tratamiento ulterior.

El Dr. Karl Imhoff (Crües, 1994) fue el primero que diseñó el tanque Imhoff (ver figura 2-4), el cual puede ser rectangular o circular, y se divide en tres compartimentos, que son:

1. La sección superior recibe el nombre de cámara de derrame continuo ó compartimiento de sedimentación.
2. La sección inferior que se le conoce como cámara de digestión de lodos.
3. El respiradero y la cámara de natas.

Durante la operación, todas las aguas negras fluyen a través del compartimiento superior. Los sólidos se depositan en el fondo de este compartimiento, que tiene pendientes, resbalando y pasando por una ranura que hay en el fondo. Una de las partes inclinadas del fondo se prolonga más allá de la ranura, lo cual hace la trampa que impide que los gases o partículas de lodos en digestión que hay en la sección inferior, se pongan en contacto con las aguas negras que hay en la sección superior. Los gases y partículas ascendentes de lodo son desviados hacia la cámara de natas y respiradero.

Debe controlarse el pH en el compartimiento de lodos y mantenerse por encima de 6.8 para prevenir cualquier condición ácida desfavorable para una digestión adecuada. Esto puede lograrse

mediante la acción de lechada de cal en forma gradual, al influente, o agregando cal en la cámara de natas.

El tanque Imhoff no tiene problemas mecánicos y es relativamente económico y fácil de operar. Provee la sedimentación y digestión de los lodos en una sola unidad y debe producir un efluente primario de calidad satisfactoria, eliminando de 40 a 60 % de sólidos suspendidos y reduciéndose la DBO en un 25 a 35 %.

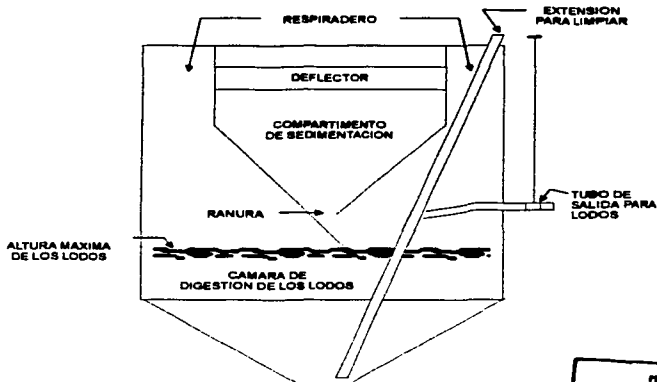


Fig. 2-4. Esquema del tanque Imhoff (Crites, 1994)

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Tanques de sedimentación simple

Estos son tanques cuya función principal consiste en separar los sólidos sedimentables de las aguas negras, mediante el proceso de sedimentación los sólidos asentados se substráen continuamente a intervalos frecuentes, para no dar tiempo a que se desarrolle la descomposición con formación de gases. No obstante este método ha sido reemplazado por el uso de equipo mecánico para recolectar los sólidos en la tolva o embudo, de donde son descargados por bombeo. Los tanques que tienen equipo

para la recolección de los sólidos se conocen como tanques de sedimentación simple con limpieza mecánica (ver figura 2-5).

Los tanques de sedimentación simple con limpieza mecánica, pueden ser rectangulares, circulares o cuadrados pero todos operan por el mismo principio de recolectar los sólidos sedimentados por medio de rastras de movimiento lento que los empujan hacia el sitio de descarga.

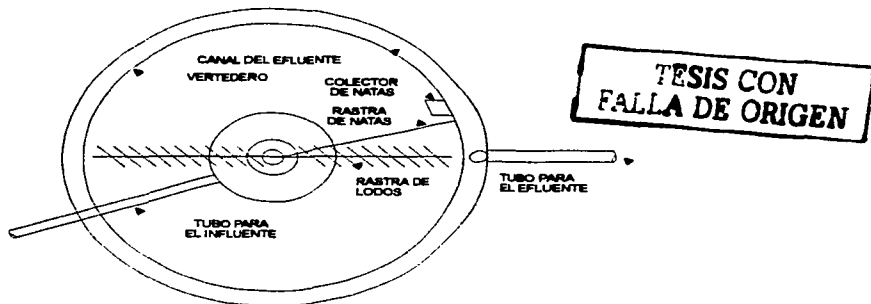


Fig. 2-5. Tanque de sedimentación simple circular (Hilleboe, 1995)

En los tanques rectangulares las rastras se fijan cerca de las orillas en una cadena sin fin que pasa sobre grandes engranes o ruedas dentadas accionados por medio de motores. Las rastras se hacen pasar lentamente rozando el fondo del tanque empujando los sólidos sedimentados hacia una tolva de lodos localizada en el extremo del tanque luego son levantadas por la cadena hacia la superficie del tanque en donde parcialmente sumergidas sirven para empujar los sólidos flotantes las grasas y los aceites a un recolector de natas situado en el extremo de la salida del tanque.

Los tanques circulares tienen armaduras horizontales fijas a un eje central impulsado por un motor. El fondo de los tanques está inclinado hacia el centro y las rastras mueven a los sólidos sedimentados hacia la tolva o embudo de lodos que hay en el centro las armaduras desnatadoras que están sujetas a la flecha central en la superficie para recolectar los sólidos flotantes, las grasas y los aceites.

Tratamiento químico

El tratamiento químico se suele considerar como un tratamiento intermedio, por que los resultados que se obtienen con él son mejores que los del tratamiento primario, pero no tan buenos como los del tratamiento secundario. Éste tratamiento de uno de los más antiguos métodos de tratamiento de aguas negras, su uso se ha restringido a casos muy especiales, debido al progreso de los métodos de tratamiento secundario, a la supervisión que se requiere, al costo de los reactivos y a las cantidades excesivas de lodos de las que tiene que disponerse.

Tiene aún aplicación en el tratamiento de desechos industriales que no son fácilmente tratados biológicamente y en donde las condiciones de las aguas receptoras exigen periódicamente un mayor grado de tratamiento primario.

2.2.2 TRATAMIENTO SECUNDARIO

Si un tratamiento primario completo no es suficiente, existen dos métodos básicos de tratamiento secundario que pueden aplicarse y que son: los filtros goteadores y los lodos activados. En estos tipos de tratamiento se emplean cultivos biológicos para llevar a cabo una descomposición aeróbica u oxidación del material orgánico, transformándolo en compuestos más estables, logrando un mayor grado de tratamiento que el que se obtiene sólo con sedimentación primaria.

En los filtros, los organismos están adheridos al medio filtrante y hacia ellos va el material orgánico sobre el cual tienen que trabajar. En cambio en los lodos activados son los organismos los que se llevan hasta la materia orgánica de las aguas negras. En ambos casos el éxito estriba en mantener las condiciones aeróbicas ambientales que son favorables para el ciclo de vida de los organismos y en controlar la cantidad de materia orgánica que descompongan. La materia orgánica es el alimento de que se sustentan estos organismos y su eficiencia disminuye tanto por una sobre alimentación como por alimentación deficiente.

Filtros goteadores o rociadores

Los filtros goteadores son unidades resistentes que no se dañan fácilmente por cargas violentas, distinguiéndose por la estabilidad de su funcionamiento y por ser capaces de resistir malos tratos. Como en todas las unidades de tipo biológico la temperatura les afecta; por eso, el clima frío disminuye la actividad biológica del filtro. Estos filtros ocupan grandes superficies y su construcción es muy costosa.

Por economía, los filtros deben ser precedidos por tanques de sedimentación primaria equipados con colectores de natas, esto permite aprovechar al máximo su capacidad haciendo fácilmente sedimentables los sólidos no sedimentables, coloidales y disueltos. Estos sólidos orgánicos en su mayor parte, no son separados de las aguas negras, sino que se convierten en parte integrante de los organismos vivos microscópicos o de la materia orgánica estable que se adhiere temporalmente al medio filtrante y de la materia inorgánica que sale en el efluente. El material adherido o retenido se desprende eventualmente y es arrastrado por el efluente del filtro. Por esta razón los filtros goteadores deben proceder a tanques de sedimentación secundaria, para eliminar definitivamente los sólidos de las aguas negras.

Un filtro goteador típico (ver figura 2-6), consiste de tres partes:

- 1) **El lecho o medio filtrante.** Depende generalmente del material que se disponga en la localidad ya que es posible emplear grava, piedra triturada, escorias de los altos hornos y la antracita. Cualquiera que sea el producto que se emplee, usualmente se especifica que debe ser homogéneo, duro, limpio insoluble de los constituyentes de las aguas negras.
- 2) **Sistema recolector.** Los colectores satisfacen dos propósitos: a) retirar las aguas negras que han pasado a través del filtro para aplicarles el tratamiento subsecuente y se disponga de ellas; b) proporcionar ventilación al filtro para mantenerlo en condiciones aeróbicas. La dirección de la circulación del aire a través del filtro, depende de la diferencia de temperaturas entre el filtro y las aguas negras que se utilicen.
- 3) **Distribuidores.** Las aguas negras se distribuyen en la superficie del lecho mediante aspersores fijos o distribuidores giratorios. Los aspersores se fijan en tubos que descansan sobre el medio filtrante y son alimentados mediante un tanque dosificador controlado por un sifón. Por este método se aplican las aguas negras al filtro durante periodos cortos. Los aspersores fijos han sido substituidos en su

mayoría por distribuidores giratorios, los cuales llevan a cabo una dosificación más uniforme sobre toda la superficie del lecho.

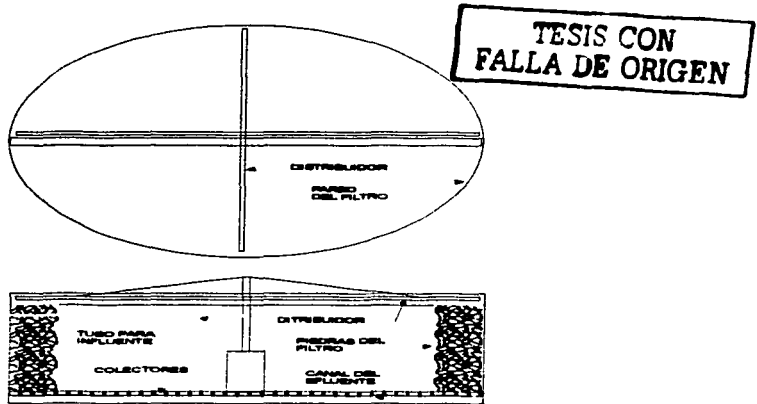


Fig. 2-6. Filtro Goteador (Hilleboe, 1995)

Lodos activados

Es un proceso biológico de contacto, en el que los organismos vivos aerobios y los sólidos orgánicos de las aguas negras se mezclan íntimamente en un medio ambiente favorable para la descomposición aeróbica de los sólidos. Como el mismo medio ambiente está formado por las mismas aguas negras, la eficacia del proceso depende de que se mantenga continuamente oxigenadas las aguas negras durante todo el tratamiento.

Es necesario, por lo tanto, agregar muchos más organismos y distribuirlos bien por todas las aguas negras, antes de que el proceso de lodos activados empiece a funcionar con eficiencia.

Las aguas negras contienen algo de sólidos suspendidos y coloidales, de manera que cuando se agitan en presencia de aire, los sólidos suspendidos forman núcleos sobre los cuales se desarrolla la

vida biológica, pasando gradualmente a formar partículas más grandes de sólidos que se conocen como lodos activados. Estos lodos activados, con sus organismos vivos, tienen la propiedad de absorber o adsorber la materia orgánica coloidal y disuelta. Los organismos biológicos utilizan como alimento al material absorbido convirtiéndolo en sólidos insolubles no putrescibles.

La generación de lodos activados, es un proceso lento, pues se requiere de una gran concentración de lodos activados. Esta gran concentración se logra recolectando los lodos producidos por cada volumen de aguas negras tratadas y usándolos nuevamente para el tratamiento de volúmenes subsiguientes de aguas negras.

Los lodos activados deben mantenerse en suspensión durante su periodo de contacto con las aguas negras a tratar mediante algún método de agitación. Por lo tanto, el proceso de lodos activados consta de las siguientes etapas:

1. Mezclado de los lodos activados con las aguas negras que se van a tratar
2. Aereación y agitación de este licor mezclado durante el tiempo que sea necesario.
3. Separación de los lodos activados, del licor mezclado
4. Recirculación de la cantidad adecuada de los lodos activados, para mezclarlos con las aguas negras.
5. Disposición del exceso de lodos activados.

Se han desarrollado diversas variaciones para llevar a cabo los pasos anteriores, con el propósito de lograr diferentes condiciones. Esto ha dado origen a que se use el termino "método convencional de lodos activados" para distinguir el proceso original, asignando nombres específicos a las variaciones del proceso original, tales como:

Proceso convencional de lodos activados. Todas las aguas negras sedimentadas se mezclan con los lodos activados recirculados a la entrada del tanque de aereación. Con aguas negras domesticas el volumen de lodos recirculados es de 20 a 30 % del volumen de aguas negras que se van a tratar. Éste proceso es capaz de llevar a cabo un alto grado de purificación.

Aereación escalonada. En este proceso las aguas negras entran al tanque de aereación por diversos lugares, pero todos los lodos recirculados se introducen en el primer punto de entrada con o sin una porción de aguas negras. En este proceso se puede lograr un tratamiento que sea prácticamente igual al proceso convencional de lodos activados.

Aeración graduada. Este proceso se desarrolló basándose en la teoría de que se necesita mayor cantidad de aire durante el principio del periodo de aereación. Las ventajas de este proceso son: un

mejor control del proceso cuando se presentan cargas repentinas y una disminución del costo de operación.

Aeración modificada. También se conoce como tratamiento intensivo con lodos activados. Es aplicable cuando las aguas receptoras requieren que se efectuó un mayor grado de tratamiento que el que se logra con el tratamiento primario.

Lagunas de Oxidación

Durante los últimos años se a desarrollado un sistema de tratamiento de aguas negras que se basa en el uso de estanques especialmente preparados, a los cuales se les llama estanques de estabilización. Estos estanques se usaron primero en zonas en las que prevalecen los climas caluroso y los días soleados, pero se ha visto que operan también con resultados satisfactorios en climas más fríos y más nublados.

Las lagunas de oxidación pueden usarse como un tratamiento completo cuando reciben aguas negras crudas, o como un tratamiento secundario para aguas negras sedimentadas, o también como un tratamiento adicional para efluentes de procesos secundarios.

Una laguna de estabilización es una estructura simple para embalsar aguas residuales con el objeto de mejorar sus características sanitarias. Las lagunas de estabilización se construyen de poca profundidad y con periodos de retención relativamente grandes (por, lo general de varios días).

Cuando las aguas residuales son descargadas en lagunas de estabilización se realiza en las mismas, en forma espontánea, un proceso conocido como autodepuración o estabilización natural, en el que ocurren fenómenos de tipo físico, químico, bioquímico y biológico. Este proceso se lleva a cabo en casi todas las aguas estancadas con alto contenido de materia orgánica putrescible o biodegradable.

Los parámetros mas utilizados para evaluar el comportamiento de las lagunas de estabilización de aguas residuales y la calidad de sus efluentes son la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), que caracteriza la carga orgánica; y el número más probable de coliformes fecales (NMP CF/100mL), que caracteriza la contaminación microbiológica. También tienen importancia los sólidos totales sedimentables, en suspensión y disueltos. Por lo tanto se presenta en la tabla 2-1 las diferencias en remoción de patógenos en los diferentes proceso de tratamiento de aguas residuales.

TABLA 2-1 Porcentaje de remoción de patógenos por medio de varios procesos de tratamiento de aguas residuales (Rolim, 2000)

| Tratamiento | Virus entericos | Bacterias | Quistes de protozoos | Huevos de helmintos |
|---|-----------------|-----------|----------------------|---------------------|
| 1. Primario-Secundario | 0-30 | 50-90 | 10-50 | 30-90 |
| 2. Filtro percolador+ | 90-95 | 90-95 | 50-90 | 50-95 |
| 3. Lodo activado+ | 90-99 | 90-99 | 50 | 50-99 |
| 4. Zanjas de oxidación+ | 90-99 | 90-99 | 50 | 50-99 |
| 5. Lagunas de estabilización. Tres unidades en serie; con >= 25 días de retención | >=99.99 | >=99.99 | 100 | 100 |
| 6. Tanques sépticos | 50 | 50-90 | 0 | 50-90 |

Generalmente, cuando la carga orgánica aplicada a las lagunas es baja (<300 Kg de DBO/ha/día), suelen desarrollarse poblaciones de algas microscópicas (clorelas, euglenas, etc.) que, en presencia de la luz solar, producen grandes cantidades de oxígeno. Estas lagunas con cargas orgánicas bajas reciben el nombre de facultativas.

Cuando la carga orgánica es muy grande, la DBO excede la producción de oxígeno de las algas (y de la aeración superficial) y la laguna se torna totalmente anaerobia.

Proceso aerobio. El proceso aerobio se caracteriza porque la descomposición de la materia orgánica se lleva a cabo en una masa de agua que contiene oxígeno disuelto. En este proceso, en el que participan bacterias aerobias o facultativas, se originan compuestos inorgánicos que sirven de nutrientes a las algas, las cuales a su vez producen más oxígeno que facilita la actividad de las bacterias aerobias. Existe pues una simbiosis entre bacteria y algas que facilita la estabilización aerobia de la materia orgánica. El desdoblamiento de la materia orgánica se lleva a cabo con intervención de enzimas producidas por las bacterias en sus procesos vitales.

Las algas logran, a través de procesos inversos a los anteriores, en presencia de la luz solar, utilizar los compuestos inorgánicos para sintetizar materia orgánica que incorporan a su protoplasma. A través de este proceso, conocido como fotosíntesis, las algas generan gran cantidad de oxígeno disuelto.

Como resultado final, en el estrado aerobio de una laguna facultativa se lleva a cabo la estabilización de la materia orgánica putrescible (muerta) originalmente presente en las aguas residuales, la cual se transforma en materia orgánica (viva) incorporada en el protoplasma de las algas.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

En las lagunas de estabilización el agua residual no se clarifica como en las plantas de tratamiento convencional pero se estabiliza, pues las algas son materia orgánica viva que no ejerce DBO.

Proceso anaerobio. Las reacciones anaerobias son más lentas y los productos pueden originar malos olores. Las condiciones anaerobias se establecen cuando el consumo de oxígeno disuelto es mayor que la incorporación del mismo a la masa de agua por la fotosíntesis de las algas, esto hace que la laguna se torne de color gris oscuro. El desdoblamiento de la materia orgánica sucede en una forma más lenta y se generan malos olores por la producción de sulfuro de hidrógeno.

Papel del plankton en las lagunas de estabilización facultativas. Las algas tienen un papel sumamente importante en el proceso biológico de las lagunas de estabilización, pues son los organismos responsables de la producción de oxígeno molecular, elemento vital para las bacterias que participan en la oxidación bioquímica de la materia orgánica.

La presencia de las algas en niveles adecuados, asegura el funcionamiento de la fase aerobia de las lagunas, cuando se pierde el equilibrio ecológico se corre el riesgo de producir el predominio de la fase anaerobia, que trae como consecuencia una reducción de la eficiencia del sistema.

Conviene que las lagunas de estabilización trabajen bajo condiciones definitivamente facultativas o definitivamente anaeróbicas ya que el oxígeno es un tóxico para las bacterias anaerobias que realizan el proceso de degradación de la materia orgánica; y la falta de oxígeno hace que desaparezcan las bacterias aerobias que realizan este proceso.

Las lagunas de estabilización con una gran relación largo/ancho (Largo/Ancho >5) reciben el nombre de lagunas alargadas. Estas lagunas son muy eficientes en la remoción de carga orgánica y bacterias patógenas, pero deben ser precedidas por dos o más lagunas primarias que retengan los sólidos sedimentables. Estas lagunas primarias, evitan tener que sacar de operación a las lagunas alargadas para llevar a cabo la remoción periódica de lodos.

Los efluentes de las lagunas de estabilización, por su calidad bacteriológica, pueden usarse en cualquier actividad agropecuaria, desde la horticultura, los cultivos agroindustriales y acuicultura hasta la forestación. El dimensionamiento de estos sistemas estará ligado a la calidad de los efluentes requerida para cada tipo de uso.

Si el único objetivo fuese descontaminar el recurso hídrico, todos los proyectos serían inviables financieramente. Sin embargo, si se aprovecha la excelente calidad bacteriológica y la riqueza en

nutrientes que ofrecen las aguas tratadas mediante lagunas de estabilización, es posible obtener otros beneficios como el de una producción agropecuaria próxima a los centros de consumo. Así, la pronta recuperación de nuestro limitado recurso hídrico sería una realidad.

2.2.4 TRATAMIENTOS DESCENTRALIZADOS

El sistema descentralizado de manejo de aguas residuales (SDMAR) puede definirse como la recolección, tratamiento y vertimiento o reutilización de aguas residuales provenientes de hogares, conjuntos habitacionales, comunidades aisladas, industria o instituciones, así como también de sectores de comunidades existentes cerca del centro de generación de residuos. Los sistemas descentralizados mantienen las fracciones sólidas y líquidas de las aguas residuales cerca del origen, aunque la fracción líquida y algunos residuos sólidos puedan transportarse a plantas centralizadas para un tratamiento adicional y reutilización.

Dado que la red completa de alcantarillado en todo un país no es posible, por razones tanto de tipo geográfico como económico es claro que el manejo descentralizado de aguas residuales es de gran importancia, para el manejo futuro del ambiente. Por lo tanto, el concepto de manejo descentralizados de aguas residuales merece el mismo grado de atención que hasta ahora estaba reservado para los sistemas convencionales de manejo centralizado de aguas residuales.

Las situaciones en las que la gestión descentralizada de aguas residuales debe considerarse o seleccionarse son:

- Cuando la gestión y operación de los sistemas locales existentes deben ser mejoradas**
- Cuando los sistemas individuales locales han fracasado y la comunidad no puede afrontar el costo de un sistema convencional de manejo de aguas residuales**
- Cuando la comunidad ó las instalaciones están distantes de otros alcantarillados existentes**
- Cuando las oportunidades de reutilización de agua son posibles**
- Cuando el agua potable para abastecimiento es escasa**

- Cuando, por razones de tipo ambiental, la cantidad de efluente vertido debe ser restringida
- Cuando la densidad residencial es baja
- Cuando los constituyentes específicos de las aguas residuales son tratados o alterados en forma más apropiada en el punto de generación

Los elementos que comprenden un sistema descentralizado incluyen: 1) pretratamiento de aguas residuales, 2) recolección de las aguas residuales, 3) tratamiento de las aguas residuales, 4) reutilización el revestimiento del efluente, y 5) manejo de biosólidos y de lodos de tanques sépticos. Debe también a notarse que no todos los sistemas descentralizados incorporan todos los elementos mencionados anteriormente.

Los sistemas alternos de recolección y opciones de tratamiento de aguas residuales son asumidos en la tabla 2-2 y son usados para residencias individuales, conjuntos residenciales, instalaciones públicas, establecimientos comerciales, parques industriales, pequeñas comunidades, y pequeñas zonas de grandes comunidades. En el pasado, el objetivo del tratamiento era la remoción de parámetros como la demanda y bioquímica de oxígeno, sólidos suspendidos y patógenos. En la actualidad, toma cada vez más importancia la remoción de nutrientes, de compuestos tóxicos y las reutilización de los efluente.

TABLA 2-2 Opciones típicas de almacenamiento y tratamiento de aguas residuales en sistemas pequeños y descentralizados (Crites, 1994)

| Clase de Tratamiento | Ejemplo | Clase de sistema | |
|---------------------------------|--|------------------|---|
| | | F | D |
| Recolección de aguas residuales | Alcantarillado a presión sin/con bombas trituradoras Alcantarillados de diámetro pequeño y pendiente variable | ✓ | ✓ |
| Preliminar | Tamiz grueso ó fino Remoción de arenas, de grasa y aceites | ✓ | ✓ |
| Primario | Tanques sépticos Tanques Imhof Filtros de disco rotatorio | ✓ | ✓ |
| Primario avanzado | Tanque séptico con cámara de filtración para efluente Elemento reactor | ✓ | ✓ |
| Secundario | Unidades aeróbicas/anaeróbicas | ✓ | ✓ |
| Secundario | Filtro de arena de flujo intermitente | ✓ | ✓ |
| Secundario | Filtro de grava con recirculación Lagunas de oxidación | ✓ | ✓ |

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

TABLA 2-2 Opciones típicas de almacenamiento y tratamiento de aguas residuales en sistemas pequeños y descentralizados (Crites, 1994)

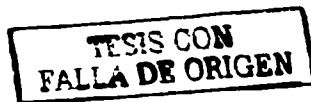
| Clase de Tratamiento | Ejemplo | Clase de sistema | |
|----------------------|---------------------------------------|------------------|---|
| | | P | D |
| Avanzado | Humedades artificiales | ✓ | ✓ |
| | Tratamiento de plantas acuáticas | ✓ | ✓ |
| | Tratamiento en el suelo | ✓ | ✓ |
| | Filtros de lecho empacado | ✓ | ✓ |
| | Filtración rápida | ✓ | ✓ |
| Almacenamiento | Desinfección con cloro y radiación UV | ✓ | ✓ |
| | Tanques de almacenamiento | ✓ | ✓ |
| | Tanques enterrados | | ✓ |

P = sistemas pequeños y centralizados, D = sistemas descentralizados

Los métodos de reutilización o vertimiento de las aguas residuales son presentados en la tabla 2-3. A medida que el nivel de tratamiento aumenta, la potencialidad de un uso benéfico para las aguas tratadas también aumenta. La reutilización de los efluentes tratados requiere que los criterios de calidad del agua tratada sean cada vez más exigentes. En los sistemas de manejo descentralizados de aguas residuales de zonas rurales, las formas más probables de reutilización serán el riego agrícola y el riego de campo. En zonas húmedas, los tratamientos en el suelo y la recarga de acuíferos serán más usuales.

TABLA 2-3 Opciones típicas de reutilización (Crites, 1994)

| Opción | Ejemplos |
|--|--|
| Humedades artificiales | Sistema de flujo libre Sistema de flujo superficial |
| Descarga a cuerpos de agua | Corrientes, lagos, estanques, bahías, diques, ríos, océanos |
| Aplicación al terreno | Aplicación por goteo Aplicación por aspersión |
| Aplicaciones de reutilización | Riego agrícola Riego de zonas verdes Recarga de acuíferos Humedades naturales Abastecimiento de agua no potable |
| Disposición subsuperficiales en el suelo | Sistemas de absorción en el suelo Campos de infiltración convencionales Campos de infiltración poco profundos dosificados a presión Lechos de infiltración Sistemas de infiltración en terraplen |



Alternativas

Un problema clave que deben enfrentar los municipios al proporcionar el servicio de saneamiento en el medio rural y zonas marginadas es la falta de tecnología de bajo costo, por tal motivo el problema que tienen que solucionar los habitantes de estas comunidades es la disposición de excretas y el tratamiento de aguas residuales. Considerando esta situación el Centro Interamericano Recursos del Agua (CIRA), propone tecnologías que puedan adaptarse a las necesidades de dichas comunidades.

Los inmuebles ubicados en sectores que carecen de red de alcantarillado público ó particular, deben disponer las heces humanas en instalaciones que sirven a un reducido número de personas (tipo individual), denominado sistema descentralizados.

Las viviendas en zonas semiurbanas y especialmente rurales, disponen en un alto porcentaje las heces humanas en condiciones adversas con la salud. Normalmente utilizan pozos negros sin ninguna protección sanitaria, en que campo abierto ó letrinas sobre acequias, con los peligros consiguientes para la salud y el bienestar de la comunidad.

Dado que son necesarias soluciones efectivas de bajas necesidades de mantenimiento pueden clasificarse los siguientes:

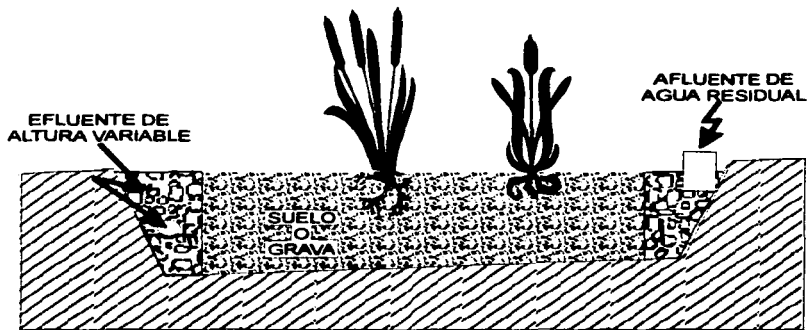


Fig. 2-7 Sistema de lecho de raíces (Mefcalf, 1995)

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Sistemas Naturales

Sistemas de aplicación al terreno (AT). estos sistemas contemplan la aplicación del agua residual sobre un terreno con vegetación para conseguir tanto el grado necesario de tratamiento del agua y con buen crecimiento de la vegetación existente. El agua residual se puede aplicar tanto a cultivos como a vegetación (incluido terrenos forestales) mediante diferentes métodos.

Sistema de lecho de raíces (LR). Los lechos de raíces son terrenos inundados con profundidades de agua normalmente inferiores a 0.6 m, con plantas emergentes como espadañas, juncos y aneas.

Sistemas de plantas acuáticas (PA). Estos sistemas son, conceptualmente, similares a los sistemas de lecho de raíces excepto por el hecho de que se emplea en especies de plantas flotantes como los Jacinto de agua y lentejas de agua (ver figura 2-7).

Sistemas Sépticos.

Tanque séptico (TS)-Pozo de Absorción. Las aguas residuales provenientes de la instalación domiciliar se evacuan a una fosa séptica, donde se da el tratamiento primario (aún incompleto); y el efluente, que sale cargado de materia orgánica en suspensión, finamente dividida en estado coloidal y en solución, debe ser sometido a un tratamiento posterior (secundario) y, por consiguiente, una fosa séptica no constituye sino una parte de un tratamiento de aguas residuales, el cual debe completarse con unidades tales como pozos absorbentes, para que el agua pueda filtrarse al suelo (ver figura 2-8).

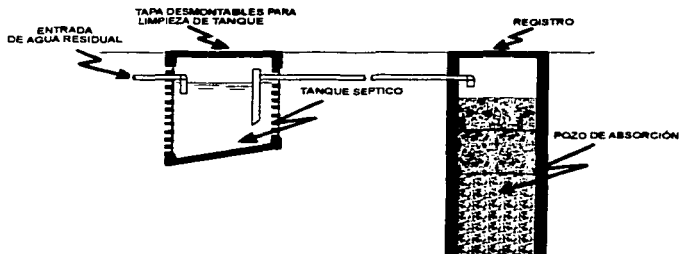


Fig. 2-8 tanque séptico con pozo de absorción (Unda, 1993)

Letrina compostadora. Las letrinas son dispositivos para la eliminación de desechos fisiológicos humanos, que no utilizan agua para su acarreamiento. Las letrinas tradicionales han tenido poco éxito, debido principalmente a que generan moscas, producen olores, hay que reubicarlas cuando se ha llenado el foso, y tiene que estar lejos de una vivienda. La letrina compostadora consiste en una cámara de compostación con piso inclinado el cual permite que los desechos fisiológico se vayan resbalando hacia el fondo a medida que se estabilizan (ver figura 2-9). Los desechos estabilizados se retiran una vez al año del fondo de la cámara de extracción. ésta letrina requiere para funcionar que además de las excretas que se arrojen los desechos orgánicos de la cocina lo cual ayuda también a corregir el problema de la eliminación de desechos sólidos.

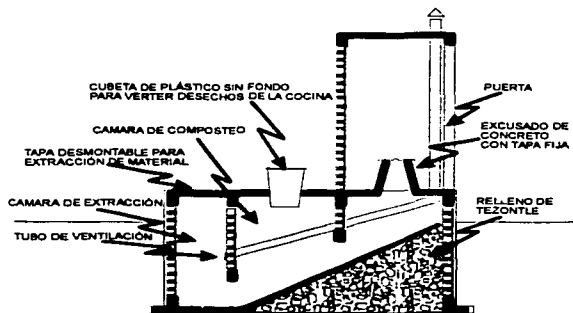


Fig. 2-9 Letrina compostadora (Coll, 1997)

Sistemas de Digestión Anaerobia.

La fermentación anaerobia de desechos animales y vegetales bajo ciertas condiciones de presión y temperatura, producen gas metano (biogás) en cantidad proporcional a la cantidad disponible de desechos. El biogás se produce mediante el proceso de fermentación de la materia orgánica en

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

ausencia de aire, o sea en condiciones anaerobia, quedando como residuo del proceso de un lodo estabilizado que es un excelente mejorador de suelo, con un alto valor fertilizante.

En la práctica, Los desechos mezclados, con agua se introducen en un recipiente cerrado, llamado digester que es donde se realiza el proceso de aceleración de biogás. Dentro de los procedimientos de digestión anaerobia se distinguen dos tecnologías:

Sistemas en discontinuo. Se aplica principalmente al tratamiento de desechos altamente perecibles (residuos con 20 a 25 % de materia seca). El substrato se introduce en el digester recubierto de aguas negras. Después de la fermentación (alrededor de 40 días) se extrae del tanque.

Sistemas en continuo. El substrato se introduce una o varias veces por día en forma continua, teniendo como limite la capacidad del digester. Este procedimiento se emplea para toda clase de desechos fluidos o fluidificados que contengan como máximo 10 % de materia seca.

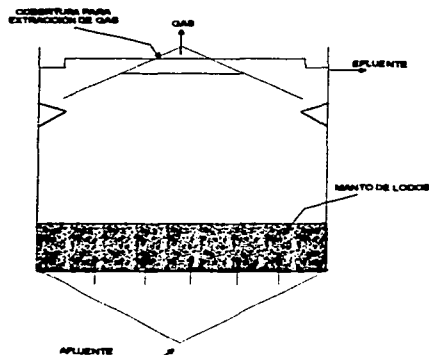


Figura 2-10 Digester de tipo UASB (Citres, 1994)

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Digester anaerobio de manto de lodos de flujo ascendente (ANA1): El UASB se utiliza en Europa y América del Sur. El líquido que va a ser tratado se introduce en el fondo del digester

desde donde fluye hacia arriba a través del manto de lodos compuesto de partículas o gránulos biológicos densamente formados, que varían desde 1/16 hasta 1/4 de pulgada (ver figura 2-10). Los gases que se producen bajo condiciones anaerobias (en especial metano y dióxido de carbono) sirven para mezclar los contenidos del reactor a medida que asciende hacia la superficie. El gas es atrapado en un domo colector de gases localizado en la parte superior del digestor.

Sistemas de Digestión Aerobia de Película Bacterial Adherida.

Los microorganismos responsables del tratamiento están adheridos en un medio fijo. Los procesos aerobios pueden clasificarse en:

No sumergidos. Los procesos de crecimiento en película bacterial adherida no sumergidos son los más adecuados para el tratamiento de desechos orgánicos solubles y relativamente disueltos.,

Sumergidos (ANA2). Los procesos sumergidos, son de desarrollo relativamente reciente, se usan para tratar aguas residuales domésticas incluyendo la oxidación del material carbonáceo, la nitrificación y la desnitrificación.

Híbridos. Los procesos híbridos se pueden utilizar para tratar desechos que contengan constituyentes particulados y solubles.

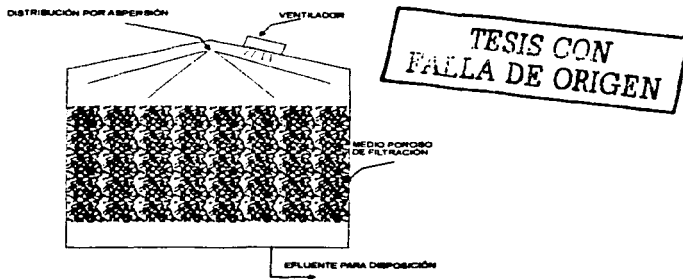


Figura 2-11 Filtro de lecho empacado (Citres, 1994)

Filtros de lecho empacado con medio absorbente (AER). Este biofiltro utiliza a un medio absorbente para el tratamiento aerobio del agua residual. La gran porosidad y el área superficial del medio le permite al filtro soportar cargas hidráulicas elevadas manteniendo condiciones aerobias del medio filtrante (ver figura 2-11). El agua residual fluye verticalmente sin colmar el medio mientras el aire fluye a través de éste siguiendo una trayectoria independiente.

Sistemas Combinados.

En este tipo de sistemas se instala un digestor que puede ser usado en granjas de animales, básicamente para contribuir al saneamiento general de la misma y así mismo, efectuar el tratamiento y manejo de los residuos de los animales, a fin de permitir su utilización y con ello la recirculación y empleo de materia orgánica. Un beneficio adicional que trae consigo la instalación de un biodigestor, es el potencial energético en forma de biogas que poseen los residuos disponibles. Lo importante no es alcanzar la autosuficiencia absoluta, sino lograr la máxima explotación y aprovechamiento de los recursos (terrenos, nutriente, luz, fotosíntesis, materia orgánica, y agua), sin degradar el ambiente.

Sistema fosa séptica-digestor. El diseño contempla la combinación de dos regiones de tratamiento, es decir, una fosa séptica y un reactor anaerobio de lecho de lodos con flujo ascendente (digestor).

- a) **Zona de fosa séptica.** En esta zona se retienen los sólidos sedimentables contenidos en el agua residual para su almacenamiento y digestión. La fosa séptica recibe la descarga directa de agua residual. En ella se lleva cabo la separación de grasa y aceites, la sedimentación de sólidos y la degradación parcial de la materia orgánica. Además posee la función de homogenizar el agua residual previo a su ingreso a los compartimentos tipo lechos de lodos.
- b) **Zona anaerobia de lecho de lodos con flujo ascendente (digestor anaerobio).** Una vez que el agua residual atraviesa la fosa séptica, ingresa a la cámara de anaerobia de lecho con lodos en donde se removerá el contenido de material orgánico del agua residual.

Sistema fosa séptica-digestor-biofiltro. Este tratamiento de aguas residuales esta constituido por un tratamiento preliminar basado una unidad de rejillas por un tratamiento secundario de tipo anaerobio el cual consiste en un tanque con tres compartimentos (ver figura 2-12).

- a) *Unidad de rejillas de desbaste.* El objeto de esta unidad es obtener mediante el cribado los sólidos grandes y medianos con el fin de evitar su acceso para proteger el sistema y evitar la obstrucción de tuberías.
- b) *Tanque séptico.* Sirve como receptáculo de los sólidos gruesos contenidos en el agua residual y para el inicio de la hidrólisis.
- c) *Zona anaerobia de lecho de lodos con flujo ascendente (digestor anaerobio).* Está orientado a la digestión de la materia orgánica en suspensión y disuelta.
- d) *Filtro de lecho empacado (Filtro anaerobio).* Este compartimiento esta dividido por una mampara central para homogenizar el flujo. En el se remueve la materia orgánica disuelta y en suspensión remanente de los compartimentos anteriores.

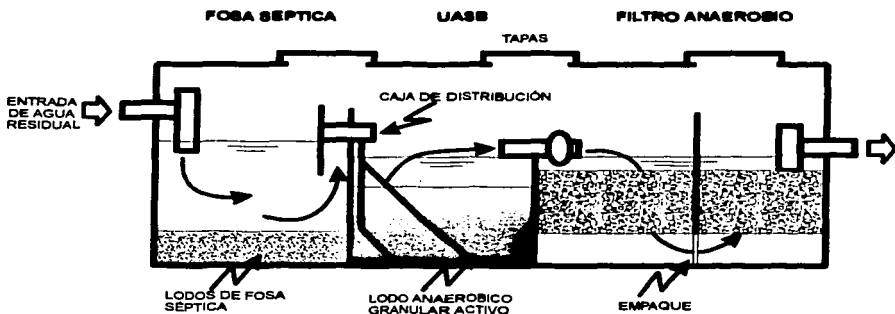


Fig. 2-12 Sistema de fosa séptica con digestor y biofiltro (Cirres, 1994)

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

2.3 ASPECTOS SANITARIOS EN LA UTILIZACION DE AGUAS RESIDUALES

Cuatro grupos de personas pueden estar expuestos al riesgo que acarrea el empleo de aguas residuales y excretas en agricultura, a saber: los agricultores y sus familias, las personas que manejan los productos cultivados, los consumidores (de productos cultivados, carne y leche), las personas que viven cerca de los campos respectivos.

Entre las medidas para proteger a los agricultores y a las personas que manejan los cultivos están el uso de ropa protectora (para evitar el contacto con los agentes patógenos), estrictas prácticas de higiene (para eliminar cualquier agente patógeno existente) y quizá la inmunización contra determinadas infecciones o su control quimioterapéutico como medida paliativa provisional (para evitar una infección conducente a enfermedad). Otras medidas de protección de la salud incluyen la provisión de establecimientos médicos adecuados para tratar las enfermedades diarreicas, la quimioterapia regular para tratar las infecciones infantiles intensas por nemátodos, y el control de la anemia. La quimioterapia y la inmunización no son estrategias adecuadas de protección de la salud, pero podrían ser provechosas como medida paliativa provisional.

La población local debe mantenerse bien informada sobre la ubicación de todos los campos en los que se emplean aguas residuales para que se abstenga de entrar a ellos y evite que los niños lo hagan. No se ha comprobado que quienes viven cerca de los campos regados por aspersión con aguas residuales estén muy expuestos a riesgos.

2.3.1 CALIDAD DE LOS EFLUENTES EMPLEADOS EN LA AGRICULTURA

La eliminación de agentes patógenos es el principal objetivo del tratamiento de aguas residuales para aprovechamiento. Las normas se expresan según el máximo número permisible de bacterias coliformes fecales. Las coliformes fecales pueden emplearse como indicadores razonablemente fiables de los agentes patógenos bacterianos, ya que sus características de supervivencia en el medio ambiente y su índice de eliminación instantánea o paulatina en los procesos de tratamiento son similares.

Por lo general, las normas o directrices sobre la calidad de las aguas residuales que se pretende emplear para riego de cultivos sin restricciones, incluso para cultivos de legumbres y verduras para ensaladas que se consumen crudas, contienen reglas explícitas (indican el máximo número de coliformes) y requisitos mínimos de tratamiento (primario, secundario o terciario), según la clase de cultivo que se debe regar (sí es para consumo o no).

En México debe cumplirse la normas que especifican la calidad de los efluentes en la agricultura éstas son la NOM-032-ECOL/93 y NOM-033-ECOL/93, que se mencionan en el Capítulo I.

2.3.2 CALIDAD DE LOS EFLUENTES EMPLEADOS EN LA ACUACULTURA *(CEPIS, 1997)*

En los países con gran tradición piscícola se están incorporando las aguas residuales a los estanques de cultivo, sin ningún tratamiento previo. Es el caso de Calcuta en la India, en donde existen más de 10 000 hectáreas de estanques alimentados con aguas sin tratamiento, lo que ocasiona un alto riesgo sanitario que aún no ha sido evaluado. En cambio, los países desarrollados están usando la crianza de peces como una forma de mejorar la remoción de materia orgánica, sin que importe la calidad del producto ya que no se destina al consumo humano directo.

Varias infecciones causadas por agentes patógenos excretados son motivo de preocupación cuando se emplean aguas residuales en acuicultura. Ciertas especies de peces son los huéspedes intermedios secundarios de varios parásitos helmínticos, por ejemplo de la especie Clomorchus sp (tremátodos). La transmisión ocurre cuando se consume pescado crudo o mal cocido y los quistes que contiene la carne del pescado se incuban en el intestino humano. Los peces que crecen en estanques fertilizados con excretas o que contienen aguas residuales también se pueden contaminar con bacterias y virus. Estos son transportados pasivamente en las escamas o las agallas, el líquido intraperitoneal, las vías digestivas o el músculo de los peces.

Adoptando una situación intermedia, el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS) ejecutó el proyecto de acuicultura utilizando efluentes tratados de lagunas de estabilización ubicadas en San Juan, Lima, Perú. En este caso, las aguas residuales son tratadas previamente hasta alcanzar la calidad apropiada para obtener una elevada producción de peces aptos para el consumo humano directo. Durante dos años se realizaron cuatro cultivos experimentales de tilapia del Nilo, Oreochromis niloticus, en forma continua durante las épocas de calor y frío propias del clima de Lima.

En las condiciones de Lima, se puede obtener 4 400 kg/hectárea de tilapia con un peso promedio de 250 g por unidad al final del verano, sin adicionar alimentos artificiales. La abundante biomasa de algas en las aguas residuales tratadas permite sustituir la alimentación artificial y por tanto reducir los costos de producción.

La calidad de los peces fue evaluada de acuerdo a una calificación estricta propuesta por Buras (1987), que establece como "muy buenos" a los peces con menos de 10 bacterias por gramo de músculo; son "aceptables" aquellos con 10 a 50 bacterias y son "rechazados" los peces con más de 50 bacterias. Es importante aclarar que el pescado comercializado en los mercados normalmente presenta mayor carga bacteriana en el músculo que los mencionados en la calificación.

En tres experimentos se logró una calificación de "muy buenos" para el 100% de los peces. Sólo en el tercer experimento se rechazó el 6% de los peces, situación que fue motivada por un incremento deliberado del nivel de coliformes fecales que sobrepasó 105 (NMP) en el efluente. Ello permitió establecer el límite de calidad del efluente que debe utilizarse en el cultivo de tilapia; rebasado el límite, el sistema inmunológico de la tilapia se debilita y las bacterias ingresan al músculo. También se pudo observar la capacidad de autodefensa de estos peces, siempre que se reduzca el nivel de

coliformes por un período mínimo de 30 días. Esto significa que en el caso eventual de un "accidente" de sobrecarga del sistema de tratamiento, la calidad sanitaria de los peces afectados puede recuperarse.

Esa directriz sobre la calidad bacteriológica, que se basa en los conocimientos actuales sobre el uso de aguas residuales en acuicultura, debería prevenir la invasión del músculo de los peces. Sin embargo, las investigaciones efectuadas hasta la fecha indican que los agentes patógenos se podrían acumular en las vías digestivas y el líquido intraperitoneal de los peces. Estos microorganismos patógenos pueden presentar un riesgo de contaminación cruzada en la carne y las otras partes comestibles del pescado y transmisión a los consumidores si no se observan las debidas normas de higiene en su preparación. Por tanto, por la conservación de la salud pública, cabe asegurarse de mantener estrictas normas de higiene durante el manejo del pez, sobre todo durante la evisceración. Esto se puede lograr con mayor facilidad en las operaciones comerciales que en la acuicultura de subsistencia, para lo que se necesitarán a menudo programas continuos de educación para la salud. La práctica de cocinar el pez, común en muchas regiones donde se emplean aguas residuales en acuicultura, es una importante medida de protección de la salud.

2.3.3 LODO PROVENIENTE DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

El lodo es un subproducto de la mayoría de los procesos de tratamiento de aguas residuales (cuyo destino el vertimiento a la tierra, entierro, incineración o descarga al mar). Realmente la contaminación de las aguas queda contenida en los lodos extraídos de los decantadores primarios y secundarios. Es preciso realizar un tratamiento de lodos, tanto para su aprovechamiento como para su eliminación, el cual se conoce como digestión.

El tratamiento de lodos inicia con su sedimentación en los decantadores, por medio de purgas de periodicidad variable en cada caso, pasándolo:

- De los decantadores primarios al proceso de espesado independiente, realizado en espesadores.

- **De los decantadores secundarios:**
 - Al tratamiento biológico; para aumentar la concentración de sólidos en suspensión.
 - A los decantadores primarios para, aumentar el rendimiento de la decantación en éstos y/o conseguir unos lodos sedimentados de mayor concentración que la obtenida en los decantadores secundarios.
 - Al proceso de espesado y digestión.

Algunos Aspectos importantes de los lodos

Los aspectos a considerar con relación a los lodos en las depuradoras son:

- **Grandes concentraciones humanas e industriales y, en consecuencia, grandes volúmenes de lodos arrastrados por las aguas negras en los colectores emisarios hacia las estaciones depuradoras.**
- **Variación en los contenidos orgánicos e inorgánicos de cada vertido, dependiendo del tipo de población, de su nivel de vida, de la época del año del grado de industrialización del consumo , etc.**
- **La escasez de los recursos, como abonos y recursos energéticos, y su coste permanentemente creciente, obliga a replantearse la necesidad de reutilización de subproductos buscando la posibilidad de uso como abono y la posibilidad de la recuperación energética.**
- **La normatividad existente, considerando los aspectos sanitarios sobre el hombre, sobre los cultivos, sobre el medio ambiente, condicionará, sin duda el proceso de tratamiento en sí, de su eliminación o reutilización.**
- **Los aspectos económicos, teniendo en cuenta las obras e instalaciones precisas, los gastos de mantenimiento y explotación, los gastos de gestión y control, sin duda matizarán las soluciones a adoptar.**

Dentro de los criterios de valoración deben establecerse todas las condicionantes que permitan contrarrestar la idoneidad de la solución adoptada . Se establecerán limitaciones tales como:

- **Limitaciones en la disposición de vertederos controlados.**
- **Limitaciones de vertido de los lodos a causes superficiales o al mar.**
- **Limitación del vertido y tratamiento, en relación con las condiciones ambientales.**
- **Condiciones de los lodos para su estabilización aeróbica.**
- **Condiciones de los lodos para la digestión anaeróbica.**
- **Limitaciones de los lodos para su compostaje con los residuos sólidos urbanos.**

- Limitaciones a la combustión del fango.
- Los condicionantes del suelo al lodo previsto como abono, con utilización esporádica o continua.

Considerando los puntos anteriores puede decirse con seguridad absoluta que el tratamiento de los lodos y su destino final constituye el punto fundamental a contemplar en el estudio y proyecto de una estación depuradora.

El abono como destino de los lodos

La solución al problema de los lodos comprende dos alternativas extremas siguientes

1. Los lodos son un subproducto no deseado que sólo presenta problemas.
2. La situación actual, exige la reutilización de los lodos, buscando su uso posterior como abono, o buscando su potencial energético.

La utilización del estiércol como abono en los campos es tan antigua como la ganadería misma, ya se ha mencionado la utilización para el mismo fin de los desechos humanos. Sin llegar a describir la importancia del nitrógeno y fósforo, en el crecimiento de las plantas y de su metabolismo, el hombre ha conocido la importancia de la utilización de los residuos de los vertidos humanos.

Podemos decir que la materia incorporada mejora el suelo porque:

- Mejora la friabilidad y porosidad del suelo.
- Permite una mayor retención de la humedad
- Acondiciona al suelo nutrientes necesarios para las plantas, y facilita su retención en el suelo
- Incrementa la actividad biológica del suelo.
- Evita o al menos disminuye la necesidad de fertilizantes químicos

En muchos casos no es solución la adición continua de fertilizantes químicos, siendo imprescindible la adición de humus conjuntamente con los nutrientes. Ambos elementos se encuentran en los vertidos municipales.

Es indudable que el lodo tiene un valor, y no debe olvidarse contemplar esta alternativa de reutilización.

Una alternativa económica de los lodos

Los procesos de tratamiento de aguas residuales que permiten remover los huevos de helmintos por sedimentación harán que se concentren en el lodo, donde permanecen viables hasta por un año.

Todos los demás agentes patógenos que contienen las aguas residuales se concentrarán también en el lodo. Para que el lodo que contiene huevos de helmintos sea inocuo para su uso general, se debe guardar por un período prolongado (por ejemplo, secarse al sol por 6 a 12 meses en una zona de clima cálido) o someterse a alguna forma de tratamiento que eleve la temperatura lo suficiente para eliminar los huevos y, en particular, los de la especie Ascaris sp. que son los más persistentes en todos los patógenos fecales que contiene el lodo.

Puesto que el lodo contiene típicamente más de 90% de agua y se necesita, como mínimo, una temperatura de 55°C para inactivar los agentes patógenos, el tratamiento con calor proveniente de una fuente de energía externa es costoso. Por fortuna, la actividad exotérmica de las bacterias ya presentes en el lodo se puede utilizar para producir el calor necesario a un costo relativamente bajo.

El proceso de descomposición generará calor sólo si se puede mantener en un medio suficientemente aerobio con alguna clase de aeración. La producción de "compost" a granel, en la cual se someten éstos a rotación pueden volver a contaminarse hasta cierto punto con materiales de las partes más frías del exterior. En otro método, con aeración forzada, Bajo condiciones climáticas favorables (de sequedad y temperatura), los lodos bien digerido, extendido sobre un lecho poroso a una profundidad de 20 a 30 cm se secan en una o dos semanas y no hay problema de olor. En cambio, los lodos frescos desprenden malos olores al secarse y no pierden suficiente humedad en capas de espesor razonable. A causa de esto, el secado al aire se encuentra más menos confinado a los lodos bien digeridos.

Los lechos que secado generalmente consisten en que capas granuladas de grava o piedras triturada colocada bajo una capa de cuatro o seis pulgadas de arena para filtros. Los tubos de barro de tipo de agrícola o los tubos de albañal de barro vidriado, tendidos con sus juntas bien abiertas, sirven como bajodrenes . Los lechos se encuentran subdivididos para satisfacer las condiciones de operación. Su holgura se selecciona de manera que el vehículo que remueve el lodo seco se pueda cargar convenientemente.

2.3.4 SISTEMAS DE DESINFECCION

El propósito de seleccionar un sistema de desinfección es obtener la eficacia máxima del desinfectante sobre la variedad más amplia de condiciones microbiológicas esperadas; mayor ahorro económico; efectos indeseables mínimos sobre el agua que se va a tratar; y fiabilidad máxima, con el fin de obtener los mayores beneficios para la salud. En circunstancias normales, ningún sistema de desinfección alcanzara todas estas metas. Es por lo tanto una idea considerar primero la importancia jerárquica de los objetivos para la aplicación específica, y luego establecer un equilibrio razonable entre las prioridades de desempeño (ver figura 2-13).

La selección de sistemas de desinfección puede hacerse a gran escala, como para las aplicaciones nacionales o regionales, así como para una aplicación específica. Normalizar el equipo y los suministros de desinfección, especialmente para países pequeños tiene muchas ventajas, pero no hay un método de desinfección que sea el adecuado para todas las situaciones posibles, por lo general, un país u organismo nacional tendrá que utilizar más de un método de desinfección.

En la tabla 2-4 se resumen las características, el comportamiento y la eficacia relativa de los desinfectantes más comúnmente empleados en los sistemas de abastecimiento comunitario de agua. Esta información proporciona datos preliminares que facilitan la selección inicial de desinfectantes y sistemas de desinfección.

TABLA 2-4. Características de los desinfectantes y sistemas de desinfección (OPS, 1995)

| Factores y consideraciones especiales | Características del desinfectante | | | | | | |
|---------------------------------------|--|---|---|---|--|---|---|
| | Cloro | Hipoclorito | Cloraminas | Ozono | MOGODO | Luz UV | Yodo |
| CLASE DE USO | Primario y secundario | Primario y secundario | Secundario solamente | Primario solamente | Primario y secundario | Primario solamente | Primario y secundario |
| Efectos del Desinfectante: | | | | | | | |
| Bacterias | Muy bueno en HOCl | Muy bueno en HOCl | Deficiente | Excelente | Muy bueno | Muy bueno | Muy bueno |
| Virus | Muy bueno en HOCl | Muy bueno en HOCl | Deficiente | Excelente | Muy bueno | Muy bueno | Bueno |
| Protoco | Regular | Regular | Muy deficiente | Muy bueno | Bueno | Regular | Bueno |
| Helminios | Bueno | Bueno | No hay información | Excelente | Bueno | No hay información | No hay información |
| Influencia de: | | | | | | | |
| pH | Su aumento reduce la eficiencia | Su aumento reduce la eficiencia | pH 7, monochloram pH 6, dicloraminas | El carbonio en el pH tiene poco efecto | Menos afectado por cambio que el cloro | Ningun efecto | Aumento en pH reduce la eficiencia |
| Sólidos suspendidos | Protege a los microorganismos contra el desinfectante | Protege a los microorganismos contra el desinfectante | Protege a los microorganismos contra el desinfectante | Protege a los microorganismos contra el desinfectante | Protege a los microorganismos contra el desinfectante | Protege a los microorganismos contra el desinfectante | Protege a los microorganismos contra el desinfectante |
| Disminución de temperatura | Reduce la eficiencia | Reduce la eficiencia | Reduce la eficiencia | Reduce la eficiencia | Reduce la eficiencia | Poco efecto | Reduce la eficiencia |
| Amoníaco/prod. orgánicos | Se forman compuestos de organoclorados | Se forman compuestos de organoclorados | Poco efecto | Menos afectado que el ozono | Reduce la eficiencia | Ningun efecto | Poco efecto |
| Efectos del Desinfectante: | | | | | | | |
| Sobre la salud | Ninguno a la dosis normal | Ninguno a la dosis normal | Ninguno a la dosis normal | Ninguno a la dosis normal | Ninguno a la dosis normal | Ninguno | Algunas personas son sensibles al yodo |
| Sobre el sabor y olor | Insignificante en ausencia de productos orgánicos | Insignificante en ausencia de productos orgánicos | Insignificante | Ninguno | No detectable | Ninguno | Ligeramente medicinal |
| Derivados importante: | | | | | | | |
| Sabores/olores | De la reacción con productos orgánicos y fenoles | De la reacción con productos orgánicos y fenoles | Monochloram, ninguno Dicloraminas, Moderna | Mejora | Mejora | Ninguno | Ligero |
| Subproductos indeseables | Trihalometanos, ácidos acéticos clorados | Trihalometanos, ácidos acéticos clorados | Forman cloruros | Forma bromatos | 30% - 50% del nivel de desarrollo por cloro | Ninguno | None concuen bien |
| Dosis Típica | 2.0 - 5.0 mg/l | 2.0 - 5.0 mg/l | 1.0 - 2.0 mg/l | 4.0 - 8.0 mg/l | 1.0 - 3.0 mg/l | 30,000 μ wtos/cm ² | 0.5 - 0.8 mg/l |
| Tiempo de Contacto | 30 minutos | 30 minutos | Muy largo | 10 - 20 minutos | 15 - 20 minutos | Corto | 30 minutos |
| Requisitos Previos a la Desinfección | Turbiedad < 1 UTN 6.5 < pH < 7.8 | Turbiedad < 1 UTN 6.5 < pH < 7.8 | Turbiedad < 1 UTN 6.5 < pH < 7.8 | Turbiedad < 1 UTN 6.0 < pH < 9.5 | Turbiedad < 1 UTN 6.0 < pH < 8.5 | Turbiedad < 1 UTN Eliminar color | Turbiedad < 1 UTN 6.5 < pH < 8.5 |
| Preparación Necesaria | No se requiere | Mezcla en lotes | Determinar cantidad amoníaco y cloro | Medición y enfriamiento de aire | Mezcla en lote de solución de sal | No requiere | Mezcla en lotes |
| Sustancias Intermedias | Cloro | Cloro y sodio o calcio | Amoníaco y cloro | Ozono y oxígeno ó aire | Cloro, peróxido y ozono | Ninguno | Yodo |
| Efectos de subproductos | Sabor y olores en presencia de orgánicos/precursores | Sabor y olores en presencia de orgánicos/precursores | Sin sabor ni olores | Señ efecto | Menos para el cloro | Señ efecto | Sabor y olor posibles efectos a la salud |
| Observaciones | Reduce los sabores y olores por encima del punto de quiebre. | Reduce los sabores y olores por encima del punto de quiebre | Desinfectante débil, puede permitir el recrecimiento de bacterias | Descompone moléculas orgánicas en forma más biodegradable (posibilidad de recrecimiento de microorganismos) | Desinfectante eficaz pero el efecto de las distintas proporciones de oxidantes no se entiende bien | La desinfección es difícil de medir y asegurar | Gusta estrecho de dosificación debido al bajo umbral tóxico |

**TESIS CON
FALTA DE ORIGEN**

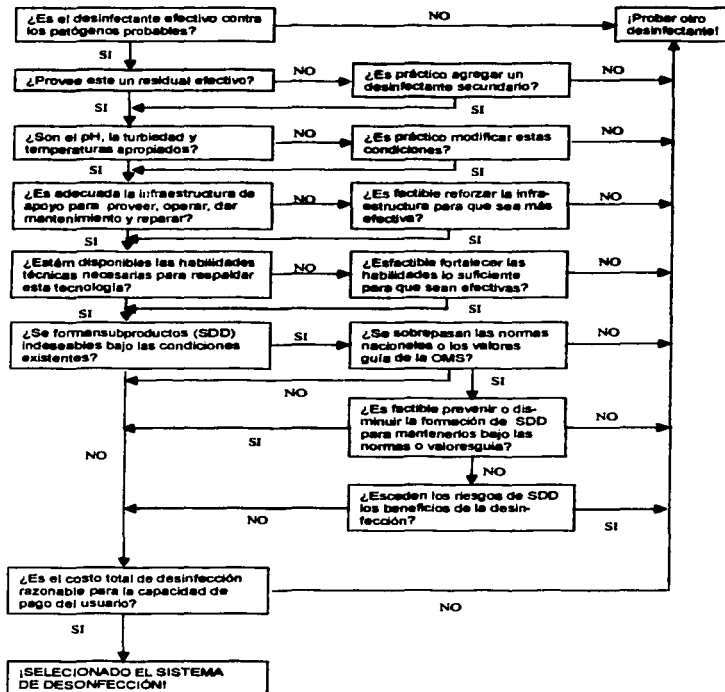


fig. 2-13. Sistemas de selección de desinfectantes (OPS, 1995)

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

2.3.5 SELECCIÓN DE CULTIVOS

Para el riego de ciertos cultivos, sobre todo las verduras que se consumen crudas, se necesitan aguas residuales de alta calidad microbiológica, pero para otros cultivos selectos se pueden emplear otras de calidad inferior, donde el público no esté expuesto a contaminación (tabla 2-5). Los cultivos se pueden clasificar según el grupo expuesto y las medidas de protección de la salud que exigen, de la manera siguiente:

Categoría A: Se necesita protección para los consumidores, los trabajadores agrícolas y el público en general. Aquí se incluyen cultivos que se consumen crudos, frutas regadas por aspersión y lugares sembrados de pasto (campos de deporte, parques públicos y prados).

Categoría B: Se necesita protección sólo para trabajadores agrícolas. Esto incluye cultivos de cereales, cultivos industriales (como el algodón y el sisal) y cultivos alimentarios empleados para fabricación de enlatados, cultivos forrajeros, praderas y árboles. En ciertas circunstancias, se podría considerar que algunos cultivos pertenecen a la categoría B si no se consumen crudos (por ejemplo, la papa) o si crecen a una distancia considerable del suelo (por ejemplo, el chile). En esos casos hay que evitar la contaminación del cultivo mediante riego por aspersión o caída al suelo y asegurarse de que la contaminación de la cocina con esos productos antes de su preparación no represente un peligro para la salud.

Por tanto, la restricción de cultivos no es suficiente por sí sola; debe complementarse con otras medidas como el tratamiento parcial y el uso controlado de aguas residuales o el control de la exposición humana. El tratamiento parcial para cumplir con las directrices sobre la calidad recomendadas para la Categoría B (tabla 2-5) sería suficiente para proteger a los agricultores en la mayoría de los lugares y más barato que el tratamiento completo.

El agua de riego, que incluye las aguas residuales tratadas, puede utilizarse en la tierra de las cinco formas generales indicadas a continuación: por anegamiento (método de riego por corrimiento); de esta forma se humedece casi toda la superficie del terreno; en surcos, sólo se humedece parte de la superficie del suelo. Por aspersión; el suelo y los cultivos se riegan de la misma forma que con lluvia. Riego del subsuelo; la superficie se humedece sólo ligeramente, si llega a mojarse, pero el suelo queda saturado; y riego localizado (en pequeños chorros, por goteo o en burbujas); se humedece gradualmente la zona de la raíz de cada planta.

Tabla 2-5. Recomendaciones sobre la calidad microbiológica de las aguas residuales empleadas en agricultura

| Categoría | Condiciones de aprovechamiento | Grupo expuesto | Nematodos intestinales fecales (media aritmética No. de huevos por litro) | Coliformes resistentes (media geométrica NMP por 100 ml) | Tratamiento de aguas necesario para lograr la calidad microbiológica exigida |
|-----------|---|-------------------------------------|---|--|--|
| A | Riego de cultivos que comúnmente se consumen crudos, campos de deporte, parques públicos | Trabajadores, consumidores, público | < 1 | < 1000 | Serie de estanques de estabilización que permiten lograr la calidad microbiológica indicada o tratamiento equivalente Retención en estanques de estabilización por 8 a 10 días o eliminación equivalente de helmintos y Tratamiento previo según lo exija la tecnología de riego por no menos que sedimentación primaria |
| B | Riego de cultivos de cereales industriales y forrajeros praderas y árboles | Trabajadores | < 1 | No se recomienda ninguna norma | |
| C | Riego localizado de cultivos en la categoría B cuando ni los trabajadores ni el público están expuestos | Ninguno | No es | No es | |

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

2.4 PROCESO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

En la selección de tecnologías apropiadas de tratamiento para aguas residuales las cuales son después rehusadas, se debe poner especial énfasis en proveer un afluente de calidad bacteriológica apropiada, ya que el agua tratada es una importante fuente de agua para riego. El uso de aguas tratadas en riego, intercambia agua de buena calidad necesaria para otros usos, alivia contaminación del agua y provee de valiosos nutrientes a las plantas. Un número de factores influyen en el buen uso de las aguas residuales, pero las más importantes son: a) calidad del efluente; b) selección de cultivos; c) métodos apropiados de riego. La selección de tecnologías para el tratamiento de estas aguas deberá ser de tal forma que produzca consistentemente buenos efluentes con la mínima intervención de operadores.

Se deben descartar tecnologías de tratamiento que lleven técnicas de desinfección, incluyendo cloro. El uso de tales desinfectantes es caro, difícil de mantener y hay un riesgo substancial de subproductos tóxicos, los cuales pueden afectar tanto el ambiente como a humanos por contaminación de la cadena alimenticia.

Debido a su tamaño, las pequeñas comunidades se enfrentan a una serie de problemas que dificultan la construcción y explotación de plantas de tratamiento de aguas residuales. Los principales problemas que se presentan están relacionados con: 1) normatividad; 2) costos por habitante elevados; 3) limitaciones de financiamiento; 4) presupuestos limitados para la explotación y mantenimiento de instalaciones; 5) topografía del terreno.

En muchos casos las comunidades disponen de recursos económicos limitados y escasa experiencia en la gestión de instalaciones de tratamientos de aguas residuales. Con frecuencia se presentan problemas relacionados con el diseño, contratación, contabilidad, presupuestos, explotación y mantenimiento. Por lo tanto la implantación de un sistema de tratamiento para pequeñas comunidades debe buscar soluciones efectivas de bajas necesidades de mantenimiento. Para esto se proponen métodos y técnicas que proporcionen resultados satisfactorios.

2.4.1 SISTEMAS SELECCIONADOS

Para seleccionar los sistemas de tratamiento de aguas residuales y excretas, se han tomado en cuenta los siguientes factores: eficiencia, facilidad en la operación y mantenimiento, mínimos costo de operación y mantenimiento, producción mínima de malos olores, baja generación de lodos y éstos más estabilizados, requerimientos mínimos de energía y por consiguiente de equipos mecánicos, y que sean sistemas ecológicos de manera tal que conserven y de ser posible, mejoren el entorno natural.

Los sistemas seleccionados son los siguientes: tanque séptico, lecho de raíces (humedal o pantano artificial) unidad aeróbica, unidad anaerobia y plantas acuáticas flotantes.

Se han establecido 7 arreglos de acuerdo a las necesidades de las zonas rurales o pequeñas comunidades, que existen en el Municipio de Jiquipilco para el tratamiento de aguas residuales (ver figura 2-14). Todos ellos aplicables tanto a casas habitación como a conjuntos de casas de una comunidad rural menor a 100 habitantes, o a conjuntos de casas de pequeñas comunidades.

Los arreglos de tratamiento, con los sistemas apropiados para las condiciones rurales o de comunidades pequeñas y de acuerdo con la calidad esperada del efluente según los requerimientos de rehúso o descarga de cada caso particular, son los siguientes:

TABLA 2-6 Procesos propuestos para plantas de tratamientos de aguas residuales en el Municipio de Jiquipilco

| Tipo Tratamiento | Tipo de Sistema | Opción de Reutilización | Clave |
|-------------------|---|---|------------|
| Primario | Tanque séptico- Aplicación al terreno | Aplicaciones de reutilización* | TS-AT |
| Primario avanzado | Tanque séptico-Lecho de raíces, plantas acuáticas | Aplicaciones de reutilización* | TA-LR-PA |
| | Tanque séptico-Unidad anaerobia (tipo UASB) | Aplicaciones de reutilización* | TS-ANA1 |
| | Tanque séptico-Unidad anaerobia (tipo biofiltro) | Aplicaciones de reutilización* | TS-ANA2 |
| | Tanque séptico-Unidad aerobia (filtro de lecho empacado) | Aplicaciones de reutilización* | TS-AER |
| Secundario | Tanque séptico-Unidad anaerobia 1 (tipo UASB)-Unidad anaerobia 2 (biofiltro) | Aplicaciones de reutilización* Descarga a cuerpos de agua* | TS-ANA1-2 |
| | Tanque séptico-Unidad anaerobia (tipo UASB)-Unidad anaerobia (filtro de lecho empacado) | Aplicaciones de reutilización* Descarga a cuerpos de agua* | TS-ANA-AER |
| | | | |

* Las opciones de reutilización hacen referencia a la tabla 2-3

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

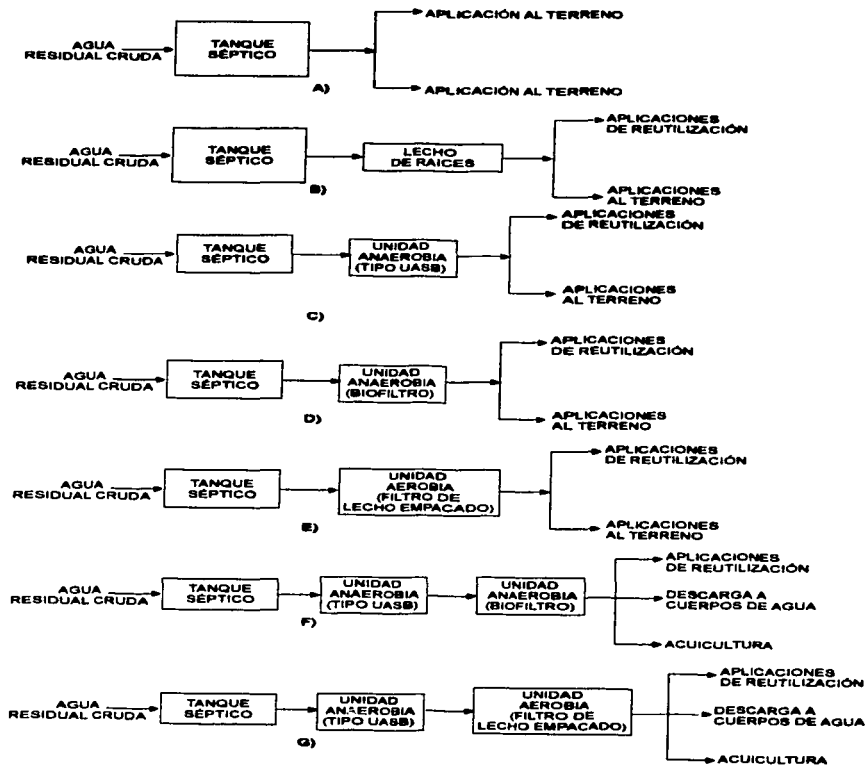


Fig. 2-14 Diagramas de flujo de los diferentes sistemas presentados en la tabla 2-6; A) TS-AT, B) TS-LR-PA, C) TS-ANA1, D) TS-ANA2, E) TS-AER, F) TS-ANA1-ANA2, G) TS-ANA-AER

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CAPITULO III

ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD

3.1 INTRODUCCIÓN

Este capítulo está dedicado a la evaluación económica de los proyectos propuestos para poner en marcha las plantas de tratamiento de aguas residuales y se refiere al costo de inversión, mantenimiento, así como la dimensión, para cada tipo de planta. Para ello es necesario determinar la topografía del terreno, el tipo de suelo, así como el caudal, el tipo de agua a tratar y la disposición de la misma, con ello se cuenta con una gama de posibilidades que puedan ser aplicables según las necesidades de la comunidad.

En proyectos gubernamentales de tipo económico ya sean federales estatales o municipales, se invierten grandes cantidades de dinero en obras públicas, por lo que se hace necesario determinar la viabilidad económica de los proyectos. Ya que a diferencia del sector privado los fines o los objetivos que se persiguen son distintos en cada caso. A continuación se presenta una tabla con las principales diferencias.

Tabla 3-1 Criterios típicos para la selección de sistemas (Metcalf, 1995)

| | Privada | Pública. |
|------------------------------|---|---|
| Propósito | Proporcionar bienes y o servicios; maximizar la utilidad o minimizar el costo | Proteger la salud; proteger vidas y propiedades; proporcionar servicios (sin utilidad); proporcionar trabajos. |
| Fuentes de capital | Inversionistas privados y prestamistas | Impuestos; prestamistas privados. |
| Método de financiamiento | Propiedad individual compañías o corporaciones | Pago directo de impuestos; préstamos sin interés bonos autofinanciables; subsidios indirectos; garantías de préstamos privados. |
| Propósitos múltiples | Moderados | Común (por ejemplo; proyectos de la represa para el control de inundaciones; generación de energía eléctrica; irrigación; educación). |
| Vida del proyecto | Suele ser relativamente corta (5 a 20 años) | Suele ser relativamente larga (20 a 60 años). |
| Naturaleza de los beneficios | Monetaria por relativamente fácil de igualar a términos monetarios | Con frecuencia no monetarios; dificultad para cuantificar; dificultad para igualar a términos monetarios. |

TECNOLOGÍA
FALLA DE ORIGEN

Tabla 3-1 Criterios típicos para la selección de sistemas (Metcalfe, 1995)

| | Privada | Pública. |
|-----------------------------------|--|--|
| Beneficiarios del proyecto | Principalmente: la entidad que emprende proyecto | Público en general. |
| Efecto de la política | De poco ha moderado | Factores habituales; ejercicio de corto plazo para la toma de decisiones; grupos de presión; restricciones financieras; etc. |
| Medición de la eficiencia | Tasas de rendimiento sobre el capital | Muy difícil; no hay comparación directa con los proyectos privados. |

El método para la selección de este tipo de inversiones que se utiliza comúnmente es el llamado razón beneficio/costo, considerando a los proyectos atractivos cuando los beneficios derivados de su implementación y reducido por los beneficios negativos esperados excede sus costos asociados.

Como ya se mencionó en la tabla en este caso los estudios económicos consideran, al público como el propietario que experimenta los beneficios positivos o negativos y al gobierno como quién incurre en los costos.

De manera general para el análisis costo/beneficio se puede resumir de la siguiente manera:

1. Identificar los beneficios para los usuarios que se esperan del proyecto.
2. Cuantificar, en la medida de lo posible, estos beneficios en términos monetarios, de manera que puedan compararse diferentes beneficios entre si y contra los costos de obtenerlos.
3. Identificar los costos del gobierno.
4. Cuantificar, en la medida de lo posible, estos costos en términos monetarios para permitir comparaciones.
5. Determinar los beneficios y costos equivalentes en el periodo base, usando la tasa de interés apropiada para el proyecto.
6. Aceptar proyectos y que los beneficios equivalentes de los usuarios excedan los costos equivalentes de los promotores.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

3.2 TOPOGRAFIA Y TIPO DE SUELO

Los principales factores que hay que tener en cuenta para el reconocimiento previo de un emplazamiento para la instalación de un sistema de tratamiento, individual son:

- a) Características geográficas tales como existencias de barrancos, torrentes, etc.
- b) Pendiente de la superficie del terreno
- c) Potencial de inundación
- d) Estructuras existente incluyendo los pozos de agua
- e) Paisaje

Tomando en cuenta la importancia de las características geográficas y topográficas del emplazamiento a continuación se muestran en la tabla 3-2 algunos criterios típicos.

Tabla 3-2 Criterios típicos para la selección de sistemas (Metcalf, 1995)

| Elemento | Criterio |
|---|--|
| Situación del emplazamiento | Es preferible seleccionar zonas horizontales, bien drenadas, coronación dependiente, y pendientes convexas. |
| Pendiente | De 0 a 25%, se pueden emplear pendientes superiores a 25%, pero pueden dificultar el uso de la maquinaria de construcción. Los lechos de infiltración sólo se pueden ubicar en terrenos con pendientes de 5% |
| Distancias horizontales de separación típicas | |
| Pozos de suministro de agua | 15-30 m |
| Aguas superficiales y manantiales | 15-30 m |
| Terraplenes, barrancos | 3-6 |
| Límites de propiedad | 1.5-3 |
| Cimentación de edificios | 3-6 |
| Suelo | |
| Textura | Para lechos de infiltración son más indicados los suelos con textura arenosa |
| Color | Los colores brillantes y uniformes son indicativos de suelos bien drenado y bien aireado. Los colores indefinidos, grises o moteados indican la saturación continua o estacional del suelo. |
| Profundidad de la zona no saturada | Debe existir una zona de 0.6 1.2 m de suelo no saturado entre el fondo de la zanja de evacuación y el máximo nivel freático. |

La ubicación y pendiente del emplazamiento son más restrictivas en el caso de lechos de infiltración debido a la profundidad de la excavación en el lado más elevado.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Características del Municipio de Jiquipilco

El Municipio de Jiquipilco se localiza al Norte del Valle de Toluca y al Oriente del Valle de Ixtlahuaca, ocupando parte de la serranía de Monte Alto. Su territorio se eleva 2550 msnm partiendo del valle de Ixtlahuaca y su cabecera se encuentra a una altitud 2700 msnm. El territorio esta formado por terrenos accidentados en su parte oriente y planicies en el occidente, con una superficie de 276.45 km²; lo cual representa el 1.2 % del territorio estatal (figura 3-1).

Este Municipio forma parte del sistema orográfico de la provincia del eje neovolcánico transversal y se ubica en la subprovincia lagos y volcanes de Anáhuac. En su relieve se distinguen zonas accidentadas, que abarcan aproximadamente el 20% de la superficie territorial hacia el oriente. Al oriente se localizan las elevaciones: La Bufa, La Peñuela de Yoco, Los Lobos; Cerro grande entre otros. Al occidente El Santuario, el Águila y el Palo. Y al centro el cerro de San Felipe.

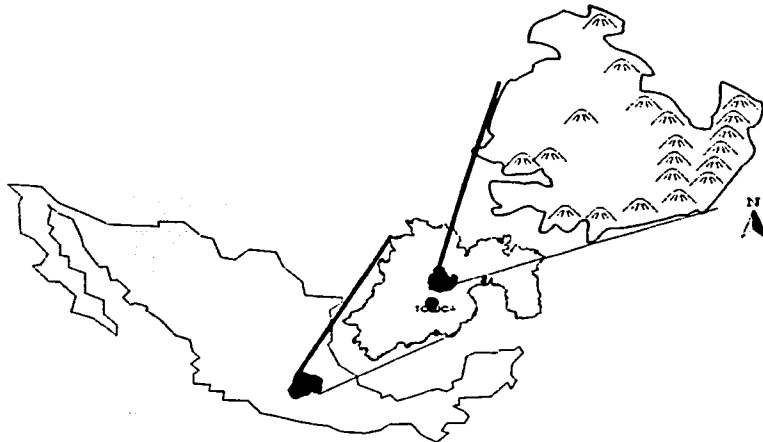


Fig. 3-1 Grafico de topografía del municipio (Ricardo H., 1997)

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Es probable que la estructura de los terrenos en el Municipio de Jiquipilco se haya formado a fines del terciario o comienzo del cuaternario. Por lo que a las características del suelo se refieren éstas son:

1. **Andasol.** Se caracteriza por generarse de una gran cantidad de cenizas producto de la actividad volcánica. Posee una capa de superficial de color negro muy oscuro, de textura esponjosa y muy suelta su localización es muy notoria (21%), en la parte alta del municipio y tiene un uso forestal es su mayor superficie, la restante es ocupada para usos agropecuarios.
2. **Luvisol.** Se encuentra distribuido en toda la falda de las montañas en que se ubica la cabecera municipal (27%). Las características que presenta el suelo son: localizarse en climas templado lluvioso y seco como el que se presenta en la cuenca. Éste suelo es fértil y poco ácido; su color varía del rojo a colores claros, en ocasiones presenta tonos pardos o colores grises. El uso frecuente ha sido agrícola, el forestal a perdido espacio.
3. **Planosol Mólico.** Se encuentra en el 52% del municipio, en toda la parte baja y plana desde el sur de San Miguel Yucatepec hasta el norte de loma de Malacota, que en general tiene características de ser muy fértil, de color oscuro y rico en materia orgánica. Esto permite que dichos suelos tengan un uso agropecuario de alto rendimiento y escasa erosión (Ricardo H., 1997).



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Figura 3-2 Tipo de suelo (Ricardo H., 1997)

Hidrografía en Jiquipilco

El municipio de Jiquipilco forma parte de la cuenca del río Lerma que pasa al occidente de la zona baja. Cuenta con dos ríos que reciben las aguas de diversos riachuelos y escurrideros éstos son: El Sila y el Mado (figura 3-3).

Existen manantiales de cauce perenne, de los cuales sobresalen: Vidado, San Bartolo, Santa Isabel, La plata, Cadenshi, Moquenza, Los Corrales y otros dando un total de 18. También son parte de los recursos hidrológicos del municipio: 51 pozos profundos para el DDF, 12 acueductos, 53 bordos, 24 corrientes intermitentes.

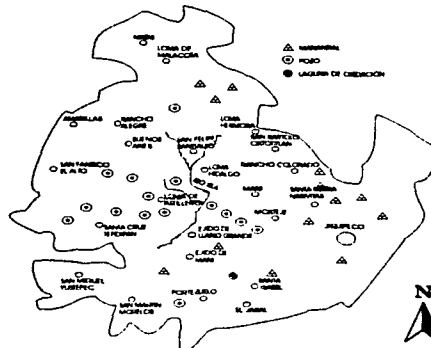


Fig. 3-3 Ideografía del municipio (Ricardo H., 1997)

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

3.3 CAUDALES Y CARACTERISTICAS DEL AGUA RESIDUAL

Los caudales y sus características de aguas residuales de pequeñas comunidades difieren en gran medida de los grandes sistemas.

Es por ello que se hace necesario establecer el caudal promedio y las características típicas de que se reportan para este tipo de comunidades, lo cual nos permitirá tener un parámetro de medida, necesario para el diseño de los diferentes sistemas. La tabla 3-3 nos muestra los valores típico de diferentes tipos de residencia.

Tabla 3-3. Caudales típicos de agua residual procedentes de residencias (Critex, 1994)

| Tipo de vivienda | Caudal (L/hab·d.) | |
|---------------------|-------------------|--------------|
| | Intervalo | Valor Típico |
| Unifamiliar | | |
| Segunda residencia | 140-200 | 170 |
| Ingresos bajos | 160-210 | 180 |
| Ingresos Medios | 160-320 | 210 |
| Residencias de Lujo | 200-400 | 260 |
| Apartamentos | 140-200 | 160 |
| Bloques de pisos | 140-200 | 160 |

Nota: El caudal procedente de las viviendas no incluye otras aportaciones y la ocupación media de las viviendas es de 2.4 y 2.8 residentes por vivienda.

Por lo tanto podemos establecer las características del agua residual para pequeñas comunidades dentro de ciertos parámetros típicos como a continuación nos lo indica la tabla 3-4.

Tabla 3-4. Datos típicos de los factores de carga unitaria procedentes de residencias individuales (Metcalf, 1995)

| Elemento | Factor de carga unitario (g/hab·d) | Valor | | |
|-------------------------------------|------------------------------------|--------------|-----------------------------------|-----------------|
| | | Unidad | Intervalo* | Típico** |
| DBO ₅ | 81.50 | mg/L | 216-540 | 392 |
| SS | 100.00 | mg/L | 240-600 | 436 |
| NH ₃ como N ₂ | 3.20 | mg/L | 7-20 | 14 |
| N orgánico como N ₂ | 0.05 | mg/L | 24-60 | 43 |
| P orgánico P ₂ | 1.35 | mg/L | 4-10 | 7 |
| Grasas | | mg/L | 45-100 | 70 |
| Coliformes totales | | Num /100 mL | 10 ⁷ -10 ¹⁰ | 10 ⁸ |
| pH | | Adimensional | 5-8 | 7.2 |

* Los valores de las concentraciones se basan en caudales de 380 y 150 L/hab·d.

** Para un caudal de 210 L/hab·d.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

3.4 CONSIDERACIONES GENERALES DE DISEÑO

Debido a su tamaño las pequeñas comunidades no pueden aprovechar las ventajas de la economía de escala que se derivan de la construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales para grandes comunidades. Como consecuencia las instalaciones suelen tener un coste por habitante mucho más elevado en pequeñas comunidades, debido a que la población esta más dispersa.

En el caso del municipio de Jiquipilco También influye la topografía que presenta el terreno, por lo tanto se hace necesario generar sistemas de tratamientos de aguas residuales, para que todos los habitantes tengan acceso a estos sistemas a un costo mínimo y pueda aprovecharse el agua tratada.

El municipio de Jiquipilco cuenta con varios sistemas de tratamiento de aguas residuales, pero estos no captan la totalidad del agua residual generada en las comunidades, a continuación se presenta la tabla 3-5 con datos al respecto.

Tabla 3-5. Plantas de tratamiento de aguas residuales en el Municipio de Jiquipilco

| Ubicación (Localidad) | Plantas en | | | Capacidad | | Tipo de planta | | Total de Captación (%) |
|--|------------|---|---|-----------|--------------------|----------------|-------------------|------------------------------|
| | A | B | C | Trabajada | Proyectada | Laguna | Tanque séptico | |
| Jiquipilco Mza. | ✓ | | | | | ✓ | | |
| San Felipe (rumbo a sila) | | ✓ | | | 180 m ³ | | | 30 |
| San Felipe (Rumbo a la soledad) | | ✓ | | | 180 m ³ | | ✓ | 30 |
| San Felipe (Río) | | ✓ | | | 180 m ³ | | ✓ | 30 |
| Dolores Amarillas | | ✓ | | | 180 m ³ | | ✓ | 70 |
| San Felipe (centro) | | ✓ | | | 180 m ³ | | ✓ | 30 |
| San Felipe (rumbo a san José buenos aires) | | ✓ | | | 180 m ³ | | ✓ | 30 |
| Loma de hidalgo | | ✓ | | | 180 m ³ | | ✓ | 60 |
| Barrio 1° de buenos aires | | ✓ | | | 180 m ³ | | ✓ | 60 |
| Loma de san felipe | | ✓ | | | 180 m ³ | | ✓ | 60 |
| Rincón de loma hidalgo | | ✓ | | | 180 m ³ | | ✓ | 30 |
| Madroño | | ✓ | | | 180 m ³ | | ✓ | 90 |
| Ranchería de sila | | ✓ | | | 180 m ³ | | ✓ | 70 |
| San bartolo oxtotitlan | | | ✓ | | 180 m ³ | | ✓ | 25 |
| Santa cruz | | | ✓ | | 180 m ³ | | ✓ | 25 |

Nota. A = Funcionamiento, B = Construcción, C = Proyecto. En cuanto a los tanques sépticos esto son de doble cámara.

Como se puede ver en los datos presentados en la tabla 3-5, se hace necesario la utilización de sistemas descentralizados, que permitan la utilización del agua residual para riego agrícola.

TRABAJO CON
 FALLA DE ORIGEN

3.4.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS SISTEMAS

Es importante tomar en cuenta los parámetros necesarios para el diseño de los diferentes partes que componen los sistemas mencionados en la tabla 2-6, ya que de ello depende el buen funcionamiento y el correcto diseño de cada uno de los sistemas integrados.

Tanque Séptico

El Tanque séptico es un tanque hermético (ver figura 3-4) construido de piedra, ladrillo, hormigón u otro material, es generalmente rectangular, el cual se proyecta para que las aguas permanezcan un periodo de 12 a 24 horas. Aquí se decanta la mayor parte de materia sedimentable, la cual entra en un proceso de digestión anaerobia. Por esta razón la cantidad de lodo que se acumula es pequeña, sin embargo, constituye una cantidad finita que con el tiempo hace disminuir el volumen efectivo de la fosa séptica y por consiguiente el periodo de retención. Se estima un volumen de lodos digeridos por persona en periodos de limpieza (máximo dos años) de 30 a 70 litros.

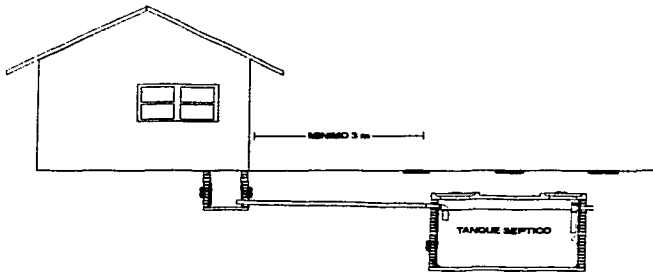


Fig. 3-4 Tanque séptico (Collt, 1997)

Entre la cara inferior de la cubierta y el nivel máximo de agua deberá de dejarse un espacio de 40 cm (mínimo 0.25 cm) para gases y materia flotante. Es importante que se le provea de registros

impermeables y herméticos de no menos de 60 cm de diámetro, que permita el acceso a un hombre y la extracción periódica de lodos.

Las aguas negras llegan al tanque séptico por medio de una "T" que descarga verticalmente a una profundidad no menor de 60 cm del nivel del agua, ésta se coloca exactamente debajo del registro, permitiendo la limpieza en caso de obstrucción. La salida del agua sedimentada se efectúa también a través de una "T" (figura 3-5).

Es necesario precisar que para los cálculos se tomara el caudal de 150 L por habitante como lo marca el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (Collt 1997).

Una adecuada área superficial guarda una relación entre el largo-ancho de 2:1 a 3:1 cualquier valor dentro del rango mencionado proporciona buenos resultados (tabla 3-11). En cuanto a la altura se recomienda ver la tabla 3-6

Tabla 3-6. Alturas típicas de fosas sépticas (Collt, 1997)

| Altura (m) | Habitantes |
|------------|------------|
| 1.7 | 1-19 |
| 2.0 | 20-30 |
| 2.3 | 31-40 |
| 2.4 | 41-60 |
| 2.5 | 61-100 |

Lecho de Raíces y Sistemas Acuáticos

En los lechos de raíces y sistemas acuáticos se llevan a cabo procesos biológicos, físicos y químicos que conjuntamente remueven contaminantes del agua residual (figura 3-6).

Para el correcto funcionamiento se recomiendan áreas donde predominen suelos húmedos, áreas rocosas o con grava que estén saturadas o cubiertas con agua. Dado que el trabajo de excavación afecta el costo del sistema los grados de pendiente para los lugares seleccionados deben ser de menos del 5%. Se prefieren suelos con capas subterráneas poco permeables.

La selección de las plantas es uno de los principales factores que afecta la eficiencia del tratamiento. A continuación se presentan una lista de plantas de las cuales pueden seleccionarse algunas.

- Narciso
- Tule
- Junco
- Bejuco
- Junquillo canario
- Carrizo
- Papiro
- Cardo ruso
- Ingesta
- Cola de mapache
- Zuzón
- Ambrosía

Dentro de los criterios más importantes que involucran el diseño de este tipo de tratamientos son mencionados en la tabla 3-7 y 3-8.

Tabla 3-7 Características del medio para el lecho (Coll. 1997)

| Tipo de medio | Diámetro efectivo de tamaño de grano (mm) | Porosidad n | Conductividad hidráulica ($K_c = m^3/m^2 d$) | K_{20} día ⁻¹ |
|-----------------|---|-------------|--|----------------------------|
| Arena media | 1 | 0.42 | 420 | 1.84 |
| Arena de cuarzo | 2 | 0.39 | 480 | 1.35 |
| Grava | 8 | 0.35 | 500 | 0.86 |

La profundidad del flujo subterráneo se controla por la penetración de los rizomas y raíces de la planta, debido a que las plantas proveen oxígeno al agua a través de sus sistema de rizoma/raíz, pero se puede especificar la profundidad óptima en los lechos de flujo subterráneos es de 60 a 70 cm (tabla 3-12).

Dentro de las especificaciones más importantes se encuentra las estructuras de entrada y salida, debido a la importancia que tiene la distribución homogénea en todo el sistema, ésta puede ser un tubo con orificios o "T" uniforme mente espaciados o un canal a lo ancho.

Tabla 3-8 Criterios de diseño y remoción esperada de contaminantes(Coll. 1997)

| Criterio | Rango/Clase | Rango/Clase Usual | Parámetros | Porcentajes de remoción |
|--------------------------------|--------------------------|-------------------------|---------------------|-------------------------|
| Profundidad | 30-76 cm | 30 a 65 cm | DBO | 70-90 |
| Sustrato (arena, grava ó roca) | <40 mm | 20-30 mm | Sólidos suspendidos | 60-90 |
| Tipo de planta | Emergente | Junco y carrizo | Nitrógeno | 40-90 |
| Tiempo de residencia | 6-14 días | 6 a 7 días | Fósforo | 40-80 |
| Carga hidráulica | <200 L/m ² /d | 150 L/m ² /d | Coliformes | 60-95 |
| Área | 01-250 acres | | | |

Unidad Anaerobia UASB y Biofiltro (lecho fluidizado)

El diseño de los procesos de tratamiento anaerobio dependen del tipo de sistema para procesos convencionales de mezcla completa, el diseño se basa en un reactor de mezcla completa sin recirculación (figura 3-8). En la tabla 3-9 se registran los coeficientes cinéticos más comunes para el todo de las aguas residuales.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Tabla 3-9. Coeficientes cinéticos más usuales para la digestión anaerobia
(Crites, 1994)

| Coeficiente | Base | Valores ¹ | |
|-------------|---------------|----------------------|-------|
| | | Rango | Usual |
| k | d^{-1} | 0.5-2 | 1 |
| K_p | mg DQO/L | 500-2500 | 1500 |
| Y | mg SSV/mg DQO | 0.05-0.15 | 0.1 |
| K_d | d^{-1} | 0.02-0.05 | 0.03 |

Los valores reportados son para 20°

De forma alterna, los procesos de tratamiento anaerobio, se pueden dimensionar sobre la base de carga orgánica volumétrica y de sólidos volátiles (tabla 3-14). Los valores usuales para estos parámetros se registran en la tabla 3-10. Se debe tener en cuenta que ni el valor de L_{org} ni el de L_{ssv} son parámetros fundamentales, sino parámetros usados para dimensionar un reactor, empleando la siguiente ecuación.

$$V = \frac{(C \cdot Q \cdot F)}{L_{org}}$$

Donde V = volumen del reactor, pies³ (m³)

C = concentración de materia orgánica mg DQO/L (g/m³)

Q = caudal de agua residual Mgal/d (m³/d)

F = Factor de conversión 8.34 lb/Mgal(mg/L) (10³ kg/g)

L_{org} = Tasa de carga orgánica volumétrica lb DQO/pie³ d (kg DQO/m³ d)

Filtro de Lecho Empacado

En este tipo de filtros el agua fluye verticalmente sin colmar el medio, mientras que el aire fluye a través de éste siguiendo una trayectoria independiente. Cuando el agua viaja a través del medio absorbente, prefiere utilizar los espacios vacíos del interior del medio filtrante (Tezontle), por lo tanto los espacios que quedan entre el medio filtrante se utilizan para la recirculación del aire, permitiendo el transporte directo del oxígeno (figura 3-9).

Mientras que los rellenos de roca u otros materiales similares, no pueden sobrepasar profundidades de 1 a 2.5 m, los lechos de materiales sintéticos pueden sobrepasar profundidades de 6 a 12 m. Como el empaque que se utilizará es tezontle dimensiones se basen en profundidades para rellenos de roca (tabla 3-15).

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Unidad Anaerobia USB

La principal característica de este reactor es la cama de lodos. La cual debe estar formada por un lodo granular anaerobio, ésta debe tener concentraciones mayores que en la parte superior del reactor.

Este tipo de reactor se utiliza para tratar aguas tanto industriales como domesticas. Por lo que para aguas de tipo doméstico (figura 3-7), se recomiendan alturas de 3-5 m (Howard 1994).

El separador gas-sólido tiene los objetivos de separar y descargar el biogás del reactor, permitir la decantación de lodo dentro del reactor, evitar el lavado de bacterias viables, etc. Es por ello que debe considerarse: que las mamparas deben tener ángulos entre 45 y 60° respecto a la horizontal, la altura de este dispositivo es entre 1.5 y 2 m, el traslape de colectores debe ser de 10 a 20 cm y material de construcción debe ser de acero con recubierto con alguna material plástico (las dimensiones se muestra en la tabla 3-13).

Tabla 3-10 Datos sobre el desempeño de procesos anaerobios (Critex, 1994)

| Proceso | Entrada DQO, mg/L | Tiempo de retención hidráulica h | Tasa de carga orgánica, lb DQO/pie ³ d | Remoción de DQO % |
|---|-------------------|----------------------------------|---|-------------------|
| Digestión anaerobia | 1500-5000 | 360-480 | 0.1-0.3 | 45-65 |
| Contacto anaerobio | 1500-5000 | 2-10 | 0.1-1.0 | 75-90 |
| Manto de lodos anaerobio de flujo ascendente (UASB) | 5000-15000 | 18-30 | 0.05-1.0 | 65-85 |
| Lecho fluidizado de flujo ascendente | 10000-20000 | 18-30 | 0.1-1.25 | 75-90 |
| Lecho fluidizado | 5000-10000 | 65-85 | 0.3-1.8 | 80-95 |

Nota: lb DQO/pie³ d x 16.0185 = kg DQO/m³ d

3.4.2 DIMENSIONAMIENTO

El dimensionamiento de las unidades tomo en cuenta los datos obtenidos de los tanques sépticos los cuales se utilizan en todos los sistemas propuestos, por lo que se presentara la tabla 3-11 que contiene los datos de dimensionamiento de éste y se hará referencia la misma. Cabe mencionar que se dimensionaron los sistemas uno a uno de tal manera que se pueden hacer las combinaciones de las sistemas necesarios, así como también pueden construirse los sistemas en partes hasta alcanzar el sistema deseado, dependiendo de la calidad de agua y el uso que a esta se le de.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Tabla 3-11 Dimensiones del tanque séptico

| Literal | N | H | W | L1 | L2 | HT | B |
|------------|-------------------|----------------------|-----------|-----------|-----------|------------------|-----------------|
| Habitantes | Numero de cámaras | altura propuesta (m) | Ancho (m) | Largo (m) | Largo (m) | Altura total (m) | Borde libre (m) |
| 1-5 | 2 | 1.7 | 0.85 | 1.00 | 0.50 | 2.10 | 0.40 |
| 6-10 | 2 | 1.7 | 0.85 | 1.30 | 0.70 | 2.10 | 0.40 |
| 11-15 | 2 | 1.7 | 1.00 | 1.60 | 0.85 | 2.10 | 0.40 |
| 16-20 | 2 | 1.7 | 1.10 | 1.80 | 0.90 | 2.10 | 0.40 |
| 21-30 | 1 | 2.0 | 1.30 | 3.00 | - | 2.45 | 0.45 |
| 31-40 | 1 | 2.3 | 1.40 | 3.50 | - | 2.80 | 0.50 |
| 41-60 | 1 | 2.4 | 1.65 | 4.00 | - | 2.90 | 0.50 |
| 61-80 | 1 | 2.5 | 1.85 | 4.60 | - | 3.00 | 0.50 |
| 81-100 | 1 | 2.5 | 2.00 | 5.20 | - | 3.00 | 0.50 |

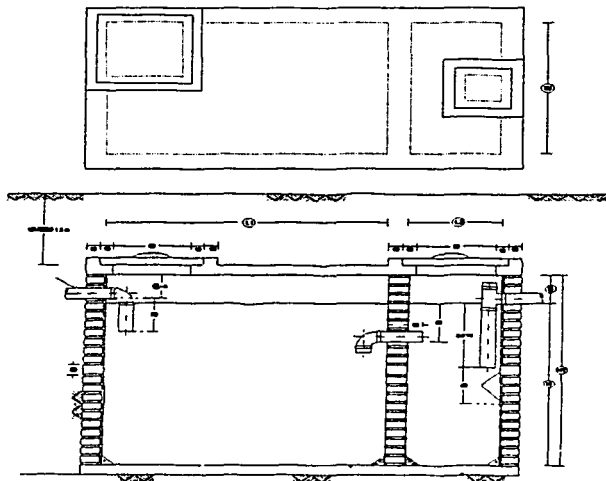


Fig. 3-5 Tanque séptico dimensiones (Collt, 1997)

**TRABAJOS CON
FALLA DE ORIGEN**

Tabla 3-12 Dimensiones del lecho de raíces y sistemas acústicos

| Variables | W | L | H |
|------------|-----------|-----------|------------|
| Habitantes | Ancho (m) | Largo (m) | Altura (m) |
| 1-5 | 1.84 | 6.99 | 0.70 |
| 6-10 | 3.00 | 11.41 | 0.70 |
| 11-15 | 3.83 | 14.55 | 0.70 |
| 16-20 | 4.51 | 17.12 | 0.70 |
| 21-30 | 5.36 | 20.38 | 0.70 |
| 31-40 | 6.33 | 24.04 | 0.70 |
| 41-60 | 7.55 | 28.68 | 0.70 |
| 61-80 | 8.92 | 33.88 | 0.70 |
| 81-100 | 10.10 | 38.39 | 0.70 |

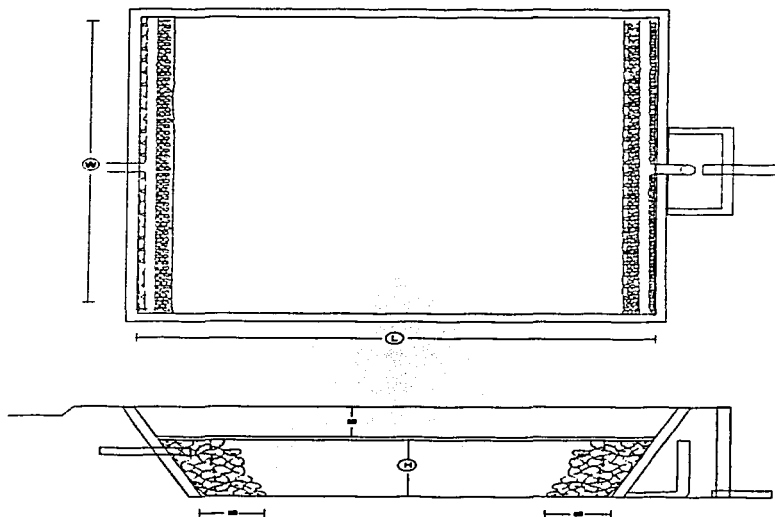


Fig. 3-6 Lecho de hidrófilas (Collit, 1997)

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Tabla 3-13 Dimensiones del tanque USB

| Variables | H | L | W | HT |
|------------|---------------|--------------|--------------|---------------------|
| Habitantes | Altura (m) | Largo (m) | Ancho (m) | Altura total (m) |
| 1-5 | 3 | 0.85 | 0.65 | 3.45 |
| 6-10 | 3 | 0.85 | 0.65 | 3.45 |
| 11-15 | 3 | 1.00 | 0.80 | 3.45 |
| 16-20 | 3 | 1.10 | 0.90 | 3.45 |
| 21-30 | 3 | 1.30 | 1.20 | 3.45 |
| 31-40 | 3 | 1.40 | 1.50 | 3.45 |
| 41-60 | 3 | 1.65 | 1.85 | 3.45 |
| 61-80 | 3 | 1.85 | 2.20 | 3.45 |
| 81-100 | 3 | 2.00 | 2.45 | 3.45 |

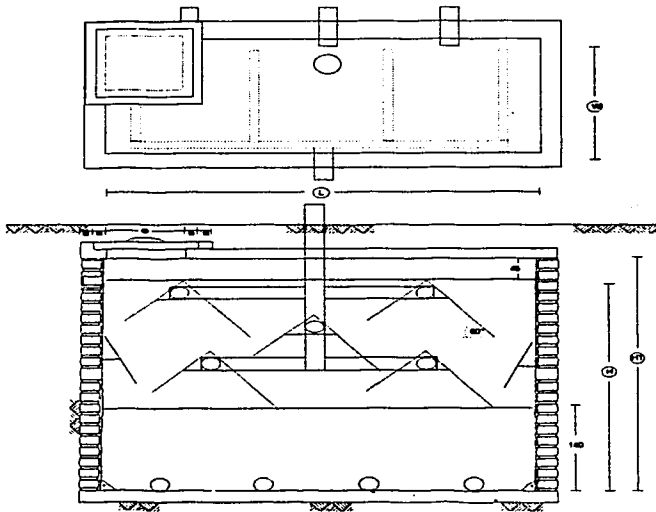


Fig. 3-7 reactor USB (Collt, 1997)

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Tabla 3-14 Dimensiones del biofiltro

| Variables | N | H | W | L1 | L2 | HT |
|------------|----------------------|------------------------------|--------------|--------------|--------------|---------------------|
| Habitantes | Número de camaras | Altura de empaquet (m) | Ancho (m) | Largo (m) | Largo (m) | Altura Total (m) |
| 1-5 | 1 | 0.45 | 0.85 | 0.65 | - | 1.10 |
| 6-10 | 1 | 0.45 | 0.85 | 1.20 | - | 1.10 |
| 11-15 | 2 | 0.55 | 1.00 | 0.70 | 0.70 | 1.20 |
| 16-20 | 2 | 0.65 | 1.10 | 0.70 | 0.70 | 1.30 |
| 21-30 | 2 | 0.65 | 1.30 | 0.90 | 0.90 | 1.30 |
| 31-40 | 2 | 0.65 | 1.40 | 1.15 | 1.15 | 1.30 |
| 41-60 | 2 | 0.65 | 1.65 | 1.40 | 1.40 | 1.30 |
| 61-80 | 2 | 0.65 | 1.85 | 1.65 | 1.65 | 1.30 |
| 81-100 | 2 | 0.65 | 2.00 | 1.85 | 1.85 | 1.30 |

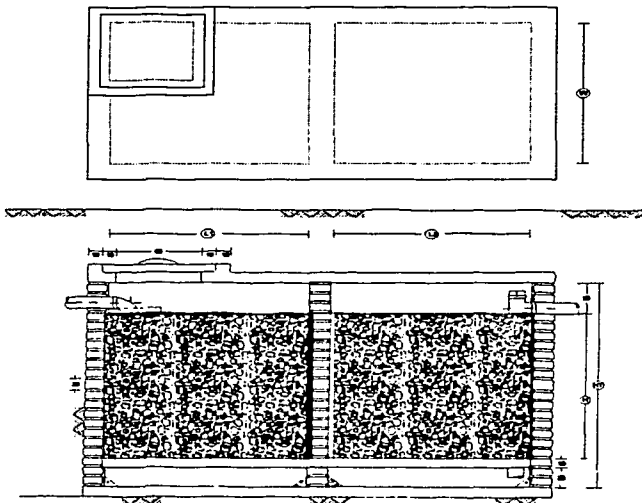


Fig. 3-8 Biofiltro (Collt, 1997)

TEMA CON
FALLA DE ORIGEN

Tabla 3-15 Dimensiones del filtro de lecho empacado

| Variable | H | D | HT |
|------------|-----------------------|--------------|------------------|
| | Altura de Empaque (m) | Diámetro (m) | Altura total (m) |
| Habitantes | | | |
| 1-5 | 1.00 | 1.15 | 1.50 |
| 6-10 | 1.00 | 1.60 | 1.50 |
| 11-15 | 1.00 | 2.00 | 1.50 |
| 16-20 | 1.00 | 2.30 | 1.50 |
| 21-30 | 1.25 | 2.50 | 1.75 |
| 31-40 | 1.50 | 2.60 | 2.05 |
| 41-60 | 1.50 | 3.20 | 2.05 |
| 61-80 | 2.00 | 3.20 | 2.55 |
| 81-100 | 2.00 | 3.60 | 2.55 |

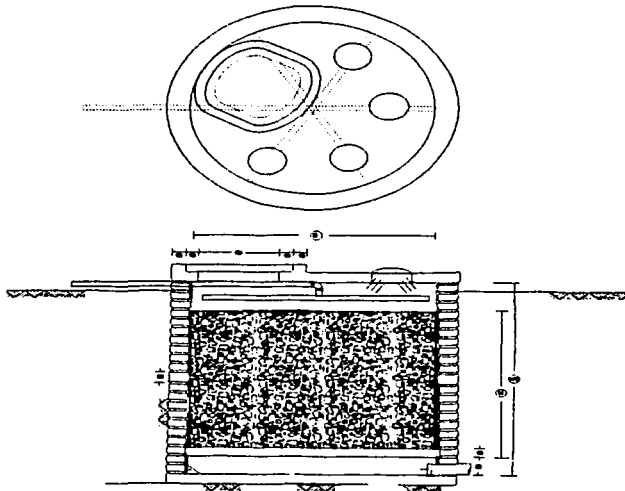


Fig. 3-9 filtro de lecho empacado (Collt, 1997)

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

3.5 ANALISIS ECONOMICO

En esta etapa se determinará la viabilidad del proyecto haciendo uso de análisis costo/beneficio procurando dar la información de carácter económico y que los beneficios sean lo más apegado a la realidad. Aquí comienza la determinación de los costos así como la inversión y el análisis económico de los beneficios que tendrá cada sistema.

3.5.1 INVERSIÓN INICIAL

La inversión inicial comprende el costo de cada sistema, diferenciándolo en costos de material y mano de obra, con lo cual se obtienen los datos que arroja la tabla 3-16. Se toma en cuenta que el ayuntamiento se aportará el costo de material y los beneficiarios el costo de la mano de obra, la inversión inicial hace referencia al costo que tendrá el material.

Tabla 3-16 Costo de material para cada sistema

| Habitantes | TS-AT | TS-LR-LA | TS-ANAI | TS-ANA2 | TS-AER | TS-ANAI-2 | TS-ANA-AER |
|------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 1-5 | \$ 3,800.00 | \$ 5,349.00 | \$ 6,937.00 | \$ 4,811.00 | \$ 5,560.00 | \$ 7,945.00 | \$ 8,695.00 |
| 5-10 | \$ 4,289.00 | \$ 7,336.40 | \$ 7,424.80 | \$ 5,912.00 | \$ 6,981.20 | \$ 9,047.60 | \$ 10,116.80 |
| 10-15 | \$ 5,083.00 | \$ 9,548.80 | \$ 8,725.80 | \$ 7,223.80 | \$ 8,752.60 | \$ 10,866.60 | \$ 12,360.40 |
| 16-20 | \$ 5,500.60 | \$ 11,299.80 | \$ 9,462.80 | \$ 7,776.00 | \$ 9,890.40 | \$ 11,738.20 | \$ 13,810.60 |
| 21-30 | \$ 6,078.80 | \$ 13,793.80 | \$ 10,832.60 | \$ 9,132.00 | \$ 12,033.00 | \$ 13,885.80 | \$ 16,756.80 |
| 31-40 | \$ 7,471.00 | \$ 17,621.60 | \$ 13,043.40 | \$ 11,157.20 | \$ 14,265.60 | \$ 16,729.60 | \$ 19,866.40 |
| 41-60 | \$ 8,848.40 | \$ 22,664.20 | \$ 15,326.40 | \$ 13,609.60 | \$ 17,994.20 | \$ 20,087.60 | \$ 24,442.20 |
| 61-80 | \$ 10,334.80 | \$ 28,764.80 | \$ 17,845.80 | \$ 16,115.20 | \$ 20,732.00 | \$ 23,626.20 | \$ 28,243.00 |
| 81-100 | \$ 11,609.20 | \$ 34,602.00 | \$ 19,852.60 | \$ 18,229.20 | \$ 24,099.00 | \$ 26,472.60 | \$ 32,342.40 |

3.5.2 MANTENIMIENTO

Tomando en cuenta que los sistemas no tienen partes móviles ni electromecánicas se puede considerar que el mantenimiento es casi nulo, por lo que únicamente tendrá que tomarse en cuenta la limpieza del tanque séptico. Esto lo puede realizar una persona, si consideramos que el pago al

personal es de \$50⁰⁰ diarios podemos obtener el costo del mantenimiento por cada dos años, como se muestra en la tabla 3-17.

Tabla 3-17 Costo de mantenimiento para cada sistema

| Habitantes | TS-AT | TS-LR-LA | TS-ANA1 | TS-ANA2 | TS-AER | TS-ANA1-2 | TS-ANA-AER |
|------------|-------|----------|---------|---------|--------|-----------|------------|
| 1-5 | \$50 | \$50 | \$50 | \$50 | \$50 | \$50 | \$50 |
| 5-10 | \$50 | \$50 | \$50 | \$50 | \$50 | \$50 | \$50 |
| 10-15 | \$100 | \$100 | \$100 | \$100 | \$100 | \$100 | \$100 |
| 16-20 | \$100 | \$100 | \$100 | \$100 | \$100 | \$100 | \$100 |
| 21-30 | \$150 | \$150 | \$150 | \$150 | \$150 | \$150 | \$150 |
| 31-40 | \$150 | \$150 | \$150 | \$150 | \$150 | \$150 | \$150 |
| 41-60 | \$200 | \$200 | \$200 | \$200 | \$200 | \$200 | \$200 |
| 61-80 | \$200 | \$200 | \$200 | \$200 | \$200 | \$200 | \$200 |
| 81-100 | \$300 | \$300 | \$300 | \$300 | \$300 | \$300 | \$300 |

3.5.3 VALORACIÓN DE LA RAZON BENEFICIO/COSTOS

La comunidad seleccionada para el análisis de beneficio/costo es la manzana Quinta la Capilla. Que está ubicada aproximadamente dos kilómetros al sur oriente de la cabecera municipal. Como en esta comunidad las pendientes son pronunciadas las aguas residuales de los terrenos altos afectan a los terrenos más bajos ya que esta manzana no tiene drenaje sanitario por lo que todos los desechos son arrojados a caños a cielo abierto provocando con esto una gran contaminación. Siendo un gran foco de infección los linderos donde se ubican los caños. Por otro lado las tierras de sembradios han dejado de ser utilizadas para esos fines, en la actualidad son ocupadas para el pastoreo.

Esta comunidad cuenta con 24 familias, en una extensión de terreno de aproximadamente tres hectáreas y media de las cuales, cerca de dos hectáreas y media son utilizadas para el pastoreo de borregos, pero su utilidad se limita únicamente a los meses de junio a septiembre en los cuales se presenta la temporada de lluvia. Los otros meses del año se mantienen a los animales con pastura.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Valuación de Beneficios/Costos

Beneficios directos e indirectos de los usuarios

El objetivo del análisis de beneficios/costo es maximizar el valor equivalente de todos los beneficios sobre todos los costos:

$$B/C = \frac{\text{beneficios positivos} - \text{beneficios negativos}}{\text{costos}}$$

Una razón beneficio costo mayor o igual a 1 indica que el proyecto evaluado es económicamente ventajoso.

La razón modificada incluye los costos de mantenimiento y operación (M&O) en el numerador, tratándolos como beneficios negativos.

$$B/C = \frac{\text{beneficios positivos} - \text{beneficios negativos} - \text{costos de M\&O}}{\text{costos}}$$

BENEFICIOS CON SISTEMAS DESCENTRALIZADOS DE TRATAMIENTO

La comunidad puede ser dividida en seis sistemas (TS-ANA1) para captar las aguas residuales, con esto se dará uso a la agua que se desperdicia, regando campos de pastoreo y siembra.

Beneficios Directos.

Ahorro por servicios médicos en infecciones gastrointestinales

Beneficios Indirectos.

Incrementar el periodo de pastoreo

Generación de hortalizas

Obtención de abono

1. Beneficios por ahorros médicos de infecciones se calcularon tomando en cuenta que la consulta y el medicamento, esto haciende a \$150^{oo} por persona enferma si se enferman al año 2 personas en promedio por familia el ahorro sería de \$7,200^{oo} anual.

- Beneficios por incremento en periodo de pastoreo, esto se ve reflejado en el ahorro de pastura para los animales en periodo de estiaje, es de \$20⁰⁰ quincenales por familia que tiene borregos (16), por lo que el ahorro anual será \$3,200⁰⁰ anual.
- Beneficios por hortalizas el consumo de verduras (chiles, jitomate, tomate, etc.) genera un gasto aproximado \$25⁰⁰ quincenales por familia, con esto se tendría un ahorro de \$14,400⁰⁰ anual.

Beneficios

| Concepto | Costo |
|------------------------|--------------------|
| Ahorros médicos | \$ 7,200.00 |
| Incremento de pastoreo | \$ 3,200.00 |
| Hortalizas | \$ 14,400.00 |
| TOTAL | \$24,800.00 |

Costos

Se eligieron 5 sistemas del tipo tanque séptico biofiltro a anaerobio (TS-ANA1), los cuales tienen diferentes capacidades

| Habitantes | Costo |
|--------------|--------------------|
| 16 | \$ 9,462.80 |
| 8 | \$ 7,424.80 |
| 12 | \$ 8,725.80 |
| 18 | \$ 9,462.80 |
| 19 | \$ 9,462.80 |
| 25 | \$ 10,832.60 |
| TOTAL | \$55,371.60 |

Mantenimiento

El mantenimiento debe considerarse como anual, mientras que a los sistemas se les da mantenimiento 1 una vez cada dos años por lo que el mantenimiento de los sistemas es:

| Habitantes | Mantenimiento |
|--------------|-----------------|
| 16 | \$50.00 |
| 8 | \$50.00 |
| 12 | \$50.00 |
| 18 | \$50.00 |
| 19 | \$50.00 |
| 25 | \$75.00 |
| TOTAL | \$325.00 |

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Razón Beneficio/Costo

La razón beneficio/costo se debe de estimar para un periodo de 20 años, por lo que los datos de este periodo serán.

$$B/C = \frac{\$282,644.47}{\$55,371.60} = 5.10$$

BENEFICIOS CON REDES DE ALCANTARILLADO

Beneficios Directos.

Ahorro por servicios médicos en infecciones gastrointestinales

- Beneficios por ahorros médicos de infecciones se calcularon tomando en cuenta que la consulta y el medicamento y esto haciende a \$150^{oo} por persona enferma si se enferman al año 2 personas en promedio por familia el ahorro sería de \$7,200^{oo} anual.

Beneficios

| <u>Concepto</u> | <u>Costo</u> |
|-----------------|-------------------|
| Ahorros médicos | \$ 7,200.00 |
| TOTAL | \$7,200.00 |

Costos

Se colocaran 300 m lineales de tubo de 45 cm y 250 m lineales de tubo de 25 cm mas tres ollas de colectoras

| <u>Concepto</u> | <u>Costo</u> |
|------------------|--------------------|
| Tubo de 45 cm | \$ 46,800.00 |
| Tubo de 25 cm | \$ 11,000.00 |
| Ollas colectoras | \$ 800.00 |
| Mano de obra | \$ 12,600.00 |
| TOTAL | \$71,200.00 |

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Beneficios negativos

En la temporada de estiaje de debe comprar pastura para los animales esto es 8 manojos de alfalfa de \$3.50 por semana durante seis meses

| <u>Concepto</u> | <u>Costo</u> |
|-----------------|-----------------|
| Pastura | \$ 672.00 |
| TOTAL | \$672.00 |

Razón Beneficio/Costo

La razón beneficio/costo se debe de estimar para un periodo de 20 años, por lo que los datos de este periodo serán.

$$B/C = \frac{\$74,875.65}{\$71,200.00} = 1.05$$

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Como puede observarse la razón costo/beneficio de la propuesta en la construcción de sistemas de tratamiento de agua, es mayor que la del alcantarillado por la tanto podemos acertar en decir que el proyecto nos asegura que la inversión que se realice traerá beneficios a las diferentes comunidades en las que se ponga en marcha este tipo de proyectos, asegurando la reutilización de tan vital líquido, evitando con esto el desperdicio que pudiera ocasionar el uso del agua para el riego de hortalizas, u otro tipo de sembradíos.

CONCLUSIONES

Como podemos constatar el tratamiento del agua es una verdadera necesidad, no solo a nivel urbano sino también en el ámbito rural, y en este último, poco se hace para que el agua sea no solo tratada sino que también se reutilizada y que tenga un beneficio para las personas que lo lleven a cabo, ya sea para sembrar hortalizas, para regar praderas de pastoreo ó para alguna otra actividad agrícola.

El municipio de Jiquipilco, Estado de México, esta constituido por zonas topográficas muy accidentadas que no hacen posible el tratamiento centralizado de aguas residuales, aunado a esto hay que considerar que las casas están alejadas unas de otras.

El tratamiento descentralizado es la mejor opción ya que permite a las personas y comunidades sacar provecho al reutilizar el agua, por lo que podemos concluir que es mas viable realizar este tipo de tratamiento para el caso de este municipio. Ya que el costo de inversión y el beneficio que representa es mayor comparado con un sistema centralizado cuyo beneficio-costos es cuatro puntos más bajo que el de los sistemas de tratamiento descentralizados.

| Sistemas | Razón beneficio/costo |
|-------------------------|--------------------------|
| Descentralizados | 5.10 |
| Redes de alcantarillado | 1.05 |

Con los siete sistemas de tratamiento que se plantean en este proyecto podemos concluir que se satisfacen las necesidades de las diferente comunidades que integran este municipio, y que la selección dependerá de la utilización que se le de al agua (ver sistemas seleccionados capitulo II) así, como de la pendiente con la que cuente el terreno, tal es el caso del lecho de plantas acuáticas que recomienda pendientes menores al 5%.

Los sistemas presentados son sistemas sin partes electromecánicas (bombas) y con reutilización de agua. Esto no quiere decir que no haya sistemas con estas características por lo que en los anexos se presentan dos sistemas con tales características para apoyar más aun el trabajo realizado.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

BIBLIOGRAFIA.

1. **Allende A. I. V., "Manual de tratamiento de aguas", edit. Imprenta, Cuba.**
2. **Crites R., Tchobanoglous G. (1994), "Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones", Ed. McGraw Hill, México.**
3. **Chan S. P. (1997), "Ingeniería económica contemporánea", Addison-Wesley Iberoamericana, Estados Unidos.**
4. **Geyer F. (1996), "Purificación de aguas y tratamiento y remoción de aguas residuales", 12ª.edición, edit. Limusa, Volumen I, México.**
5. **Geyer F. (1996), "Purificación de aguas y tratamiento y remoción de aguas residuales", 12ª.edición, edit. Limusa, Volumen II, México.**
6. **Hammer and Hammer, (1996), "Water, and wastewater, technology", 3ª. Edición, Edit. Prentice-hall, USA.**
7. **Hernández M. A., (1992), "Depuración de aguas Residuales", Ed. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, España.**
8. **Hernández N. Ricardo, (1997), "Jiquipilco monografía municipal", edit. Instituto Mexiquense de Cultura, México.**
9. **Lenand T. B., (2001), "Ingeniería económica", 4ª, Mc-Gra-hill, Colombia.**

10. Metcalf & Eddy Inc., (1995), "Ingeniería de aguas residuales, tratamiento, vertido y reutilización", tercera edición, editorial McGraw Hill, España.
11. De Garmo E. P. (1997), "Ingeniería económica", 10ª, Prentice Hall, México.
12. Ramalho R. S., (1991), "Tratamiento de aguas residuales", 2ª edición, edit. Reverté, España.
13. Rodier J., (1999), "Análisis de Aguas", 2ª Edición, Edit. Omega, Barcelona.
14. Rolim M. S., (2000), "Sistemas de Lagunas de Estabilización", Ed. McGraw Hill., Colombia, 2000.
15. Romero R. J. A., (1999), "Potabilización del agua", edición 3ª, Ed. Alfaomega, México.
16. Shuval, H. I., Adin, A., Fattal, B., Rawitz, E. & Yekutieli, "Health effects of wastewater reuse in agriculture", (Efectos para la salud por el reuso de aguas residuales en la agricultura). Estudios del Banco Mundial en el Abastecimiento de Agua y Saneamiento, Banco Mundial, Washington, D.C.
17. Unda O. F., (1993), " Ingeniería sanitaria aplicada al saneamiento y salud pública", Edit., Limusa, México.
18. Howard D. P. (1994), "Manual de diseño de agua potable, alcantarillado y saneamiento libro II, 3ª sección: potabilización y tratamiento", Edición 1ª, Ed. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, México.
19. Colli M. J., (1997), "Manual de diseño de agua potable, alcantarillado y saneamiento libro II, 3ª sección: Paquetes tecnológicos para el tratamiento de excretas y aguas residuales en comunidades rurales", , Ed. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, México.

20. Hilleboe E. H., (1995), "Manual de tratamiento de aguas negras", 12ª edición Departamento de Sanidad de New York., edit. Limusa, México.
21. Norma Oficial Mexicana NOM-032-ECOL-93
22. Norma Oficial Mexicana NOM-033-ECOL/1994
23. Norma Oficial Mexicana NOM-033-ECOL/1993
24. Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-96
25. Environment protection agency water quality criterial, 1991.
26. INEGI , (1993),"Atlas Ecológico de la cuenca hidrográfica del río Lerma", edit., Tomo I, 1993.
27. <http://www.cepis.ops-oms.org>
OPS; (1995), "Guía de selección y aplicación de tecnologías, de desinfección del agua para el consumo humano en pueblos pequeños y comunidades rurales en América Latina y el Caribe".
28. <http://www.cepis.ops-oms.org>
CEPIS, (1997), "Aspectos sanitarios de la utilización de aguas residuales y excretas en la agricultura y acuicultura".

ANEXOS

ANEXO A

Memorias de Cálculo

Dimensionamiento de tanque séptico

| | |
|---------------------------------------|---------------------|
| Máximo número de habitantes | N = 30 |
| Aportación de agua residual (L/hab d) | Q = 150 |
| Tiempo de retención (días) | t = 1 |
| Periodo de limpieza (años) | t ₂ = 2 |
| Lodo acumulado (L/hab año) | V ₁ = 60 |
| Altura propuesta (m) | H = 2 |
| Volumen del tanque (litros) | |

$$VH = Q \cdot N \cdot t = 150 \cdot 30 \cdot 1 = 4500 \text{ L}$$

Volumen total (litros)

$$V_T = VH + (V_1 \cdot t_2 \cdot N) = 4500 + (60 \cdot 2 \cdot 30) = 8100 \text{ L}$$

Ancho (m)

$$W = \sqrt{\frac{V_T}{2.5 \cdot H}} = \sqrt{\frac{8.1}{2.5 \cdot 2}} = 1.27 \text{ m} \approx 1.3 \text{ m}$$

* El volumen total tiene que estar en metros cúbicos m³

Largo (m)

$$L = 2.5 \cdot W = 2.5 \cdot 1.27 = 3.18 \text{ m} \approx 3 \text{ m}$$

Altura total

$$HT = H + 0.45 \text{ m} = 2 + 0.45 = 2.45 \text{ m}$$

Así es llenada la tabla 3-11 de para obtener las dimensiones del tanque séptico

Tabla 3-11 Dimensiones del tanque séptico

| Literal | N | H | W | L1 | L2 | HT | B |
|------------|-------------------|----------------------|-----------|-----------|-----------|------------------|-----------------|
| Habitantes | Numero de cámaras | altura propuesta (m) | Ancho (m) | Largo (m) | Largo (m) | Altura total (m) | Bordo libre (m) |
| 21-30 | 1 | 2.0 | 1.30 | 3.00 | - | 2.45 | 0.45 |

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Dimensionamiento de lecho de plantas acuáticas

| | |
|---|---------------|
| Promedio de habitantes | $N_p = 26$ |
| Aportación de agua residual (L/habd) | $Q = 150$ |
| tiempo de retención (días) | $t = 7$ |
| Porosidad (n) | $n = 0.35$ |
| DBO a la entrada (mg/L) | $DBO_a = 154$ |
| Constante de decaimiento K_t (dia ⁻¹) | $K_t = 0.86$ |
| Altura (m) | $H = 0.7$ |

DBO en el efluente (mg/L)

$$DBO_b = DBO_a \cdot \text{EXP}(-K_t \cdot t) = 154 \cdot \text{EXP}(-0.86 \cdot 7) = 0.37$$

Caudal (m³/d)

$$Q_p = N_p \cdot Q = 26 \cdot 150 = 3825 \text{ l} = 3.825 \text{ m}^3$$

Área superficial del sistema A_s (m²)

$$A_s = \frac{Q_p \cdot (\ln(DBO_a) - \ln(DBO_b))}{K_t \cdot H \cdot n} = \frac{3.825 \cdot (\ln(154) - \ln(0.37))}{0.86 \cdot 0.7 \cdot 0.35} = 109.29 \text{ m}^2$$

Ancho (m)

$$B = \sqrt{\frac{A_s}{3.8}} = \sqrt{\frac{109.29}{3.8}} = 5.36 \text{ m}$$

Largo (m)

$$L = \frac{A_s}{B} = \frac{109.29}{5.36} = 20.38 \text{ m}$$

Si es llenada la tabla 3-12 calculando con esto las dimensiones del lecho de plantas acuáticas y sistemas acuáticos.

Tabla 3-12 Dimensiones del lecho de raíces y sistemas acuáticos

| Variables | W | L | H |
|------------|-----------|-----------|------------|
| Habitantes | Ancho (m) | Largo (m) | Altura (m) |
| 21-30 | 5.36 | 20.38 | 0.70 |

TRAZO CON
 FOLIA DE ORIGEN

Dimensionamiento de lecho de hidrófilas

| | |
|---|------------|
| Maximo de habitantes | N = 30 |
| Aportación de agua residual (L/habd) | Q = 150 |
| Tasa de carga organica (lbDQO/pie ³ d) | To = 0.8 |
| Concentracion de materia organica (mg DQO/L) | Co = 13000 |
| Factor de conversión (lb/Mgal(mg/L)) | F = 8.34 |
| Altura propuesta (m) | H = 3 |

Caudal

$$QT = N \cdot Q = 30 \cdot 150 = 4500 \text{ L/d} = 0.00118421 \text{ Mgal/d}$$

Volumen del reactor

$$V = (Co \cdot QT \cdot F) / To = (13000 \cdot 0.00118421 \cdot 8.34) / 0.8 = 160.49 \text{ m}^3 = 4.54 \text{ m}^3$$

Ancho

$$W = \text{Ancho del tanque séptico para 30 habitantes} = 1.3 \text{ m}$$

Largo

$$L = V / (H \cdot W) = 4.54 / (3 \cdot 1.3) = 1.19 \text{ m} \approx 1.2 \text{ m}$$

Altura total (m)

$$HT = H + 0.45 = 3.45 \text{ m}$$

Así el contenido de la tabla 3-13 es calculado

| Variables | H | L | W | HT |
|------------|------------|-----------|-----------|------------------|
| | Altura (m) | Largo (m) | Ancho (m) | Altura total (m) |
| Habitantes | 3 | 1.30 | 1.20 | 3.45 |

Dimensionamiento de lecho de Biofiltro

| | |
|---|-----------|
| Máximo de habitantes | N = 30 |
| Aportación de agua residual (L/habd) | Q = 150 |
| Tasa de carga organica (lbDQO/pie ³ d) | To = 1.5 |
| Concentracion de materia organica (mg DQO/L) | Co = 8000 |
| Factor de conversión (lb/Mgal(mg/L)) | F = 8.34 |
| Altura propuesta de empaque (m) | H = 0.65 |

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Caudal

$$QT = N \cdot Q = 30 \cdot 150 = 4500 \text{ L/d} = 0.00118421 \text{ Mgal/d}$$

Volumen del reactor

$$V = (C_o \cdot QT \cdot F) / T_o = (8000 \cdot 0.00118421 \cdot 8.34) / 1.5 = 52.67 \text{ ft}^3 = 1.49 \text{ m}^3$$

Ancho (m)

$$W = \text{Ancho del tanque séptico para 30 habitantes} = 1.3 \text{ m}$$

Largo (m)

$$L = V / (H \cdot W) = 1.49 / (0.65 \cdot 1.3) = 1.8 \text{ m}$$

$$L1 = L2 = L / 2 = 1.8 / 2 = 0.9 \text{ M}$$

Altura total (m)

$$HT = (H \cdot 100) / 50 = (0.65 \cdot 100) / 50 = 1.30$$

Así el contenido de la tabla 3-14 es calculado

| Variables | N | H | W | L1 | L2 | HT |
|------------|----------------------|-----------------------------|--------------|--------------|--------------|---------------------|
| | Número de camaras | Altura de empaque (m) | Ancho (m) | Largo (m) | Largo (m) | Altura Total (m) |
| Habitantes | 21-30 | 2 | 0.65 | 1.30 | 0.90 | 1.30 |

Dimensionamiento de lecho de filtro de lecho empacado

Máximo de habitantes

$$N = 30$$

Aportación de agua residual (L/habd)

$$Q = 150$$

Tasa de carga organica (lbDQO/pie³ d)

$$T_o = 0.8$$

DBO a la entrada (mg/L)

$$DBO_a = 154$$

DBO a la salida (mg/L)

$$DBO_b = 20$$

Eficiencia de remoción de DBO (%)

$$E_f = 87$$

Factor de conversión (lb/Mgal(mg/L))

$$F = 8.34$$

Altura propuesta de empaque (m)

$$H = 1.25$$

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Caudal

$$QT = N \cdot Q = 30 \cdot 150 = 4500 \text{ L/d} = 0.00118421 \text{ Mgal/d}$$

Carga de DBO para el filtro

$$DBO_c = DBO_a \cdot F \cdot QT = 154 \cdot 8.34 \cdot 0.00118421 = 1.52 \text{ (lb DBO/d)}$$

Volumen del filtro

$$V = \frac{DBO_e \cdot 0.0561^2}{\left(\frac{1}{E_f} - 1\right)^2} \cdot 1000 = \frac{1.52 \cdot 0.0561^2}{\left(\frac{1}{87} - 1\right)^2} \cdot 1000 = 214.88 \text{ ft}^3 = 6.08 \text{ m}^3$$

Area (m²)

$$A = V / H = 6.08 / 1.25 = 4.87 \text{ m}^2$$

Diametro (m)

$$D = \sqrt{\frac{A \cdot 4}{3.1416}} = \sqrt{\frac{4.87 \cdot 4}{3.1416}} = 2.50 \text{ m}$$

Altura total (m)

$$HT = (H \cdot 100) / 75 = (1.25 \cdot 100) / 75 = 1.67 \text{ m} \approx 1.75 \text{ m}$$

Así el contenido de la tabla 3-15 es calculado

Tabla 3-15 Dimensiones del filtro de lecho empacado

| Variables | H | D | HT |
|------------|-----------------------|--------------|------------------|
| | Altura de Empeque (m) | Diámetro (m) | Altura total (m) |
| Habitantes | 21-30 | 1.25 | 2.50 |
| | | | 1.75 |

Costos

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Costos de material

| MATERIAL | UNIDAD | CANTIDAD | PRECIO UNITARIO | COSTO |
|--------------------------|--------|----------|-----------------|-----------|
| Vanilla | Pza | 1 | \$ 27.00 | \$ 27.00 |
| Cemento | Bulto | 1 | \$ 75.00 | \$ 75.00 |
| Arena | m3 | 1 | \$ 142.00 | \$ 142.00 |
| Grava | m3 | 1 | \$ 142.00 | \$ 142.00 |
| Tabique rojo (22.5x12x5) | Pza | 1 | \$ 1.30 | \$ 1.30 |
| Mortero | Bulto | 1 | \$ 50.00 | \$ 50.00 |
| Alambreon | Kg | 1 | \$ 7.00 | \$ 7.00 |
| Alambre | Kg | 1 | \$ 7.00 | \$ 7.00 |
| Cimbra | m2 | 1 | \$ 30.00 | \$ 30.00 |
| Mampara | m | 1 | \$ 300.00 | \$ 300.00 |

| MATERIAL | UNIDAD | CANTIDAD | PRECIO UNITARIO | COSTO |
|----------|--------|----------|-----------------|-----------|
| Tezontle | m3 | 1 | \$ 142.00 | \$ 142.00 |

Para un tanque séptico de 21 a 30 habitantes los costos que involucran su construcción son los siguientes

| Material | Cantidad | Costo |
|--------------------|----------|-------------------|
| Varilla | 17.0 | \$ 459.00 |
| Cemento | 13.0 | \$ 975.00 |
| Arena | 1.7 | \$ 241.40 |
| Grava | 1.2 | \$ 170.40 |
| Tabique | 1880.0 | \$2,444.00 |
| Mortero | 10.0 | \$ 500.00 |
| Alambres | 163.0 | \$1,141.00 |
| Alambre | 4.0 | \$ 28.00 |
| Cimbra | 4.0 | \$ 120.00 |
| COSTO TOTAL | | \$6,078.80 |

Beneficios con sistemas de tratamiento

$$B = \sum_{n=0}^N b_n (1+i)^{-n}$$

b_n = beneficio al final del periodo

N = Vida del proyecto

i = Tasa de interes del patrocinador

B = beneficio

C = Costo

TRAZO CON
 FRENDA DE ORIGEN

| Periodo | Beneficios | Mantenimiento | Costo | B |
|---------|-------------|---------------|-------------|------------|
| 0 | | | \$55,371.60 | 0 |
| 1 | \$24,800.00 | | | \$23396.23 |
| 2 | \$24,800.00 | \$325.00 | | \$21782.66 |
| 3 | \$24,800.00 | | | \$20822.56 |
| 4 | \$24,800.00 | \$325.00 | | \$19386.49 |
| 5 | \$24,800.00 | | | \$18532.00 |
| 6 | \$24,800.00 | \$325.00 | | \$17253.90 |
| 7 | \$24,800.00 | | | \$16493.41 |
| 8 | \$24,800.00 | \$325.00 | | \$15355.91 |
| 9 | \$24,800.00 | | | \$14679.08 |
| 10 | \$24,800.00 | \$325.00 | | \$13666.71 |
| 11 | \$24,800.00 | | | \$13064.33 |
| 12 | \$24,800.00 | \$325.00 | | \$12163.33 |
| 13 | \$24,800.00 | | | \$11627.21 |

| Periodo | Beneficios | Mantenimiento | Costo | B |
|---------|-------------|---------------|-------|------------|
| 14 | \$24,800.00 | \$325.00 | | \$10825.32 |
| 15 | \$24,800.00 | | | \$10348.17 |
| 16 | \$24,800.00 | \$325.00 | | \$9634.49 |
| 17 | \$24,800.00 | | | \$9209.84 |
| 18 | \$24,800.00 | \$325.00 | | \$8574.67 |
| 19 | \$24,800.00 | | | \$8196.72 |
| 20 | \$24,800.00 | \$325.00 | | \$7631.42 |

B = \$282,644.47

C = \$55,371.60

Beneficios con redes de alcantarillado

| Periodo | Beneficios | Beneficios negativos | Costo | B |
|---------|------------|----------------------|-------------|------------|
| 0 | | | \$71,200.00 | 0 |
| 1 | \$7,200.00 | \$672.00 | | 6158.49057 |
| 2 | \$7,200.00 | \$672.00 | | 5809.89676 |
| 3 | \$7,200.00 | \$672.00 | | 5481.03468 |
| 4 | \$7,200.00 | \$672.00 | | 5170.78743 |
| 5 | \$7,200.00 | \$672.00 | | 4878.10135 |
| 6 | \$7,200.00 | \$672.00 | | 4601.98241 |
| 7 | \$7,200.00 | \$672.00 | | 4341.49284 |
| 8 | \$7,200.00 | \$672.00 | | 4095.74796 |
| 9 | \$7,200.00 | \$672.00 | | 3863.91317 |
| 10 | \$7,200.00 | \$672.00 | | 3645.2011 |
| 11 | \$7,200.00 | \$672.00 | | 3438.86897 |
| 12 | \$7,200.00 | \$672.00 | | 3244.21601 |
| 13 | \$7,200.00 | \$672.00 | | 3060.58114 |
| 14 | \$7,200.00 | \$672.00 | | 2887.3407 |
| 15 | \$7,200.00 | \$672.00 | | 2723.90632 |
| 16 | \$7,200.00 | \$672.00 | | 2569.72294 |
| 17 | \$7,200.00 | \$672.00 | | 2424.26692 |
| 18 | \$7,200.00 | \$672.00 | | 2287.04427 |
| 19 | \$7,200.00 | \$672.00 | | 2157.58893 |
| 20 | \$7,200.00 | \$672.00 | | 2035.46126 |

B = \$74,875.64

C = \$71,200.00

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

ANEXO B

Pozos de Absorción

Los pozos de absorción constituyen un método de disposición final de aguas residuales, por medio de la infiltración en terrenos porosos, proporcionando un tratamiento físico y biológico a través de la infiltración al suelo (figura B).

Todo pozo de be tener una cubierta ubicada a nivel superficial, ésta puede ser de hormigón armado o concreto con espesor de 20 y 7 cm respectivamente, descansando sobre un brocal elaborado de mampostería con juntas de mortero o un anillo de hormigón, el cual además de servir de soporte a la losa evita la penetración de líquidos que no procedan del tanque séptico. A la cubierta se le deja una tapa de inspección de 0.60 x 0.60 m y se conecta a una tubería de ventilación, protegida en su extremo superior para la eliminación de gases. La tubería de entrada debe ubicarse horizontalmente y penetrar mínimo 30 cm dentro del pozo con una T ó L para desviar el flujo y evitar que se erosionen las paredes del pozo.

Tabla B dimensiones del pozo de absorción

| Tiempo en minutos que tarda en bajar 2.5 cm el nivel del agua | Diámetro D (m) | Habitantes | | |
|--|----------------------|----------------------|------|-------------------|
| | | 1-5 | 5-10 | 10-15 |
| | | Profundidad H (m) | | |
| 1 | 2.00 | 0.60 | 1.15 | 1.75 |
| 2 | 2.00 | 0.70 | 1.40 | 2.10 |
| 5 | 2.00 | 0.95 | 1.90 | 2.80 |
| 10 | 2.00 | 1.50 | 2.95 | 4.40 |
| 30 | 2.00 | 2.95 | 5.85 | 4.40 [*] |

* en este caso se requieren dos pozos de las mismas dimensiones

MADE CON
FALLA DE ORIGEN

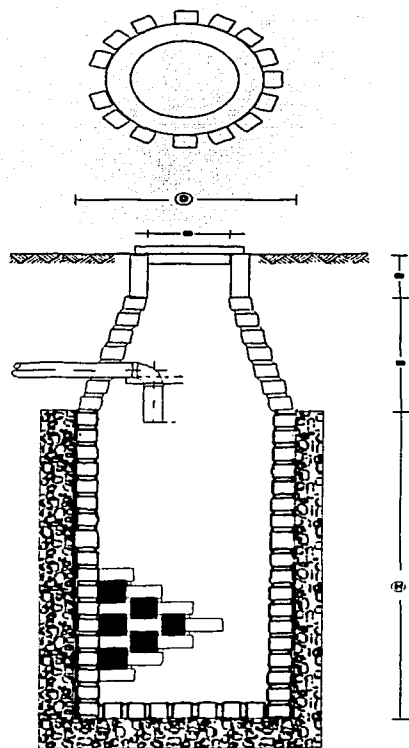


fig. B Fozo de Absorción

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

ANEXO C

Filtros Intermitentes

La filtración intermitente es un método sencillo y confiable de purificación de aguas residuales domésticas por medio de la eliminación de microorganismos y materia en suspensión. En este proceso se hace pasar el agua residual a través de un lecho filtrante de arena u otro material finamente granulado, reteniéndose de esta manera la materia orgánica y los sólidos presentes en el agua residual.

La aplicación del líquido sobre la superficie de arena se lleva a cabo por un sistema de distribución superficial y opera aplicando el efluente del tanque séptico, en forma periódica o intermitente, hasta una determinada diferencia de presión limitada por obra muerta disponible. En este punto el lecho es drenado y limpiado, el líquido tratado es colectado en el sistema de drenaje localizado en el fondo del filtro (figura C).

Las partículas de sólidos suspendidos de 5 a 8 cm se acumulan en la cima del filtro y obstruyen la superficie evitando una efectiva infiltración del efluente. Cuando esto sucede se remueve la arena para ser lavada y reusada o es cambiada por arena nueva, un diseño apropiado puede proporcionar de cuatro a seis meses de operación libre de mantenimiento.

El medio filtrante, no es más que arena limpia, con un grano que oscila entre 0.20 a 0.30 mm. Para asegurar un funcionamiento adecuado del proceso de purificación se debe proveer un espesor del lecho filtrante de 90 cm y, como mínimo, de 60 cm. La capa de arena se soporta en tres capas de grava de diferentes tamaños que cubren el sistema de drenaje hasta una altura de por lo menos 15 cm.

El sistema de distribución tiene como objetivo aplicar el agua residual sobre todo el lecho de arena y consiste en tubería perforada juntas abiertas instaladas sobre la superficie de arena. El sistema de distribución lo conforma la línea de suministro que, que generalmente es de 2 a 6 pulgadas, esta línea a su vez conecta el tanque de bombeo al múltiple que se localiza exactamente a la entrada del filtro para distribuirse.

El sistema de drenaje es la tubería localizada en el fondo del filtro colocada en una zanja, la cual se encuentra rodeada de grava limpia con un tamaño de 2 a 4 cm. La tubería perforada de 3 a 4 pulgadas (Tabla C-1). Con una pendiente menor de 0.55 para lograr un escurrimiento eficiente dirigido hacia una tubería común colectora en forma perpendicular a la dirección de las zanjas.

El tanque regulador es un dispositivo para la aplicación intermitente del efluente en los filtros, su capacidad varia dependiendo del caudal de agua a tratar de agua residual. La dosis puede realizarse por el uso de sifones automáticos, por bombeo ó haciendo funcionar a mano válvulas convenientemente dispuestas (Tabla C-1).

Tabla C-1 Características de los filtros intermitentes de arena

| Literal | W | L | N | b | A | R |
|-----------|-----------|-----------|---------------------|-----------------------------|------------------|--------------------------------|
| Población | Ancho (m) | Largo (m) | Número de Laterales | Separación de Laterales (m) | Número de Drenes | Separación entre laterales (m) |
| 1-5 | 5.40 | 5.90 | 9 | 0.60 | 2 | 2.70 |
| 5-10 | 7.80 | 8.10 | 13 | 0.60 | 3 | 2.60 |
| 10-15 | 9.60 | 9.90 | 16 | 0.60 | 4 | 2.40 |

Tabla C-2 Características del Cárcamo de bombeo y la bomba

| Población | Profundidad (m) | Ancho (m) | Largo (m) | Potencia de Bomba (HP) |
|-----------|-----------------|-----------|-----------|------------------------|
| 1-5 | 0.50 | 0.80 | 1.60 | ¼ |
| 5-10 | 0.50 | 1.10 | 2.20 | ¼ |
| 10-15 | 0.75 | 1.10 | 2.20 | ½ |

TRABAJO CON
FAMILIA DE ORIGEN

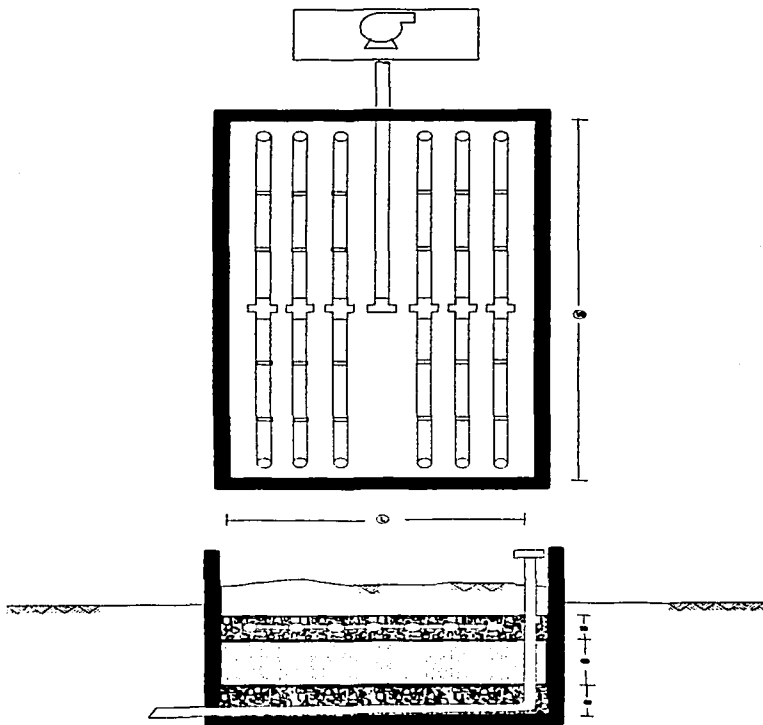


Fig. C Filtro de Arena

**TRABAJOS CON
FERRA DE ORIGEN**