

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

**SELECCION APROPIADA DE TECNOLOGIAS DE  
TRATAMIENTO PARA  
AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS**

*TESIS*

*PRESENTADA A LA JUNTA DIRECTIVA*

*DE LA*

*FACULTAD DE INGENIERIA*

*POR*

**GUNTHER STANLEY CARRANZA LOPEZ**

*AL CONFERIRSELE EL TITULO DE*

**INGENIERO CIVIL**

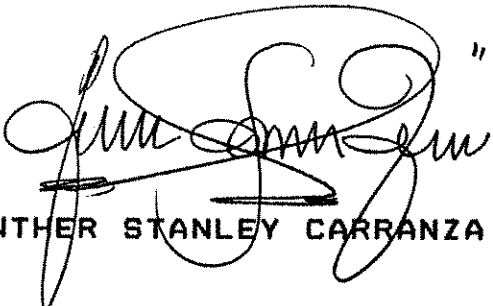
*GUATEMALA, JULIO DE 1, 997*

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de tesis titulado :

**SELECCION APROPIADA DE TECNOLOGIAS DE  
TRATAMIENTO  
PARA AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS**

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 2 de febrero de 1,996.

  
GUNTHER STANLEY CARRANZA LOPEZ

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

MIEMBROS DE LA JUNTA DIRECTIVA

DECANO :	ING. HERBERT RENE MIRANDA BARRIOS
VOCAL PRIMERO :	ING. MIGUEL ANGEL SANCHEZ GUERRA
VOCAL SEGUNDO :	ING. JACK DOUGLAS IBARRA SOLORZANO
VOCAL TERCERO :	ING. JUAN ADOLFO ECHEVERRIA MENDEZ
VOCAL CUARTO :	BR. VICTOR RAFAEL LOBOS ALDANA
VOCAL QUINTO :	BR. WAGNER GUSTAVO LOPEZ CACERES
SECRETARIO :	INGA. GILDA MARINA CASTELLANOS DE ILLESCAS

TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN  
GENERAL PRIVADO

DECANO :	ING. JULIO ISMAEL GONZALEZ PODSZUECK
EXAMINADOR :	ING. IRVIN BENJAMIN MARTINEZ QUEVEDO
EXAMINADOR :	ING. JORGE ALFREDO BAECHLI ALBUREZ
EXAMINADOR :	ING. MARTA LIDIA SAMAYOA DE HERNANDEZ
SECRETARIO :	ING. FRANCISCO JAVIER GONZALEZ LOPEZ

## *ACTO QUE DEDICO A*

### *JESUS*

Quien me ha dado una nueva forma de vivir, pensar y entender por su gran amor, sin El Cual absolutamente nada de lo que he realizado podría ser una realidad.

### *MIS PADRES*

Los cuales invirtieron en Mí desde la infancia, hasta el último momento de sus posibilidades, confiando que algún día verían el fruto de su inversión.

### *MI FAMILIA*

Quienes de una u otra manera contribuyeron a lo largo de esta carrera.

### *LA IGLESIA VERBO*

Por encausar mi vida en forma integral, con mucha paciencia sin esperar recibir nada a cambio.

### *AL INFOM*

Por brindarme la oportunidad de ser Mi segunda casa de aprendizaje.

### *A MIS COMPAÑEROS DE LABORES*

Quienes compartieron sus conocimientos y su amistad sincera.

### *MI ASESOR*

Por estar dispuesto a compartir sus conocimientos y emprender este reto.



*AGRADECIMIENTO ESPECIAL*

Al Ingeniero Guillermo León asesor de tratamiento de aguas residuales de CEPIS, Perú; por su valiosa intervención en mi carrera profesional como catedrático, ingeniero investigador y sobre todo como un amigo. Gracias.

Guatemala, Octubre 11 de 1996

Ingeniero  
Marco Tulio Ventura Roldan  
Coordinador Área de Hidráulica  
Facultad de Ingeniería

Ing. Ventura:

Despues de dar seguimiento y revisar el trabajo de tesis titulado "**Selección Apropiaada de Tecnologias de tratamiento para aguas residuales domésticas**"; realizado por el estudiante universitario Gunther Stanley Carranza López, carnet No. 87-12353, en mi calidad de asesor manifiesto que este trabajo sobrepasa las expectativas que fueron previstas en la conceptualización inicial.

Considerando este trabajo como un valioso aporte al desarrollo del **Saneamiento** del país, recomiendo se pueda continuar con los trámites respectivos para obtener la Licenciatura en Ingeniería Civil.

Atentamente,



Ing. Adán Ernesto Pocasangre Collazos  
ASESOR

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



**FACULTAD DE INGENIERIA**

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería  
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,  
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica  
y Regional de Post-grado de Ingeniería  
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12  
Guatemala, Centroamérica

Guatemala,  
12 de mayo de 1,997

Ingeniero  
Jack Douglas Ibarra S.  
Director Escuela Ingeniería Civil  
Universidad de San Carlos

Señor Director.

Después de analizar y revisar el trabajo de tesis titulado **SELECCION APROPIADA DE TECNOLOGIAS DE TRATAMIENTO PARA AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS**, del estudiante universitario Gunther Stanley Carranza López, con Carnet No. 87-12353, y actuando como Jefe del Departamento de Hidráulica, tengo a bien informar que el mismo cumplió con todos los requisitos de índole técnico en forma satisfactoria y a cabalidad.

El presente trabajo tendrá gran utilidad para todos aquellos profesionales que buscan selecciones apropiadas, principalmente en el campo de las aguas residuales domésticas en nuestro medio.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Hidráulico Marco Tullio Ventura Roldán  
Jefe del Departamento de Hidráulica

MTVR/bbdeb.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



**FACULTAD DE INGENIERIA**

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería  
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,  
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica  
y Regional de Post-grado de Ingeniería  
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12  
Guatemala, Centroamérica

El Director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del asesor Ing. Adán Ernesto Pocasangre Collazos y del Jefe del Departamento de Hidráulica, Ing. Marco Tulio Ventura Roldán, del trabajo de tesis del estudiante Gunther Stanley Carranza López, titulado SELECCION APROPIADA DE TECNOLOGIAS DE TRATAMIENTO PARA AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS, da por este medio su aprobación a dicha tesis.

  
Ing. Jack Douglas Ibarra Solórzano



Guatemala, julio de 1,997.

JDIS/bbdeb.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



**FACULTAD DE INGENIERIA**

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería  
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,  
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica  
y Regional de Post-grado de Ingeniería  
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12  
Guatemala, Centroamérica

El Decano de la Facultad de Ingeniería, luego de conocer la autorización por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, Ing. Jack Douglas Ibarra Solórzano, al trabajo de tesis SELECCION APROPIADA DE TECNOLOGIAS DE TRATAMIENTO PARA AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS, del estudiante Gunther Stanley Carranza López, procede a la autorización para la impresión de la misma.

IMPRIMASE:

Ing. Herbert René Miranda Barrios

DECANO



Guatemala, julio de 1,997

/bbdeb.

# I N D I C E   G E N E R A L

	<i>Página</i>
<i>GLOSARIO</i> .....	I
<i>INTRODUCCION</i> .....	V
<i>OBJETIVOS</i> .....	VII
1. GENERALES	
2. ESPECIFICOS	
<i>CAPITULO 1</i>	
<i>INTRODUCCION AL SANEAMIENTO BASICO</i>	
1.1. <i>ANTECEDENTES</i> .....	1
1.2. <i>DETERIORO DE LOS RECURSOS HIDRICOS</i> .....	9
( Impacto Ambiental )	
1.2.1. Problemas Hidrológicos .....	11
1.2.2. Problemas Ecológicos .....	12
1.2.3. Problemas de Salud Pública .....	13
1.3. <i>ASPECTOS SOCIO-CULTURALES, ECONOMICOS</i> <i>Y FINANCIEROS</i> .....	25
( Impacto Social )	
1.3.1. Consideraciones Socio-Culturales .....	25
1.3.2. Consideraciones Económicas y financieras .....	29
1.3.3. Consideraciones Institucionales .....	36
<i>CAPITULO 2</i>	
<i>AGUAS RESIDUALES</i>	
2.1. <i>CLASIFICACION</i> .....	39
2.1.1. Aguas Residuales Domésticas .....	40
2.1.2. Aguas Residuales Comerciales .....	40
2.1.3. Aguas Residuales Industriales .....	41
2.1.4. Aguas Residuales Agrícolas .....	41
2.1.5. Aguas de Infiltración .....	41
2.1.6. Aguas de Lluvia .....	41

**A N E X O**

---

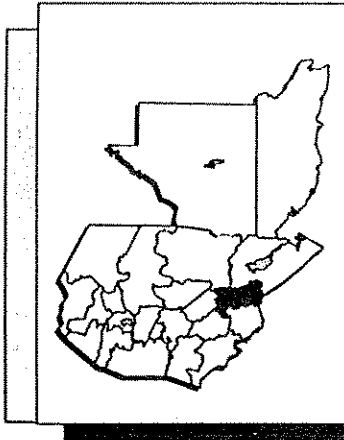
**APLICACION PRACTICA  
PROYECTO DE PLANTA DE TRATAMIENTO  
DE AGUAS RESIDUALES**

**PARA  
EL MUNICIPIO DE  
ESTANZUELA**

**DEPARTAMENTO DE  
ZACAPA**

---

# REPUBLICA DE GUATEMALA



## Información General:

**Ubicación:** Zona Oriental de la República de Guatemala.

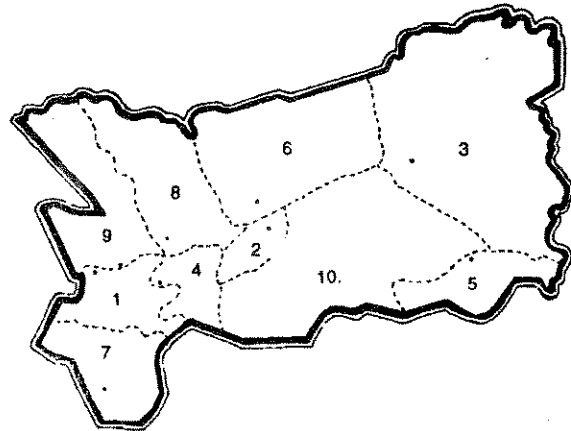
**Cabecera:** Zacapa

**Población:** 200,000 habitantes aproximadamente

Tiene una extensión territorial de 517 kilómetros cuadrados.

## ZACAPA

1. Cabañas
2. Estanzuela
3. Gualán
4. Huíté
5. La Unión
6. Río Hondo
7. San Diego
8. Teculután
9. Usumatlán
10. Zacapa



## LOCALIZACION GEOGRAFICA

MUNICIPIO : ESTANZUELA

DEPTO. : ZACAPA

FECHA : OCT.-1995

PROGRAMA : P.A.B.



## CONCLUSIONES

1. Al efectuar un análisis de la situación actual a nivel de saneamiento básico, no sólo en Guatemala, sino en los países Latinoamericanos con características precarias de vida muy similares, se evidencia el sensible deterioro de los recursos hídricos, producto de las descargas indiscriminadas de aguas residuales de todo tipo, por lo que el control de estas emisiones cobra un carácter de urgencia bajo todo punto de vista.
2. El tratamiento de las aguas residuales, no sólo es un requisito a nivel ecológico o de protección al medio ambiente, sino que es un compromiso a nivel de salud pública, ya que se habla de preservar uno de los recursos más preciados como lo es el agua, que representa la fuente de abastecimiento para las comunidades; recurso que se convierte en fuente no de vida, sino de enfermedades que llevan incluso a la muerte a los consumidores, por estar alterado y contaminado por las aguas residuales sin tratar.

Este concepto se pudo comprobar en la práctica, ya que en el análisis de la situación imperante en el municipio de Estanzuela, a nivel de la disposición de sus aguas residuales, la misma población se constituyó en la causante del deterioro de la única fuente superficial cercana que

es utilizada para el riego de los cultivos y para el brebaje del ganado, así como por las aldeas ubicadas aguas abajo de la quebrada; provocando con esto un ciclo cerrado de contaminación al afectar indirectamente la calidad de los productos que ellos mismos consumen.

3. Las aguas residuales municipales de origen doméstico, representan una variable que no es fácil de definir, ya que está integrada por componentes que a su vez hay que determinar con un grado de certeza bien definido. No se posible pretender proponer una alternativa de solución sino se han determinado las características fundamentales del producto que se necesita depurar. Se considera fundamental establecer un diagnóstico del problema para proponer un correctivo que elimine no los síntomas, sino más bien las causas.

Esta variable puede complicarse o simplificarse, en función de las características básicas de la fuente que la produce, de tal manera que para el municipio analizado en el presente trabajo de tesis, se pudo constatar que el análisis social hecho a la comunidad para predeterminar la composición general de sus aguas residuales, fue confirmado por los resultados de laboratorio, lo cual respalda la importancia de las visitas de campo como un factor de precalificación necesario.

4. El objetivo de tratamiento para los países industrializados y desarrollados, no es el mismo que el de los países en desarrollo, ya que en países avanzados el parámetro prioritario a controlar es el físico-químico ( alta producción de materia orgánica y desechos químicos, precisamente por el nivel de desarrollo tecnológico ), mientras que en los países en desarrollo el parámetro prioritario debe ser el microbiológico (control de organismos patógenos, virus, bacterias, etc.) ya que la fragilidad de la salud de los habitantes se manifiesta por el uso directo del recurso agua, sin cumplir en muchos de los casos, con los requerimientos mínimos de higiene, salubridad y seguridad. Los altos porcentajes de muertes producto de enfermedades entéricas y parasitosis lo comprueban.
  
5. El tratamiento de las aguas residuales es una actividad que implica no solo capacidad técnica de desarrollar modelos de ingeniería, sino también la capacidad de visualizar las necesidades del sector a beneficiar, sus limitaciones, sus costumbres, etc., para poder combinar todos estos factores y proponer un modelo o sistema que satisfaga los requerimientos del tratamiento, identificándose plenamente con su entorno.

El éxito del proyecto referido en este documento, se

fundamentó precisamente en los factores descritos con anterioridad obteniendo resultados positivos en términos de aceptabilidad por parte de las autoridades municipales y de la población en general.

6. El proponer una alternativa de solución no es un trabajo rutinario que implique como primera instancia proponer un sistema en particular, sino más bien es el producto de análisis de todos los factores que intervienen en la toma de decisiones, de tal manera que como consecuencia lógica de este análisis, se obtendrá el sistema que satisfaga la mayoría de requerimientos impuestos.
  
7. Se considera que todos los sistemas de tratamiento mencionados en este documento son alternativas de solución, pues fueron concebidos científicamente para proporcionar un medio de control. Sin embargo, el descrédito que pueda haber adquirido determinado sistema, se considera que no es porque el sistema en sí sea inadecuado, sino por la falta de responsabilidad de los diseñadores de plantas de tratamiento que indiscriminadamente proponen sistemas sin conocer sus ventajas y desventajas, sus capacidades y limitaciones.

Cada tecnología de tratamiento para aguas residuales tiene un lugar y un momento para ser implementadas y es precisamente esa capacidad de percepción la que debe

predominar ante la toma final de decisiones.

8. Es importante enfatizar que en el ejemplo incluido en el anexo del presente trabajo de tesis, todos los elementos favorables para la realización de un proyecto de planta de tratamiento para aguas residuales, estuvieron reunidos como un caso muy particular, es decir, la apertura y decisión municipal, el apoyo de la comunidad, la disponibilidad de financiamiento, la disponibilidad de suficiente área superficial para ubicar la planta, las características bien definidas de las aguas residuales, condiciones topográficas favorables, etc. Por tal razón se hizo mucho más fácil concebir y materializar el proyecto que se consideró el más adecuado, pues las desventajas e inconvenientes surgidos en el proceso de implementar la tecnología de tratamiento propuesta, fueron fácilmente minimizados e incluso algunos de ellos superados totalmente debido a ese entorno favorable antes mencionado.

De esta cuenta no se puede asumir que todo anteproyecto de tratamiento para aguas residuales se podrá concretizar exactamente como se concibió, ya que existirán condicionantes y situaciones desfavorables que impidan su desarrollo. Esto recalca el concepto de que cada caso analizado es individual con una solución particular.

**RECOMENDACIONES**

1. Debido a que es un hecho contundente que el deterioro de los recursos hídricos, del entorno ecológico y de la salud humana son producto en gran parte a las descargas directas de aguas residuales de todo tipo, es necesario cambiar de mentalidad y proyectar una política que defina que el tratamiento de las aguas residuales es una necesidad inminente. Será mucho mejor realizar algún grado de tratamiento por sencillo que sea, que no hacer algo y permitir que el deterioro continúe.
  
2. Es importante transmitir a todo nivel una conciencia de protección que genere una percepción real del recurso agua y su capacidad limitada de regeneración. De esta cuenta es necesario implementar no sólo un control estricto de calidad en las plantas de agua potable, sino también controlar el retorno de estas aguas utilizadas, a través de las redes de alcantarillado, que son vertidas nuevamente a los cursos de agua superficial; rompiendo el ciclo cerrado de contaminación.
  
3. Es necesario que se caractericen las aguas residuales que se pretenden tratar. No es posible pretender proponer un sistema de tratamiento, asumiendo valores típicos o teóricos que cuantifiquen la composición de las aguas residuales, ya

que un sistema de tratamiento no es una caja negra de la cual se obtenga un producto determinado, sin saber cual es la materia prima que ingresa al proceso. Esta premisa pretende eliminar la tendencia de no realizar visitas de campo, de no efectuar toma de muestras ni invertir recursos en el monitoreo.

4. El proyectista deberá integrarse con el entorno social, económico, cultural, conocer la capacidad de inversión y pago de la localidad, el grado de aceptación o rechazo de la comunidad ante cambios drásticos en su régimen de vida, etc. Esto le permitirá encajar su modelo científico dentro de una realidad social que difícilmente podrá cambiar, en contraste con una alternativa de solución adoptada que sí podrá ajustar.
5. Se considera una decisión antitécnica trasladar una tecnología definida y aplicada en un lugar y una situación en particular; a otro contexto, bajo otras condiciones impuestas, únicamente porque es la tecnología de moda, o porque generó buenos resultados, o bien porque las características superficiales en ambos casos coinciden. Las tecnologías deberán adaptarse y no adoptarse.
6. Se considera que es indispensable definir una secuencia de trabajo que involucre todos los aspectos relevantes que

intervienen en la selección final de una alternativa. No es posible proponer una solución sin conocer ampliamente la necesidad. La propuesta de definir las cinco interrogantes básicas descritas en el contenido de este documento, se consideran una herramienta básica que dará como resultado una propuesta final bien concebida.



## BIBLIOGRAFIA

1. CENTRO DE TECNOLOGIA DE SANEAMIENTO BASICO CETESB. Opcões para tratamento de esgotos de pequenas comunidades. Serie de Folhetos tecnicos. Sao Paulo, Brasil: 1,994. Ed. CETESB, 1,994. 40 pp.
2. COLLADO LARA, Ramón. Depuración de aguas residuales para pequeñas comunidades. Madrid, España: Editorial Colección Senior, 1,990.
3. CORDON & MERIDA, Ings. Plan Nacional de agua potable y alcantarillado para los centros urbanos del interior de la República PLANAC. Instituto de Fomento Municipal INFOM, Guatemala: 1,987. Editado por Cordon & Mérida Ings. Camp Dresser & Mckee International Inc, 1,987.
4. DIARIO OFICIAL NICARAGUENSE LA GACETA. Informe Oficial. Managua, Nicaragua: 26 de junio de 1,995. p.25.
5. DIRECCION GENERAL DE CARTOGRAFIA DE GUATEMALA. Diccionario geográfico de Guatemala. Guatemala: 1,962, tomo I.
6. FAIR, R. et.al. Purificación y tratamiento del agua y aguas residuales. Segunda edición. México: Editorial Limusa, 1,975. Tomo II. 880 pp.
7. HILLEBOE, Herman. Manual de tratamiento de aguas negras. Ing. Cesar Falcon. Décima edición. México: Editorial Limusa, 1,990. 303 pp.
8. INSTITUTO DE FOMENTO MUNICIPAL INFOM. Criterios de diseño para proyectos sanitarios. Borrador para Discusión, Sección de Alcantarillados, Departamento de Proyectos Sanitarios. Guatemala, 1,992.
9. LEON, Guillermo. et.al. Proyecto de norma técnica de edificación S.010. Planta de tratamiento de aguas residuales SENCICO. Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción. Universidad Nacional de Ingeniería UNI, Universidad Privada Ricardo Palma. Lima, Perú: 1,996. Editado por SENCICO, 1996.

10. LEON, Guillermo. Tratamiento de aguas residuales. Lagunas facultativas. Lagunas anaerobias. Informe técnico. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria CEPIS; 1,993. Lima, Perú: Editado por CEPIS, 1,993.
11. LEON, Guillermo. Tratamiento de aguas residuales. Revisión de aspectos teóricos. Informe técnico. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria CEPIS; 1,993. Lima, Perú: Editado por CEPIS, 1,993.
12. MENDOZA GAMEZ, Gastón. Diversos tipos de tratamiento para aguas residuales. Folleto técnico. Diseño, Ingeniería y Planificación DIPLASA. Ecuador: 1,992. Editado por DIPLASA, 1,992. 22 pp.
13. METCALF & EDDY, Inc. Wastewater engineering. Treatment, disposal and reuse. Second edition. N.Y., USA: Ed. McGraw Hill, 1,979. 1,200 pp.
14. ORGANIZACION MUNDIAL DE LA SALUD OMS. Directrices sanitarias sobre el uso de aguas residuales en agricultura y acuicultura. Serie de informes técnicos 778. Ginebra, Suiza: 1,989. Editado por la Organización Mundial de la Salud OMS, 1,989.
15. POCASANGRE COLLAZOS, Adán. Inventario de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales en Guatemala. ( tesis: Facultad de Ingeniería, Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria ERIS, Universidad de San Carlos de Guatemala USAC ). Guatemala, 1,995, 110p.
16. SAENZ FORERO, Rodolfo. Aspectos constructivos en lagunas de estabilización. Informe Técnico. División de Salud y Ambiente HPE del estado de Washington, DC; 1,992. Lima, Perú: Editado por el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria CEPIS, Organización Panamericana de la Salud OPS, 1,993.
17. SAENZ FORERO, Rodolfo. Aspectos hidráulicos en lagunas de estabilización. Informe Técnico. División de Salud y Ambiente HPE del estado de Washington, DC; 1,992. Lima, Perú: Editado por el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria CEPIS, Organización Panamericana de la Salud OPS, 1,993.

18. SAENZ FORERO, Rodolfo. Aspectos socio-culturales, económicos y financieros. Informe Técnico. División de Salud y Ambiente HPE del estado de Washington, DC; 1,992. Lima, Perú: Editado por el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria CEPIS, Organización Panamericana de la Salud OPS, 1,993.
19. SAENZ FORERO, Rodolfo. Consideraciones en relación al uso de lagunas de estabilización para el tratamiento de aguas residuales. Informe Técnico. División de Salud y Ambiente HPE del estado de Washington, DC; 1,992. Lima, Perú: Editado por el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria CEPIS, Organización Panamericana de la Salud OPS, 1,993.
20. SAENZ FORERO, Rodolfo. Disposición de aguas residuales. Deterioro de los recursos hídricos. Informe Técnico. División de Salud y Ambiente HPE del estado de Washington, DC; 1,992. Lima, Perú: Editado por el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria CEPIS, Organización Panamericana de la Salud OPS, 1,993.
21. SAENZ FORERO, Rodolfo. Selección de tecnologías apropiadas para el tratamiento de aguas residuales. Informe Técnico. División de Salud y Ambiente HPE del estado de Washington, DC. Capítulo AIDIS en México. México, DF: 1,993. Editado por la Organización Panamericana de la Salud OPS, Organización Mundial de la Salud OMS, 1,993.
22. SCHENEIDER, W. et.al. Manual de disposición de aguas residuales. Origen, descarga, tratamiento y análisis de las aguas residuales. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria CEPIS. Lima-Perú: 1,991. Editado por el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria CEPIS, Organización Panamericana de la Salud OPS, Organización Mundial de la Salud OMS, por encargo de GTZ GmbH, Alemania, 1,991. 1,100 pp.
23. THIRUMURTHI, D. Principios de diseño de lagunas de estabilización para aguas residuales. Revista de la División de Ingeniería Sanitaria. Memorias de la Sociedad Norteamericana de Ingenieros Civiles; 1,969. Lima, Perú: Editado por el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria CEPIS, 1988. 22 pp.

24. TORRES RUIZ, Ricardo. Aspectos técnicos de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales. Informe técnico. Unidad de Saneamiento Ambiental. Area de Tratamiento y Reuso de Aguas Residuales; Lima, Perú: 1,993. Editado por CEPIS, 1,993.
  
25. VIEIRA, Sonia. Tratamiento anaerobio de desechos domésticos. Revista AMBIENTE. Sector de Pesquisa de Efluentes Domésticos del Centro de Tecnología de Saneamiento Básico CETESB: 1,992, volumen No.6, Sao Paulo, Brazil. Editado por CETESB, 1,992. 30 pp.
  
26. YANEZ COSSIO, Fabián. Normas de diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales para Guatemala. Borrador de Discusión. Organización Panamericana de la Salud OPS. Guatemala: 1,992. Impreso por el Instituto de Fomento Municipal INFOM, 1,993. 110 pp.

**MEMORIA TECNICA - DESCRIPTIVA**

---

Proyecto de : *Planta de Tratamiento de  
Aguas Residuales Municipales*

Municipio de : **ESTANZUELA**

Departamento de : **ZACAPA**

---

**1. DESCRIPCION GENERAL DE LA POBLACION****1.1. CARACTERISTICAS GEOGRAFICAS :**

Estanzuela es un municipio del departamento de Zacapa, está localizado a 8 km. de la cabecera departamental y a una distancia de 142 km. de la ciudad capital mediante la carretera asfaltada CA-10.

La altitud del municipio se registra en 195 metros sobre el nivel del mar, sus coordenadas geográficas son longitud norte 14°59'55" y latitud oeste 89°34'25", su extensión aproximada es de 66 km<sup>2</sup> y está definido como municipio de clima cálido. Según los datos estadísticos la población para el año de 1,996 se registró en 7,216 habitantes para el casco urbano. Las condiciones topográficas son bastante regulares con grandes extensiones de superficie uniformes.

**1.2. ACTIVIDAD ECONOMICA :**

Su principal actividad económica es la agricultura, produciendo : maíz, frijol, yuca, legumbres, hortalizas y frutas tropicales. Adicional a esto se dedican a la ganadería, elaboración de queso, mantequilla y a la fabricación de productos artesanales como los son los bordados.

**1.3. SERVICIOS PUBLICOS :**

Dentro de los servicios prestados a la población se tienen : agua potable, calles empedradas, transporte colectivo, escuela primaria completa, energía eléctrica, servicio telefónico, puesto de salud, correos y alcantarillado sanitario.

#### 1.4. GENERALIDADES DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO SANITARIO EXISTENTE ( Evacuación y Disposición final ) :

El sistema existente es un alcantarillado sanitario típico, diseñado por el Instituto de Fomento Municipal INFOM en el año de 1,980, sistema que se ha diseñado y construido por etapas de acuerdo a la expansión progresiva de la población y en función de la capacidad económica de la municipalidad para expandir la cobertura del servicio. Las ampliaciones al sistema más recientes datan del año 1,995.

La cobertura del sistema actualmente se estima en 7.8 km. de colector principal de cemento y pvc de  $\phi 6''$ ,  $\phi 8''$  y  $\phi 10''$ , prestando un servicio continuo y aceptable. A nivel de conexiones domiciliarias se estiman en un 60% de viviendas conectadas al sistema y un 40% que no lo están, evidenciando un problema en la administración del sistema. La mayoría de estas viviendas no conectadas poseen soluciones individuales para disponer sus excretas.

Las aguas residuales recolectadas y evacuadas de la comunidad, se disponen en forma directa a una quebrada denominada "Las Casas" constituyéndose ésta en el cuerpo receptor, que aguas abajo desemboca en el Río Grande o Motagua.

## 2. JUSTIFICACION DEL PROYECTO

### 2.1. CONSIDERACIONES SOCIALES :

El municipio de Estanduela se ha caracterizado por su constante iniciativa de desarrollo a nivel comunidad, promoviendo y gestionando la ejecución de proyectos de infraestructura social los cuales se han concretizado paulatinamente con el transcurrir del tiempo.

Las actuales autoridades municipales han demostrado un verdadero interés por su municipio implementando los servicios básicos y manteniendo una administración racional de los mismos, de tal manera que se percibe que la comunidad en general manifiesta su aval ante las políticas propuestas en beneficio de ésta.

Por la misma tendencia de desarrollo que refleja el municipio y el crecimiento lógico de la población en general, los requerimientos impuestos por la comunidad cambiante son cada vez mayores, tanto en cantidad como en calidad de los servicios básicos e incluso de algunos complementarios, de tal manera que la necesidad de ampliar la cobertura de estos servicios se hace cada vez mayor.

En este orden de ideas, la ampliación en la cobertura del

sistema de agua potable para el municipio impuso un requerimiento prioritario por satisfacer ante la demanda insatisfecha del servicio. Los anterior implica como lógica consecuencia mayor generación de aguas residuales y por consiguiente la necesidad de ampliar la cobertura del sistema de alcantarillado sanitario.

Este entorno empezó a evidenciar las consecuencias de generar mayores volúmenes de aguas residuales sin tratar, vertidas a cursos superficiales de agua, agudizando el problema de contaminación de estas fuentes que, en esta región son fuente de riego de cultivos y de abastecimiento de ganado.

La percepción real de lo que implica desarrollo a nivel social fue cada vez más notoria por las autoridades municipales, las cuales estuvieron dispuestas a enfrentar el reto de minimizar los efectos negativos de mejorar el nivel de vida de su comunidad.

## 2.2. APOYO INSTITUCIONAL :

Es importante señalar que el Instituto de Fomento Municipal INFOM como una entidad gubernamental, semiautónoma, de asesoría técnica, financiera, de planificación y supervisión de proyectos de inversión social ( dentro de otras atribuciones ), para todas las municipalidades de la república a excepción de la metropolitana; ha mantenido un nexo cercano con la municipalidad de Estanzuela, brindándole el apoyo técnico en el diseño y supervisión de varios de los proyectos sociales que esta comuna ha desarrollado, relación que data de muchos años atrás.

De esta cuenta, bajo el contexto antes mencionado de este proyecto en particular, los niveles de decisión que ha tenido que enfrentar la corporación municipal ante los requerimientos de la población, han estado acompañados de la asesoría técnica y financiera pertinente del INFOM, desde la percepción objetiva de los problemas, los planteamientos de las alternativas de solución, las propuestas concretas, la supervisión en la ejecución física de las mismas, y del financiamiento parcial de algunas de ellas. Este hecho proporcionó un soporte adicional para la municipalidad ante la población que aceptó con mayor confianza las decisiones adoptadas relacionadas con el presente proyecto.

## 2.3. PROTECCION AMBIENTAL :

La descarga directa de las aguas residuales de la población es vertida a una quebrada denominada " Las Casas " la cual nace en la parte alta de Estanzuela, recorriendo aproximadamente 4 km. aguas abajo hasta desembocar al Río Grande o Motagua. Esta quebrada es de origen pluvial de tal manera que sus

características libres de contaminación se ven alteradas por la emisión de las aguas residuales sin tratar que genera la población. En su recorrido aguas abajo la quebrada no recibe la descarga de ninguna otra población, por lo que la única fuente de contaminación proviene del municipio de Estandzuela.

Esta quebrada aguas abajo es reutilizada por los pobladores de Estandzuela y de otras aldeas localizadas en esta área para regar cultivos y para el brebaje de los animales de trabajo y de ganado en algunos casos. Algunos de los cultivos regados con estas aguas contaminadas son de consumo crudo, por lo que los efectos de la contaminación del agua son directos sobre la salud. Además parte del ganado que bebe de estas aguas es vacuno, productor de leche que se expende y se consume en la zona, generando un riesgo latente para el consumidor final.

Además de lo anterior la quebrada Las Casas desemboca al Río Grande o Motagua, uno de los ríos más caudalosos de Guatemala y de mayor importancia. Este río tiene sus orígenes en las montañas del nor-occidente del país, circundando en su trayecto un número considerable de departamentos y municipios, dentro de los cuales se encuentra el departamento de Zacapa, para finalmente desembocar al océano pacífico, en la parte nor-oriental del país y parte de la República de Honduras.

El Río Motagua descrito en el capítulo uno del presente trabajo de tesis, ha sido recolector, portador y transmisor de diversas enfermedades de origen hídrico ya que se constituye en su trayecto en cuerpo receptor de múltiples descargas de aguas residuales de diversos tipos, contaminándolo considerablemente. Este hecho implica que, aunque aparentemente insignificante pero representativa, la descarga del municipio de Estandzuela a través de la quebrada Las Casas constituye un aporte más de contaminación sobre uno de los ríos que ha generado mayor preocupación ante su deterioro progresivo.

Otro hecho importante de señalar es el efecto de la descarga de aguas residuales sobre la quebra Las Casas en época de verano, ya que en esta estación del año el clima cálido intensifica los malos olores y la proliferación de insectos que perjudican a los pobladores que están radicados cerca del punto de descarga, provocando un foco adicional de contaminación ambiental.

Los factores de riesgo antes mencionados evidenciaron la necesidad de ampliar la cobertura de alcantarillado sanitario existente a sectores sin este servicio y la implementación de un sistema de tratamiento para las aguas residuales de la población que cumpliera con los requerimientos del entorno, minimizando el impacto producido en los diferentes niveles mencionados.

El beneficio directo se enfocó sobre los pobladores de Estandzuela, los pobladores de las aldeas ubicadas aguas abajo de



la quebrada y sobre el aporte a la protección de la cuenca del Río Grande o Motagua, a través del mejoramiento de la calidad del agua de la quebrada Las Casas. Los beneficios serán evidentes a nivel de salud pública, protección al recurso hídrico y de desarrollo e imagen municipal.

#### 2.4. FINANCIAMIENTO :

Dentro del proceso de análisis del problema, su plena identificación y la propuesta de las alternativas de solución, se evidenció la limitante referente al financiamiento del proyecto ya que la municipalidad de Estanduela por sus características demográficas recibe por parte del gobierno central a través del porcentaje constitucional, una cantidad relativamente reducida que no les permite realizar grandes inversiones a proyectos específicos sino que debe priorizar la inversión a los diferentes requerimientos puntuales, lo cual disipa su capacidad de inversión y pago a gran escala.

Bajo esta limitante real del municipio, el INFOM gestionó ante el Banco Interamericano de Desarrollo BID, incluir a esta población dentro del paquete de préstamos que esta entidad está otorgando para proyectos de saneamiento a nivel de regiones que cubran cuencas específicas del territorio nacional. El paquete crediticio contempla la ampliación y mejoramiento del servicio de agua potable, de la red de alcantarillado sanitario que cubra las demandas de la implementación del abastecimiento de agua y el tratamiento de las aguas residuales, así como la compra de los terrenos destinados para la ubicación de los sistemas de tratamiento tanto para agua potable como para aguas residuales.

Después de cumplir con todos los requisitos técnicos y legales impuestos por el BID, la municipalidad de Estanduela fué aceptada dentro de este plan de desarrollo municipal, segunda etapa PDM-II para la región nor-oriente del país. Para tal efecto el INFOM por ser el intermediario, se constituyó en la entidad responsable de la elaboración de los diseños del sistema de agua potable, las ampliaciones a la red de alcantarillado sanitario y de la planta de tratamiento de aguas residuales, como una garantía en el diseño requerida por BID.

El préstamo en cuestión deberá ser cancelado por la municipalidad, a una tasa de interés por debajo de la tasa de la banca privada, a un período máximo de 20 años, con un subsidio del 40% no reembolsable absorbido por el gobierno central. De esta cuenta el municipio sólo deberá cancelar al banco el 60% del préstamo recibido más los intereses generados en el tiempo.

Para que los tres proyectos anteriores puedan ser no sólo proyectos de carácter social sino que proyectos económicos, el INFOM con el apoyo de la división financiera, estableció a través

de los estudios económicos respectivos una tarifa de agua potable que cubra los costos de los tres sistemas integrados en un solo pago mensual por parte del usuario. Esto permitirá tener un proyecto integrado autofinanciable para la municipalidad, ya que esta tiene un compromiso anual de pago ante el BID.

Para lograr una aceptación por parte de la población, el INFOM realizó un trabajo social completo, de tal manera que la población conoció cada paso determinante de los proyectos en cuestión y por consenso general se fijaron las tarifas mensuales, en base a las propuestas hechas por esta institución. Los resultados del proceso de aceptación fueron satisfactorios, recibiendo un apoyo total de la población hacia las autoridades municipales que vieron con gran expectativa la concretización de estos tres proyectos prioritarios.

La tarifa mensual integrada se fijó en Q20 al mes, con un pago único por la conexión domiciliar de agua potable del nuevo sistema de Q650, pagaderos en 1,2,3,4 y hasta 5 años por parte del consumidor.

Finalmente para lograr una mejor distribución y utilización de los fondos disponibles, los tres proyectos mencionados se planificaron en forma separada, tanto en diseño como en ejecución, adjudicando ingenieros diseñadores para cada uno de ellos, trabajando en bloques independientes.

### 3. EVALUACION TECNICA DEL PROYECTO

#### 3.1. PARAMETROS GENERALES DE DISEÑO :

Para la determinación de los parámetros de diseño generales se investigaron datos estadísticos, se realizaron múltiples visitas de campo para evaluar las características de la población, se consultaron parámetros de diseño normados para este tipo de proyectos, se efectuaron proyecciones y cálculos analíticos determinando lo siguiente :

#### 1. Censos según El Instituto Nacional de Estadística :

Año de 1,964 .....	2,897 hab.
Año de 1,973 .....	3,477 hab.
Año de 1,993 ( según INFOM ) .....	6,634 hab.
2. habitantes por vivienda .....	4
3. viviendas actuales a 1,993 .....	1,399
4. tasa de crecimiento poblacional .....	3.15 %
5. período de diseño .....	20 años

6. Análisis de población actual :	
según censos, para 1,996 .....	6,843 hab.
según viviendas actuales, para 1,996 .....	5,596 hab.
ADOPTADA para 1,996 .....	7,216 hab.
7. Análisis de población futura :	
método geométrico, para el 2,016 .....	13,418 hab.
ADOPTADA para el 2,016 .....	13,418 hab.
8. Población al futuro conectada - 90% .....	12,076 hab.
9. Dotación para población conectada .....	200 lt/hab/día
10. Dotación para población no conectada .....	60 lt/hab/día
11. CAUDAL DE AGUA POTABLE AL FUTURO .....	28.89 lt/seg.
12. (+) caudal doméstico adicional - 5% .....	1.44 lt/seg
13. (+) caudal público y colectivo - 3% .....	0.91 lt/seg
14. (+) pérdidas y fugas - 20% .....	6.25 lt/seg
15. CAUDAL PROMEDIO DIARIO .....	37.49 lt/seg.
16. porcentaje de retorno de aguas residuales .	70%
17. (+) caudal ilícito .....	3 lt/hab/día
18. (+) caudal de infiltración .....	6 lt/hab/día
19. (+) caudal industrial .....	0
20. CAUDAL MEDIO RESIDUAL .....	27.70 lt/seg.
21. caudal máximo - factor de 2 .....	55.40 lt/seg.
22. caudal mínimo - factor 0.30 .....	8.31 lt/seg.

### 3.2. CARACTERIZACION DE LAS AGUAS RESIDUALES :

Las aguas residuales provenientes de la población son de origen doméstico en su mayoría y de origen comercial artesanal, de tal manera que puede asumirse que son aguas residuales municipales domésticas. No se encuentran localizadas industrias en la población, ni comercios cuyos procesos productivos generen aguas residuales especiales. Además se pudo evidenciar un nivel de vida sencillo, propio del área rural con costumbre y hábitos rutinarios.

De acuerdo al monitoreo de campo, de gabinete y a los análisis de laboratorio bajo el criterio de muestras simples efectuados en el Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala se determinó lo siguiente:

## 1. Temperaturas promedio mensuales en °C :

Enero .....	25.00
Febrero .....	25.90
Marzo .....	27.90
Abril .....	29.00
Mayo .....	29.10
Junio .....	27.50
Julio .....	27.00
Agosto .....	25.80
Septiembre .....	26.90
Octubre .....	26.60
Noviembre .....	25.90
Diciembre .....	25.00

2. Temperatura del agua residual del mes más frío .. 26.00 °C

## 3. Datos físico-químicos de las aguas residuales :

Temperatura .....	35 °C
Sólidos Totales .....	688 mg/l
Sólidos Disueltos .....	425 mg/l
Sólidos Suspendidos .....	1 mg/l
DBOs .....	100 mg/l
DQO .....	190 mg/l
Oxígeno disuelto .....	3.4 mg/l
Fosfatos .....	10 mg/l
pH ( adimensional ) .....	7.1

4. Concentración de coliformes fecales 1.00E+09 CF/100ml

5. Caudal medio ..... 27.70 lts/seg

6. Caudal máximo ..... 55.40 lts/seg

7. Caudal mínimo ..... 8.31 lts/seg

Los resultados de laboratorio obtenidos reflejan un tipo de agua residual doméstica de concentración baja, con valores típicos de contaminación dentro de los promedios registrados estadísticamente.

Lo anterior confirma las características encontradas en la población, es decir, una comunidad eminentemente rural, con costumbres de vida artesanales, consumidores de productos agrícolas, sin industrias localizadas, factores que definen aguas residuales domésticas.

3.3. CARACTERÍSTICAS DEL CUERPO RECEPTOR :

Como ya se mencionó anteriormente el cuerpo receptor es una quebrada de origen pluvial la cual nace en la parte alta del poblado, por tal razón no se ve afectada por algún tipo de

contaminación aguas arriba, ni aguas abajo, ya que la descarga de aguas residuales del municipio es la única fuente de contaminación considerable.

La quebrada denominada " Las Casas " en época de verano registra un caudal aproximado de 400 litros por segundo y en época de invierno unos 2 metros cúbicos por segundo.

La relación del caudal de estiaje de la quebrada respecto al caudal de aguas residuales es de 14, sin embargo aunque al parecer la relación es alta no existe una dilución visible o apreciable de las aguas residuales en la quebrada, por lo que un simple análisis de concentración final, bajo el esquema del balance de masas, refleja la necesidad de tratar las aguas residuales ya que inciden notablemente en la calidad del cuerpo receptor. Lo anterior se puede comprobar con una simple inspección visual, evidenciando agua turbia y mal oliente en la quebrada.

Las características del cuerpo receptor de acuerdo a los resultados del laboratorio muestreados aguas arriba de la descarga son :

1. Datos físico-químicos : ■

Temperatura .....	33 °C
Sólidos Totales .....	622 mg/l
Sólidos Disueltos .....	450 mg/l
Sólidos Suspendidos .....	0.3 mg/l
DBO <sub>5</sub> .....	10 mg/l
DQO .....	20 mg/l
Oxígeno disuelto .....	4.4 mg/l
Fosfatos .....	0.58 mg/l
pH ( adimensional ) .....	7.6

2. Concentración de coliformes fecales 1.00E+01 CF/100ml

Como podrá observarse, analizando los parámetros representativos como lo son la DBO y el contenido de coliformes fecales, se aprecia una diferencia marcada evidenciando un cuerpo receptor con niveles muy bajos de contaminación respecto a una descarga doméstica de condiciones típicas de contaminación.

Bajo este análisis sencillo adicional se confirma la necesidad de efectuar algún tipo de tratamiento a la descarga cruda ya que ésta incide notablemente en la calidad final del cuerpo receptor.

Si al análisis anterior se añade el reuso del cuerpo receptor aguas abajo, el cual se determinó que está ligado

directamente con el consumo humano y por ende con la salud del consumidor, la decisión de implementar un sistema de tratamiento para la descarga de la población está plenamente respaldada y justificada.

### 3.4. NIVEL DE TRATAMIENTO REQUERIDO :

De acuerdo a las normas vigentes en Guatemala que fijan los límites máximos permisibles de contaminación para descargas de aguas servidas municipales, elaborado por la Comisión Nacional del Medio Ambiente CONAMA, definen para una muestra de 2 horas de mezcla, que es el modelo que se ajusta al muestreo realizado en campo :

#### LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINACION

- DBO <sub>5</sub>	:	250 mg/l
- DQO	:	500 mg/l
- Sólidos Sedimentables :		1.0 mg/l

Si se analizan estos valores respecto a los obtenidos para la descarga cruda se nota que prácticamente autorizan para lanzar en forma directa las aguas residuales del municipio de Estanzuela a la quebrada Las Casas y no efectuar algún tipo de tratamiento.

Sin embargo como ya se expuso con anterioridad, es inminente la necesidad del tratamiento de las aguas residuales de la población, de tal manera que consultando las directrices sanitarias para el reuso de las aguas residuales, editadas por la Organización Mundial de la Salud - OMS, se obtuvo el siguiente parámetro que se ajusta adecuadamente a las condiciones del cuerpo receptor en estudio, las cuales definen que :

*" ... para el reuso de las aguas residuales tratadas, destinadas para riego de cultivos, la concentración de coliformes fecales no deberá exceder las 1,000 CF por 100 ml ... como el parámetro de contaminación crítico a controlar . "*

Adoptando el criterio anterior, ampliamente respaldado en el capítulo uno y tres del presente trabajo de tesis, se fijó este valor límite a nivel de bacteriología como parámetro de diseño requerido para seleccionar el sistema de tratamiento, lo cual implica un nivel de tratamiento avanzado o terciario.

Con respecto a los parámetros físico-químicos, se seleccionó un sistema de tratamiento que reducirá estos valores registrados en los análisis de laboratorio, procurando que los porcentajes de remoción alcanzados fueran los más altos para mantener una

compatibilidad en la remoción a nivel físico-químico y bacteriológico. Es importante enfatizar que para este caso en particular el parámetro obligatorio a remover es el bacteriológico, sin embargo por falta de normas sólidas para Guatemala se adoptaron normas internacionalmente aceptadas, definidas en las Directrices Sanitarias sobre el reuso en Agricultura y Acuicultura de aguas residuales tratadas, dictadas por la Organización Mundial de la Salud OMS y la Organización Panamericana de la Salud OPS en el año de 1,992.

#### 4. SELECCION DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO

En base a todos los resultados, parámetros e información técnica recopilada, se procedió a seleccionar la tecnología que se adecuara a las condicionantes impuestas por todos los factores constituyentes del proyecto, los cuales son :

1. Población de Diseño de 13,418 habitantes.
2. Disponibilidad física de terreno o área superficial por las condiciones topográficas favorables de lugar y por la disponibilidad económica de compra, debido al financiamiento.
3. Disponibilidad de equipo pesado para movimiento de tierras, accesibilidad al lugar a nivel de transporte, disponibilidad de materiales de construcción y mano de obra.
4. Presupuesto reducido para los renglones de operación y mantenimiento así como escasez de mano de obra calificada o especializada para este fin, ya que el financiamiento no cubre estos renglones, los cuales deberán ser absorbidos por la municipalidad.
5. Financiamiento disponible para cubrir la planificación, ejecución y supervisión del proyecto.
6. Eficiencia requerida del sistema : remoción de organismos patógenos que proporcione calidades de hasta 1000 CF/100ml, como prioridad uno, así como una buena remoción de parámetros físico-químicos. En otros términos un tratamiento a nivel terciario.
7. Clima Cálido intenso, porcentaje de humedad bajo, alta tasa de evaporación y suelos permeables e impermeables según el sector geográfico y el estrato excavado.
8. Caudal residual de diseño al futuro constante, ya que se proyectará un suministro de agua potable continuo

sin racionamientos durante el día, dentro del paquete global de saneamiento para la población.

Haciendo uso de la matriz final de selección como una herramienta propuesta en el presente trabajo de tesis, y asociando cada uno de los factores importantes propuestos por la matriz de selección, frente a los factores impuestos por el proyecto se hizo el siguiente análisis:

- a. El factor primordial para la preselección del sistema se fijó en términos de eficiencia y remoción de patógenos como parámetro fundamental y prioritario para este caso en particular, de tal manera que de las tecnologías disponibles la única que alcanza los niveles de remoción de bacterias, virus, parásitos y patógenos, es la tecnología de lagunas de estabilización, sin necesidad de aplicar ningún proceso de desinfección previo a la disposición final. Esta tecnología satisface esta demanda por sí sola perfilándose como la tecnología a implementar en este proyecto sin generar costos adicionales por concepto de desinfección química.

Bajo la preselección anterior se procedió a chequear cada una de las condicionantes restantes a satisfacer tomando al sistema de lagunas de estabilización como la tecnología a verificar.

- b. En términos del rango de aplicación, las lagunas de estabilización facultativas se definen como óptimas para poblaciones mayores a 10,000 habitantes, de tal manera que se adaptan bien a este caso.
- c. En términos de la simplicidad de construcción las lagunas facultativas representan un sistema muy sencillo de construir a nivel de obra civil ya que no requieren estructuras de concreto de grandes proporciones, sino más bien simples obras de arte para control e interconexión. En función del equipo requerido, la demanda del mismo es prácticamente nula, ya que no requieren de equipo electromecánico alguno, sino más bien herramienta manual simple de trabajo y limpieza.

Sin embargo el movimiento de tierras representa entre el 65 y 80% del costo total para proyectos de lagunas, ya que son grandes estanques que hay que excavar. Respecto a este punto se sostuvieron varias reuniones de trabajo con las autoridades municipales para evaluar este inconveniente del sistema de lagunas, a nivel de planos preliminares, con costos de maquinaria y acarreo, etc. Afortunadamente las autoridades municipales manifestaron su deseo de implementar el mejor sistema de tratamiento a criterio del INFOM,



sobrepasando cualquier obstáculo en el proceso de implementación por lo que su aprobación a la decisión técnica del ingeniero diseñador fue respaldada en todo momento.

- d. La tecnología de lagunas de estabilización facultativas es un sistema que requiere el mínimo de operación y el mínimo de mantenimiento ya que trabajando bajo carga hidráulica y aprovechando los factores ambientales operan prácticamente solas. Al no existir un manejo de lodos continuo sino muy prolongado, la operación se reduce al chequeo del flujo constante y continuo en las unidades y a la preservación física de las instalaciones, por consiguiente los costos de operación y mantenimiento son bastante bajos y no requieren de mano de obra calificada ni especializada. Estos requisitos de simplicidad de las lagunas las hacen adaptables a este proyecto.
- e. En función de los porcentajes de remoción, las lagunas de estabilización remueven hasta 6 ordenes logarítmicos de magnitud de bacterias, hasta un 98% de sólidos sedimentables, hasta un 95% de DBO y un 70% de DQO. Lo anterior refleja excelentes porcentajes de remoción de todos los parámetros.

Los porcentajes anteriores sólo son posibles alcanzarlos en un nivel terciario de tratamiento, es decir lagunas facultativas primarias, secundarias y terciarias conectadas en serie. De esta cuenta esta tecnología ofrece las mejores eficiencias, supliendo los requerimientos del proyecto.

- f. Frente a los cambios de carga y caudal las lagunas facultativas son poco sensibles a estas fluctuaciones y trabajan mucho mejor a temperaturas altas. Además el proyecto de ampliación del sistema de agua potable se proyectó con un suministro constante, sin deficiencias en la entrega de agua, por lo que este factor de riesgo no se considera representativo.

Las características rutinarias de la población y la ausencia de industrias garantizan una concentración en las aguas residuales respecto a su composición bastante uniforme, por lo que este factor también se considera irrelevante.

- g. Dentro del impacto ambiental que pueden generar las lagunas facultativas está la presencia de posibles olores desagradables y de vectores, pero como ya se recalcó en el capítulo tres del presente trabajo de tesis, esto es debido a una mala operación del sistema, desventaja que puede eliminarse con un adecuado y rutinario manejo de las unidades. Por otra parte el área destinada para la construcción de la planta de tratamiento se localizó en un

punto estratégico, alejada de la población 2.8 km. en una zona despoblada totalmente, bastante árida y desértica, por lo que no habrá una incidencia directa del deterioro del entorno ambiental como tala de árboles, deterioro de la cubierta vegetal, etc., al realizar la excavación de las unidades (ver plano esquemático No.3).

Las molestias se generarán en el movimiento de tierras ya que el acarreo y disposición del material sobrante deberá realizarse diariamente, generando algunas nubes de polvo según el viento predominante, el ensuciamiento parcial de la carretera al trasladar el material hacia el punto de disposición final, el cual será un pequeño barranco seco, y aquellos asociados con esta actividad. Sin embargo estas molestias se generarán únicamente durante el tiempo de ejecución del proyecto por lo que será en forma temporal.

Adicionalmente se consideró para la impermeabilización del fondo y taludes de las unidades la aplicación de barro que hay disponible en la zona, adicionalmente a la compactación de estas superficies, la cual se define en los requerimientos constructivos de la obra para evitar infiltraciones masivas que menoscaven la consolidación del fondo y de los estratos del suelo subsiguientes. Por estas razones el impacto ambiental causado por la implementación de este sistema bajo este punto de vista se considera minimizado.

- h. En función de la producción de lodos, las lagunas facultativas primarias tienen períodos de limpieza de lodos ya digeridos y estabilizados de hasta un año, por lo que el manejo de los lodos será una o dos veces al año generando costos muy bajos anuales de limpieza.
- i. Para la adquisición del terreno destinado para la planta de tratamiento, los dos factores importantes en la selección y decisión fueron : el área requerida y el costo respectivo. Según las proyecciones al futuro el área requerida se estimó en 2.4 hectáreas de terreno para implementar el sistema de lagunas facultativas hasta un nivel terciario. Con este dato se inició la búsqueda hasta localizar el terreno que por sus características descritas anteriormente, de lejanía y poco aprovechamiento agrícola, se consideró el apropiado. Este terreno fue negociado por la municipalidad ante el propietario, fijando el monto del mismo en Q 80,000.00, valor que se considera razonable reflejando 3.33 quetzales por metro cuadrado de terreno. Este costo fué cubierto por el financiamiento proporcionado por el BID.
- j. Con todos los elementos anteriores integrados, se procedió a plasmar en planos el diseño bajo la tecnología propuesta para verificar el costo total del proyecto, el cual ascendió

a Q1,100,000.00. Este costo incluyó planificación, supervisión y el valor del terreno. Con este costo se realizó el siguiente análisis:

- Costo total del proyecto : Q 1.100,000.00
- Costo unitario : Q 82 / habitante ≈ \$13/hab
- Población a beneficiar : 13,418 habitantes
- Costo unitario del terreno : Q 3.33 / m<sup>2</sup>
- Nivel de tratamiento : Terciario
- Tiempo de ejecución : 7 meses

Para determinar si los datos anteriores para este proyecto están dentro de un rango competitivo frente a otras tecnologías implementadas en proyectos elaborados por la sección de alcantarillados del Instituto de Fomento Municipal ( de la información disponible, obtenida del archivo de proyectos sanitarios del INFOM para 1,996 ) se hizo la siguiente comparación :

PROYECTO DE JOCOTAN - CHIQUIMULA ( Diseño en 1,995 )

- Costo total del proyecto : Q 455,400.00
- Costo unitario : Q 64 / habitante ≈ \$10/hab
- Población a beneficiar : 7,064 habitantes
- Costo unitario del terreno : Q 34.62 / m<sup>2</sup>
- Nivel de tratamiento : Primario - Tanques Imhoff  
+ patios de secado de lodo
- Tiempo de ejecución : 6 meses

PROYECTO DE TECULUTAN - ZACAPA ( Diseño en 1,995 )

- Costo total del proyecto : Q 1.029,500.00
- Costo unitario : Q 262 / habitante ≈ \$43/hab
- Población a beneficiar : 3,917 habitantes
- Costo unitario del terreno : propiedad municipal
- Nivel de tratamiento : Primario - 2 lagunas  
facultativas primarias
- Tiempo de ejecución : 6 meses

PROYECTO DE SANARATE - EL PROGRESO ( Diseño en 1,995 )

- Costo total del proyecto : Q 386,860.00
- Costo unitario : Q 70 / habitante ≈ \$11/hab
- Población a beneficiar : 5,536 habitantes
- Costo unitario del terreno : propiedad municipal
- Nivel de tratamiento : Primario - tanques Imhoff  
+ patios de secado de lodos
- Tiempo de ejecución : 6 meses

Si se comparan los resultados de los otros sistemas de tratamiento puede notarse que los costos unitarios son muy cercanos a los obtenidos en el sistema de Estanzuela. El contraste se genera con el nivel de tratamiento alcanzado que, en todos los casos comparativos es únicamente a nivel primario, contra un grado de tratamiento terciario proporcionado por el proyecto de Estanzuela.

No hay comparación si se estima que por ejemplo, para Jocotán con un costo unitario de Q 64 por habitante sólo brinda un nivel de tratamiento primario, en contraste con Estanzuela que con un costo unitario de Q 82 por habitante (solamente Q 18 por habitante más) brinda un tratamiento terciario con una tecnología que supera la implementada en Jocotán en términos de eficiencia, operación y mantenimiento, etc.

Por los elementos comparativos antes presentados, el proyecto de planta de tratamiento de las aguas residuales de Estanzuela, Zacapa se considera un proyecto competitivo por los costos reflejados respecto a otras alternativas de solución.

- k. Después de haber realizado este análisis de todos los factores de riesgo, ventajas y desventajas del sistema de lagunas de estabilización facultativas, y comprobando uno a uno que son la mejor alternativa de solución para el tratamiento de las aguas residuales del municipio de Estanzuela, se decidió implementar la tecnología considerando que se adapta y cumple los requerimientos impuestos por el entorno del proyecto.

Se recalca que todos y cada uno de los pasos de decisión, preselección y depuración de esta alternativa tecnológica se revisaron y consultaron con las autoridades municipales durante el proceso de planificación para tener su total aprobación, analizándolos bajo el punto de vista técnico, económico y de factibilidad constructiva.

## 5. DESCRIPCION GENERAL DEL PROYECTO PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA EL MUNICIPIO DE ESTANZUELA - ZACAPA :

### 5.1. GENERALIDADES :

Este proyecto constituye la planta de tratamiento de las aguas residuales de origen doméstico para el municipio de Estanzuela, la cual consiste en una serie de lagunas de estabilización. El nivel de tratamiento alcanzado mediante el

sistema descrito es terciario, proyectado para un periodo de diseño de 20 años, cubriendo el 100% de la población urbana del municipio.

Es importante señalar que dentro del programa de saneamiento global para el municipio mencionado con anterioridad bajo el financiamiento BID, se dividió la ejecución del componente en las tres etapas, consistentes en las ampliaciones a la red de alcantarillado, la prolongación de la línea de descarga y planta de tratamiento de aguas residuales; en tres fases constructivas independientes, las cuales se ejemplifican en el plano esquemático No.3.

De esta cuenta a este proyecto que representa la planta de tratamiento se le adjudicó la TERCERA FASE DE EJECUCION. Lo anterior se ejemplifica gráficamente en un plano esquemático No.4 A continuación se describe la tecnología propuesta :

1. Dos lagunas facultativas primarias interconectadas en paralelo.
2. Una laguna facultativa secundaria interconectada en serie con las dos lagunas primarias.
3. Una laguna terciaria interconectada en serie con la laguna secundaria, completando el nivel de tratamiento.

#### 5.2. CUBRIMIENTO :

El cubrimiento global del proyecto incluye las siguientes unidades :

##### Unidades de Pretratamiento :

- a. Un canal de rejillas.

##### Unidades de Control :

- b. Un medidor de caudal tipo canal abierto con garganta, denominado Palmer-Bowlus.

##### Unidades de Tratamiento :

- a. Dos lagunas facultativas primarias
- b. Una laguna facultativa secundaria
- c. Una laguna facultativa terciaria

##### Unidades de Recolección :

- a. Cinco cajas distribuidoras de caudal
- b. Doce dispositivos de entrada y doce de salida
- c. Tres dispositivos de desagüe
- d. Cuatro cajas unificadoras
- e. Siete cajas de registro

- f. Seis cientos metros lineales de tubería de interconexión

**Obras de Protección :**

- a. Quinientos metros lineales de contracuneta
- b. Setecientos metros lineales de cerco perimetral
- c. Un cabezal de descarga

**5.3. PLANOS ESQUEMATICOS :**

A continuación se presentan los planos esquemáticos que representan la cobertura del alcantarillado sanitario de la población, el esquema integrado de las tres fases del proyecto y la distribución en planta de las unidades de tratamiento propuestas.

	<i>Página</i>
2.2. CARACTERIZACION .....	47
2.2.1. Generalidades .....	47
2.2.2. Composición de las Aguas Residuales ..	48
2.2.3. Clasificación de los Sólidos .....	52
a. <i>Sólidos Orgánicos</i> .....	52
b. <i>Sólidos Inorgánicos</i> .....	53
c. <i>Sólidos Suspendidos</i> .....	53
d. <i>Sólidos Disueltos</i> .....	54
e. <i>Sólidos Totales</i> .....	54
2.2.4. Análisis Microbiológico .....	56
a. <i>Bacterias</i> .....	56
a.1. <i>Bacterias Parásitas</i> .....	56
a.2. <i>Bacterias Saprófitas</i> .....	57
b. <i>Otros Organismos Microscópicos</i> ....	59
c. <i>Virus</i> .....	59
d. <i>Grupo de Bacterias Coliformes</i> .....	60
2.2.5. Organismos Macroscópicos .....	60
2.2.6. Aguas Residuales Frescas .....	61
2.2.7. Aguas Residuales Sépticas .....	61
2.2.8. Aguas Residuales Estabilizadas .....	62
2.2.9. Examen de las Aguas Residuales .....	62
2.2.10. Expresión de los Resultados de Laboratorio .....	63
2.3. AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES DOMESTICAS .....	64
2.3.1. Descripción .....	64
a. <i>Aguas Negras</i> .....	64
b. <i>Aguas Grises</i> .....	64
c. <i>Aguas Pluviales</i> .....	64
2.3.2. Cantidad de Agua Residual .....	64
2.3.3. Composición del Agua Residual .....	68
2.3.4. Muestreo .....	75
a. <i>Equipo a Utilizar</i> .....	75
b. <i>Procedimiento Básico</i> .....	76
c. <i>Selección de la Muestra</i> .....	78
2.3.5. Resultados de Laboratorio .....	79

CAPITULO 3

TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES

3.1. <i>TEORIA</i> .....	83
3.1.1. Generalidades .....	83
3.1.2. Objetivos Específicos del Tratamiento .....	86
3.1.3. Criterios de Tratamiento .....	87
a. <i>Tratamiento Mecánico</i> .....	88
b. <i>Tratamiento Químico</i> .....	88
c. <i>Tratamiento Biológico</i> .....	88
d. <i>Tratamiento Avanzado</i> .....	88
3.2. <i>ETAPAS DE TRATAMIENTO</i> .....	90
3.2.1. Tratamiento Preliminar .....	90
a. <i>Rejas y Cribas de Barras</i> .....	91
a.1. <i>Cribas Finas</i> .....	91
a.2. <i>Desmenuzadores</i> .....	92
b. <i>Desarenadores</i> .....	92
c. <i>Tanques de Preaereación</i> .....	93
3.2.2. Tratamiento Primario .....	93
a. <i>Tanques o Fosas Sépticas</i> .....	94
b. <i>Tanques de Doble Acción</i> .....	94
c. <i>Tanques de Sedimentación Simple</i> ...	95
3.2.3. Tratamiento Secundario .....	96
a. <i>Filtros Goteadores o Roceadores</i> ...	97
b. <i>Tanques de Sedimentación             Secundaria</i> .....	98
c. <i>Lodos Activados</i> .....	98
d. <i>Estanques o Lagunas             de Estabilización</i> .....	100
3.2.4. Tratamiento Terciario .....	102
3.2.5. Tratamiento y Disposición de Lodos ...	103
3.3. <i>CLASIFICACION DE SISTEMAS</i> .....	106
3.3.1. Pretratamiento .....	106
a. <i>Rejillas o Cribas de Barras</i> .....	106
b. <i>Desarenador</i> .....	107



	Pagina
3.3.2. Tratamiento Primario .....	109
a. Fosa Séptica .....	109
b. Tanque Imhoff .....	111
c. Sedimentadores Primarios .....	112
d. Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente .....	115
e. Coagulación o Floculación .....	118
3.3.3. Tratamiento Secundario .....	119
a. Filtro Anaerobio .....	120
b. Reactor Tubular de Película Fina .....	120
c. Filtro Percolador .....	123
d. Biodiscos ( filtros rotativos ) ...	125
e. Lagunas de Estabilización .....	126
e.1. Lagunas Anaerobias .....	127
e.2. Lagunas Aerobias .....	129
e.3. Lagunas Facultativas .....	129
- Forma de la laguna .....	130
- Dispositivos de Entrada y Salida .....	131
- Problemas con Vectores y Olores .....	131
e.4. Lagunas Aereadas .....	132
f. Lodos Activados .....	133
g. Aereación Extendida .....	135
h. Zanjias de Oxidación .....	135
3.3.4. Desinfección .....	136
a. Cloración .....	136
3.3.5. Tratamiento Terciario .....	137
3.4. MECANISMOS DE REMOCION .....	139
3.5. SELECCION DE ALTERNATIVAS .....	149
3.5.1. Introduccion .....	149
3.5.2. Etapas de Selección .....	151
a. ¿ Porqué se Deben Tratar ? .....	152
b. ¿ Qué se Va a Tratar ? .....	155
c. ¿ Hasta Cuantó se Deben Tratar ? ...	156

	Pagina
d. ¿ Dónde se Va a Descargar el Efluente ? .....	159
d.1. Curso Superficial de Agua .....	160
d.2. Importancia del Cuerpo Receptor .....	160
d.3. Calidad del Cuerpo Receptor Aguas Arriba .....	161
d.4. Capacidad de Autopurificación del Cuerpo Receptor .....	161
e. ¿ Cómo se Van a Tratar ? .....	164
3.5.3. Selección de Alternativas de Sistemas de Tratamiento .....	168
a. <i>Requerimientos</i> .....	169
( Ventajas y Desventajas )	
- Rango de Aplicación .....	170
- Superficie Necesaria .....	171
- Simplicidad de Construcción .....	172
- Operación y Mantenimiento .....	173
- Costos de Construcción .....	175
- Costos de Operación y Mantenimiento .....	176
- Eficiencia de Remoción .....	177
- Estabilidad .....	178
- Impacto Ambiental .....	180
- Producción de Lodos .....	182
- Matriz Final de Selección .....	183
 <i>CONCLUSIONES</i> .....	 IX
<i>RECOMENDACIONES</i> .....	XIV
<i>BIBLIOGRAFIA</i> .....	XVII
 <i>ANEXO</i>	

## INDICE DE TABLAS

No.	Descripción	Página
<b>CAPITULO I</b>		
1	Cobertura de saneamiento en Guatemala .....	2
2	Plantas de tratamiento de aguas residuales localizadas en el área metropolitana .....	4
3	Diseminación indirecta de algunas enfermedades entéricas .....	15
4	Dosis infecciosa .....	17
5	Producto per cápita en 1,990 .....	34
<b>CAPITULO II</b>		
6	Cantidad de agua residual total y municipal ....	42
7	Cantidad de agua residual municipal estimada para Guatemala .....	45
8	Cantidad de aguas residuales según el tamaño de la población .....	46
9	Sólidos contenidos en una muestra de aguas residuales municipales .....	55
10	Distribución de la evacuación de aguas residuales en tres rangos de población .....	65
11	Cantidad de aguas residuales domésticas por persona al día .....	66
12	Dotaciones de diseño para sistemas de agua potable y porcentajes de retorno .....	67
13	Carga diaria promedio por persona .....	69
14	Concentración de desechos en aguas domésticas ..	70
15	Valores promedio de DBO y DQO ( contribución per cápita ) .....	73
16	Composición promedio en función de DBO y DQO ...	73
17	Análisis comparativo de diversas muestras de aguas domésticas .....	74
18	Exámen fisico-químico de aguas residuales domésticas I .....	82

No.	Descripción	Página
19	Examen físico-químico de aguas residuales domésticas II .....	82
<b>CAPITULO III</b>		
20	Rendimientos en el cultivo de diversos productos agrícolas implementado en la Ciudad de México ..	85
21	Tratamiento terciario .....	138
22	Nivel de tratamiento alcanzado por los diversos sistemas en función del proceso que realizan ...	142
23	Porcentajes de remoción para diferentes procesos DBO - DQO - SS .....	143
24	Porcentajes de remoción para diferentes procesos Ptot - Norg - NH3 .....	144
25	Porcentajes de remoción para diferentes procesos Bacterias - Coliformes .....	145
26	Eliminación prevista de microorganismos presentes en las aguas residuales .....	146
27	Eficiencia alcanzada mediante procesos avanzados de tratamiento / DBO - DQO - SS .....	147
28	Eficiencia alcanzada mediante procesos avanzados de tratamiento / Ptot - Norg - NH3 ...	148
29	Límites permisibles de contaminación de aguas residuales para poblaciones hasta de 75,000 habitantes .....	157
30	Límites permisibles de contaminación de aguas residuales para poblaciones mayores a 75,000 habitantes .....	158
31	Rangos de aplicación para sistemas de tratamiento de aguas residuales en función de la población a servir .....	170
32	Superficie necesaria para la aplicación de los diversos sistemas de tratamiento de aguas residuales .....	171
33	Simplicidad de construcción de los diversos sistemas de tratamiento de aguas residuales ....	172

No.	Descripción	Página
34	Requerimientos de operación y mantenimiento de los diversos sistemas de tratamiento de aguas residuales .....	174
35	Costos unitarios de construcción para los diversos sistemas de tratamiento en función de la población de diseño .....	175
36	Costos unitarios de operación y mantenimiento para los diversos sistemas de tratamiento de aguas residuales en función de la población a servir .....	176
37	Eficiencia de remoción según la etapa de tratamiento - Valores promedio .....	177
38	Rangos de aplicación para diversos sistemas de tratamiento en función de la temperatura y las variaciones de carga y caudal .....	179
39	Tabla estimativa de impacto ambiental para diversos sistemas de tratamiento de aguas residuales .....	181
40	Rangos estimados de producción de lodo en función del sistema de tratamiento adoptado ....	182
41	Matriz final de selección .....	183

## INDICE DE FIGURAS

No.	Descripción	Página
1	Rejillas de limpieza manual .....	107
2	Desarenador .....	108
3	Fosa Séptica / Esquema de Infiltración .....	110
4	Tanques Imhoff .....	112
5	Tratamiento Primario .....	115
6	Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (RAFA) ....	118
7	Filtro Anaerobio .....	122
8	Filtros Biológicos .....	124
9	Filtros Rotativos ( Biodiscos ) .....	126
10	Lagunas de Estabilización / anaerobias.....	128
11	Laguna Facultativa .....	132
12	Lagunas Aereadas .....	133
13	Lodos Activados .....	134
14	Zanjas de Oxidación .....	136
15	Proceso de Autopurificación de un río .....	163

## RESUMEN

El deterioro de los recursos hídricos, por su uso irracional y la falta de protección sobre agentes contaminantes, es un hecho contundente que, a medida que el tiempo transcurre, se incrementa cada vez más. Consecuentemente, se refleja un deterioro en la salud de las comunidades que utilizan estos cursos de agua para satisfacer sus necesidades básicas ( contaminados por las descargas de aguas residuales de todo tipo sin tratar, como la principal causa de contaminación ). El problema se agudiza, provocando que los índices de morbilidad y mortalidad se eleven en forma alarmante.

Por tal razón, en el presente trabajo de tesis, se pretende aportar elementos técnicos definidos que permitan encontrar alternativas viables que solucionen en forma parcial o total esta problemática a nivel de saneamiento básico. Para tal efecto, se propone un procedimiento en el cual se definen las etapas básicas en el análisis del problema, determinando sus características principales, es decir, definir el *POR QUE* del tratamiento, *QUE* se va a tratar, *HASTA CUANTO* se deben tratar, *HACIA DONDE* se vertirán los desechos finales y *COMO* se efectuará el tratamiento. Esto delimita un marco de referencia que proporciona elementos de juicio necesarios para proponer una alternativa de solución adecuada de tratamiento.

Para la selección final de esta alternativa se proporciona, para los sistemas de tratamiento más utilizados, una descripción técnica de cada sistema, que describe la capacidad individual de realizar un proceso de depuración sobre las aguas residuales.

## GLOSARIO

**ABSORCION** : Fijación y concentración selectiva de sólidos disueltos en el interior de un material sólido, por difusión.

**ACCION METANOGENICA** : Es la actividad en la cual las bacterias anaerobias, en su proceso de degradación de la materia orgánica en un medio anaerobio, producen gas metano como subproducto de esta actividad.

**AERREACION** : Proceso de transferencia de oxígeno del aire al agua por medios naturales ( flujo natural, a través de cascadas, etc.) o artificiales (agitación mecánica, difusión de aire comprimido).

**AFLUENTE** : Agua, agua residual u otro líquido que ingrese a un reservorio, planta de tratamiento o proceso de tratamiento.

**ANAEROBIO** : Condición en la cual no hay presencia de aire u oxígeno libre.

**BIODEGRADACION** : Degradación de la materia orgánica por acción de microorganismos.

**BIOPELICULA** : Película biológica adherida a un medio sólido, que lleva a cabo la degradación de la materia orgánica. También denominada como biomasa, biopelícula o película microbiana.



**BY-PASS** : Conjunto de elementos utilizados para desviar el agua residual de un proceso o planta de tratamiento en condiciones de emergencia o de mantenimiento operativo.

**CAUDAL MAXIMO HORARIO** : Caudal a la hora de máxima descarga.

**CAUDAL MEDIO** : Promedio del caudal anual.

**CLARIFICACION** : Proceso de sedimentación empleado para eliminar los sólidos sedimentables del agua residual.

**COAGULACION** : Aglomeración de partículas coloidales y dispersas en coágulos visibles, por adición de un coagulante.

**CONTAMINACION** : La introducción en el agua de residuos de naturaleza orgánica e inorgánica, que contengan microorganismos o tóxicos, en una concentración tal que puedan interferir con la vida acuática o con el uso directo del agua por el hombre, implicando un peligro para la salud.

**CRIBA** : Artefacto de barras paralelas de separación uniforme, utilizado para remover sólidos flotantes y suspensos, generalmente empleado en tratamiento preliminar.

**DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO ( DBO )** : Cantidad de oxígeno requerida por los microorganismos para estabilizar la materia orgánica bajo condiciones de tiempo y temperatura especificados.

generalmente en 5 días a 20°C.

**DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO ( DQO )** : Medida de la cantidad de oxígeno requerido para la oxidación química de la materia orgánica (carbonácea) del agua residual, usando como oxígeno sales inorgánicas de permanganato o dicromato.

**DEPURACION** : Purificación o remoción de sustancias objetables de las aguas, aplicado exclusivamente a procesos de tratamiento de líquidos.

**DESINFECCION** : La destrucción de bacterias y virus de origen fecal en las aguas residuales, con el uso de un agente desinfectante.

**DIGESTION** : Descomposición biológica de la materia orgánica del lodo, produciendo una mineralización, licuefacción y gasificación parcial.

**EFFLUENTE** : Líquido que sale de un proceso de tratamiento.

**IMPACTO AMBIENTAL** : Cambio o consecuencia al ambiente que resulta de una acción específica o proyecto.

**NUTRIENTE** : Cualquier sustancia que al ser asimilada por organismos, promueve su crecimiento. En aguas residuales se refiere normalmente al nitrógeno y fósforo.

*PARASITO* : Organismo protozoario o helminto que habitando en el intestino pueden causar enfermedades.

*POTENCIAL DE HIDROGENO* : Logaritmo con signo negativo de la concentración de iones hidrógeno, expresado en moles por litro.

*PROCESO BIOLOGICO* : Asimilación de la materia orgánica a través de las bacterias y otros microorganismos, para su estabilización.

*PULIMIENTO* : Proceso mediante el cual se alcanza un alto grado de tratamiento, depuración o purificación del agua. Su característica es proporcionar agua sanitariamente segura después del proceso.

## INTRODUCCION

En la actualidad todos los desechos o residuos ya sean sólidos o líquidos (provenientes de basura y aguas residuales respectivamente) representan una preocupación para las entidades que regulan la conservación del medio ambiente por sus efectos nocivos sobre los cuerpos receptores y el medio que rodea su disposición. El impacto ambiental negativo que ejercen estos desechos es verdaderamente significativo, siendo manifiesto en el deterioro de los recursos naturales.

Este hecho incide directamente en la salud humana ya que el hombre se ve en la necesidad de utilizar estos recursos para poder subsistir, pero al estar alterados por los efectos de estos contaminantes ( ya sea físicos, químicos o bacteriológicos ), su salud se ve deteriorada por enfermedades que, en muchos de los casos lo llevan a la muerte.

Las aguas residuales municipales, es decir las provenientes de uso doméstico no son la excepción, ya que toda comunidad que posea un sistema o red de alcantarillado sanitario ( o bien en proceso de diseño, planificación o ejecución ) recolectará, evacuará y dispondrá las aguas residuales hacia un punto definido de descarga. En este punto se concentrará el impacto negativo, ya que por lo general ( si no se trata de un sistema de infiltración o de un esquema de reuso total del efluente ), la descarga será desfogada hacia un cuerpo receptor que en la mayoría de los casos ( en términos de nuestras comunidades ) se constituye en un

riachuelo, una toma de riego o un zanjón de invierno que aguas abajo se une a un río, a un lago o bien al mar, es decir, que el cuerpo receptor final será una fuente de aguas superficiales que los pobladores la reutilizarán para riego de cultivos, abastecimiento de ganado o para el consumo humano.

Este hecho contundente refleja la necesidad de controlar y aplicar algún tipo de tratamiento a las descargas crudas por sencillo o complejo que éste sea, pero en cualquier caso deberá aplicarse para reducir los contaminantes y sus efectos secundarios.

La implementación de algún tipo de tecnología de tratamiento deberá ajustarse al entorno de la comunidad, a sus características propias, ubicándose en su realidad socioeconómica para que el sistema propuesto verdaderamente sea factible de implementar, financieramente posible de ejecutar, poder operarlo y darle mantenimiento de una manera sencilla a bajo costo, sin que los resultados en términos de calidad final se vean alterados.

La premisa será: *" es mejor aplicar algún tipo de tratamiento por mínimo que éste sea, que no hacer algo y permitir que se incremente indiscriminadamente el deterioro de los recursos naturales "*. Lo anterior se ve reforzado si se prevee que en un futuro se pueda ampliar el sistema inicial y completar el tratamiento, al planificarlo por etapas, según la capacidad y disponibilidad de la comunidad beneficiada.

**OBJETIVOS****1. GENERAL :**

Proporcionar al estudiante de la facultad de ingeniería y al ingeniero diseñador un panorama general que contemple las fases fundamentales para adoptar un sistema o tecnología de tratamiento de las aguas residuales ( municipales domésticas ) en forma adecuada, de acuerdo al tipo de desecho, a las características del cuerpo receptor, al nivel o grado de tratamiento que se pretende alcanzar y al entorno socioeconómico de la comunidad a beneficiar para obtener los resultados proyectados en términos de saneamiento ambiental, de tal manera que la eficacia en el monitoreo inicial de los factores determinantes en el diseño, que definen sus características principales, dará como resultado un sistema bien diseñado, técnicamente eficiente, funcional e ideológicamente aceptado por la comunidad, al transmitirles la necesidad inminente de efectuar un tratamiento a sus aguas residuales para mejorar sus condiciones de vida en términos de salubridad y desarrollo.

**2. ESPECIFICO :**

Identificar las fases, etapas o factores determinantes y fundamentales para definir un sistema de tratamiento de aguas residuales, dando como resultado un proceso completo de análisis. Se considera que este proceso global contempla el responder las siguientes interrogantes :

a) Caracterizar las aguas residuales municipales provenientes de uso doméstico y definir sus propiedades específicas, es decir, determinar " *¿ QUE ES LO QUE SE VA A TRATAR ?* ".

b) Definir las características del cuerpo receptor con el proposito de determinar " *¿ DONDE SE VA A DESCARGAR ?* ".

Lo anterior permitirá comparar los resultados obtenidos de la descarga de aguas residuales contra los del cuerpo receptor y cuantificar el impacto que podría producirse a éste.

c) Cuantificar en términos numéricos el impacto producido por la descarga de aguas residuales sin tratar. Comparando estos resultados con las normas vigentes para la protección y preservación de los cuerpos receptores, deberá definirse " *¿ HASTA CUANTO SE DEBE TRATAR ?* "; para reducir este impacto mediante el tratamiento, hasta los límites permisibles de contaminantes en la descarga.

d) Con todos los resultados obtenidos en los incisos anteriores, como elementos de juicio y bases de diseño, deberá determinarse " *¿ COMO SE VA A TRATAR ?* "; seleccionando la alternativa o sistema de tratamiento más adecuado para las aguas residuales.

## INTRODUCCION AL SANEAMIENTO BASICO

## 1.1. ANTECEDENTES :

En América Latina, con sólo una cobertura del 49% de alcantarillado, más de 40 millones de metros cúbicos por día de aguas residuales se colectan y se vierten en forma directa, contaminando ríos, lagos y mares. A nivel de disposición de excretas se cuenta con una cobertura del 38%. Lo anterior implica que 60 millones de habitantes no poseen un saneamiento básico aceptable. Si en el Año 2,000 se implementara este servicio básico en nuestros países hasta alcanzar una cobertura del 90%, se estarían arrojando más de 100 millones de metros cúbicos, agravando aún más la situación.▪

Del volumen colectado por los sistemas de alcantarillado sanitario, menos del 10% recibe algún tipo de tratamiento previo a su descarga en un cuerpo de agua superficial, o a un reuso para el riego directo de productos agrícolas.▪

Con la disposición de las aguas residuales sin tratamiento previo se está afectando el uso que se hace de estas aguas superficiales. Muchos de los ríos y lagos utilizados como fuentes de abastecimiento de agua ( menos del 50% de los favorecidos con el servicio de agua potable recibe un producto desinfectado ),▪ tienen altos niveles de contaminación microbiológica.

Estos mismos cuerpos de agua se utilizan para riego

▪ León, Guillermo. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES. LAGUNAS FACULTATIVAS. Informe Técnico. CEPIS. Perú: 1,993.



de alimentos que, como consecuencia lógica, son contaminados incrementando así los factores ambientales de riesgo para la salud de la población. En Guatemala, según el análisis sectorial de agua potable y saneamiento, la población servida con sistemas de alcantarillado y disposición individual a nivel de todo el país es la siguiente :

*TABLA No.1* ■

---



---

*COBERTURA DE SANEAMIENTO EN GUATEMALA*

---



---

( Población en millones )

■ Población total	:	10.322
■ Población servida	:	6.142
■ % Población servida	:	60

---

■ Población total urbana	:	3.978
■ Población urbana servida	:	2.868
■ % Pob. urbana servida	:	72

---

■ Población total rural	:	6.344
■ Población rural servida	:	3.274
■ % Pob. rural servida	:	52

---

El porcentaje de cubrimiento de saneamiento es alarmante, principalmente en el área rural, en donde se dificulta la canalización de las aguas residuales por medio de tubería; por

■ Pocasangre Collazos, Adán. *INVENTARIO DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES EN GUATEMALA.* (Tesis: Facultad de Ingeniería, Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria ERIS, USAC). 1,995, 110 p.

ser áreas dispersas y lejanas.

En cuanto al área urbana, es de considerar que sólo el área Metropolitana de la ciudad de Guatemala representa el 24% del total de la población urbana servida a nivel nacional, de los 330 municipios del país, sólo 286 cuentan con una red de alcantarillado reflejando un 87% de colector principal instalado.ª

Con respecto al tratamiento de las aguas residuales a nivel nacional ( excluyendo la ciudad capital ), actualmente 18 municipalidades cuentan con plantas o sistemas de tratamiento para sus aguas residuales, lo cual refleja una cobertura parcial bastante baja, de aproximadamente el 6%ª. En la ciudad capital, de acuerdo a la evaluación efectuada por el Ing. Ms. Adán Pocasangre en el año de 1,995ª, de las 18 plantas de tratamiento de aguas residuales monitoreadas en sitio, únicamente 4 están funcionando. Estas 4 plantas tratan un caudal aproximado de 100 litros por segundo (lps); drenando casi en un 100% a la cuenca del pacífico.ª Lo anterior refleja una cobertura muy baja si se compara el caudal tratado contra el total de habitantes de la ciudad capital que asciende a 3 millones aproximadamente.

Estos porcentajes son preocupantes y si a este hecho se agrega que de las plantas de tratamiento algunas no están en funcionamiento y otras operan deficientemente, definitivamente el saneamiento a nivel nacional está comprometido, reflejando una

ª Pocasangre Collazos, Adán. INVENTARIO DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES EN GUATEMALA. (Tesis: Facultad de Ingeniería, Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria ERIS, USAC). 1,995, 110 p.

meta por alcanzar. En la siguiente tabla se presentan las 18 plantas de tratamiento mencionadas anteriormente, ubicadas en la ciudad capital.

TABLA No.2 ■

**PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES LOCALIZADAS  
EN LA CIUDAD CAPITAL**

Localización	Tipo de Proceso
1. Lomas de Portugal	Fosa Séptica / Infiltración
2. Molino de las Flores	Fosa Séptica / Infiltración
3. Santa Rita	Fosa Séptica / Infiltración
4. San Cristobal I	Zanjas de Oxidación / Aereación Mecánica
5. San Cristobal II	Imhoff / Infiltración
6. El Bosque	Imhoff
7. Aurora I y II	Sedimentación / Imhoff / Filtros / Laguna
8. Elgin Sur	Filtros Torre
9. Villasol	Sedimentación / Filtro Percolador
10. Mezquital	Sedimentación / Filtro Percolador
11. Justo R. Barrios	Lagunas de Estabilización
12. Villahermosa	Zanjas de Oxidación
13. Riveras del Pacífico	Reactor Anaerobio
14. Central de Mayoreo	Imhoff / Infiltración
15. Ciudad Universitaria	Sedimentación/ Filtros Percoladores / Digestor
16. Villalobos I	Sedimentación/ Filtros Percoladores / Digestor
17. Villalobos II	Sedimentación/ Filtros Percoladores / Digestor
18. Nimajuyú	Sedimentación/ Filtros Percoladores / Digestor

■ Pocasangre Collazos, Adán. INVENTARIO DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES EN GUATEMALA. (Tesis: Facultad de Ingeniería, Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria ERIS, USAC). 1,995,110 p.

El desbalance entre el recurso hídrico y el crecimiento explosivo de las grandes ciudades ha obligado a dar prioridad al uso de aguas superficiales destinadas a la agricultura, para los fines de abastecimiento público y generación de energía eléctrica. Como lógica consecuencia, el sector agrario ubicado en la periferia de las grandes ciudades, ha visto en el uso de aguas residuales para riego su supervivencia.

Esto se refleja en la existencia de más de 400,000 hectareas agrícolas irrigadas con estas aguas en forma directa, la mayoría sin tratamiento previo; tal es el hecho que ( de la información disponible en marzo de 1,992 ) se sabía que en México 350,000 hectareas y en Perú 4,000 hectareas eran regadas directamente con aguas residuales.\* Guatemala sin ser la excepción, riega sus cultivos tradicionales como zanahoria, tomate, legumbres, forrajes, etc, con aguas residuales sin tratar, en un alto porcentaje. Tal es el caso ( como un ejemplo puntual ) del municipio de Almolonga, departamento de Quetzaltenango que siendo uno de los principales productores de esa región, abastece verduras de excelentes dimensiones y apariencia, pero altamente contaminadas por el uso indiscriminado de las aguas residuales provenientes de la misma población para su proceso de cultivo y cosecha. Este hecho se pone de manifiesto en otros municipios tales como: Villa Canales, San Miguel Petapa, Panajachel, San Antonio Aguas Calientes, Santa Catarina Barahona y muchos más que han visto en el uso de estas aguas una producción abundante.

\* León, Guillermo. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES. LAGUNAS FACULTATIVAS. Informe Técnico. CEPIS. Perú: 1,993.

Las situaciones endémicas de diarreas, parasitismo, fiebre tifoidea y salmonellosis que impera en nuestros países no son más que el reflejo de esta crítica situación, a la que vino a sumarse recientemente el cólera, de tal manera que las bacterias, virus patógenos y parásitos son transportados y dispersos por los ríos, lagos y el mar, contaminados por las aguas residuales. La contaminación puede darse en forma directa al reusar las aguas residuales a partir del emisor, o bien en forma indirecta al reusar las aguas del cuerpo receptor que ya han sido contaminadas por las descargas crudas previamente. Tal es el caso del Río Motagua, uno de los ríos más caudalosos e importantes de Guatemala, que nace en la zona nor-occidental del país y desemboca en la zona nor-oriental en el Océano Atlántico, que se constituyó en el portador, recolector y transmisor del virus del cólera, el cual aún representa un riesgo latente que no ha sido controlado en su totalidad.

Es necesario tomar conciencia y decidir una acción sobre la situación por la que se atraviesa, producto de la poca o ninguna atención que se ha brindado a los recursos renovables como el agua. No se está plenamente consciente ni se tiene un real conocimiento de que la capacidad de renovación de los cuerpos de aguas es finita, y se ha abusado de la creencia de la asimilación ilimitada por parte de la naturaleza.

En los niveles de decisión política de nuestros países tanto central como local, y en las agencias de crédito internacional, no se le ha otorgado la prioridad necesaria a la descontaminación

de los cursos superficiales de agua. Por otro lado en todos los sectores de la sociedad no existe una percepción real de los riesgos para la salud a los cuales se están expuestos, a través de la cadena de factores de riesgo asociados a la disposición de las aguas residuales sin tratamiento previo. Cuanto mayores son los niveles de contaminación bacteriológica, mayores son los niveles de exposición a la población y los riesgos para la salud, consecuentemente mayor será el impacto económico derivado de la contaminación.

Sólo como uno de los daños no cuantificados están los costos de tratamiento que, en las plantas potabilizadoras de agua se ven incrementados con el deterioro de la calidad del agua que procesan, ya que se requiere la aplicación de una mayor cantidad de compuestos químicos y la optimización del proceso de desinfección para garantizar un agua segura para consumo humano.

El deterioro de la calidad de las fuentes de abastecimiento reclama la necesidad de mejorar y mantener la calidad del agua a través de la protección y recuperación de cuencas hidrográficas y acuíferos, como un mecanismo eficaz que resuelva el problema en forma sistemática por regiones que se relacionen entre sí por sus condiciones geográficas, en el uso compartido de las aguas superficiales.

Una forma de contribuir al mejoramiento de los indicadores de salud de los países de la región, caracterizados por una alta incidencia de enfermedades entéricas y parasitarias, es el tratamiento de las aguas residuales ya sea para disponerlas

finalmente en cuerpos de agua o para su reutilización.

El objetivo es no sólo reducir o eliminar los riesgos para la salud al descontaminar las fuentes de agua, sino viabilizar financieramente estos proyectos dentro de las posibilidades económicas y necesidades sociales de la región. El desafío técnico es proponer soluciones que hagan factible, dentro de la crisis económica que afecta, realizar inversiones que reduzcan la contaminación generando beneficios adicionales al proceso de depuración del recurso hídrico.

1.2. *DETERIORO DE LOS RECURSOS HIDRICOS*  
( Impacto Ambiental ) :

Los ríos de América Latina y el Caribe (ALC) sufrieron un sensible deterioro en la segunda mitad del Siglo XX. El paso de una población de menos de 140 millones de habitantes en 1,950, que en su mayoría eran del área rural con costumbres primitivas; a más de 440 millones en 1,990, que en su mayoría son del área urbana cuyo nivel de consumo e industrialización se vió incrementado; fué la principal causa.\*

La falta de tratamiento y disposición adecuada de las aguas residuales hace que los ríos y lagos de ALC tengan concentraciones microbianas dentro de las más altas del mundo, a tal grado que en su gran mayoría, ninguna de estas fuentes superficiales de agua son aptas desde el punto de vista microbiológico, para agua potable o crudo de plantas potabilizadoras ya que al ingresar a la planta agua sumamente contaminada, la capacidad instalada de una planta convencional típica está limitada al tratamiento fisico-químico, es decir, controlar turbiedad, color, pH, etc.; y no así para un control bacteriológico estricto.

La aplicación de desinfección es de tipo preventivo para mantener el concepto del efecto residual en la red de distribución ( ya que el afluente se mantuvo por mucho tiempo de buena calidad microbiológica ), pero no de tipo correctivo, es

\* Saenz, Rodolfo. DISPOSICION DE AGUAS RESIDUALES. DETERIORO DE LOS RECURSOS HIDRICOS. Informe Técnico. División de Salud y Ambiente HPE del Estado de Washington, DC; 1,992. Perú: CEPIS, OPS, 1993. 22 pp.



de desinfectante antes de que el agua ingrese al ciclo de tratamiento ( una precloración por ejemplo ) para eliminar la alta concentración de microorganismos presentes.

Estos cursos superficiales tampoco se consideran aptos para riego de productos agrícolas de consumo humano, natación, pesca deportiva y otros usos recreacionales, así como algunos usos industriales.

En términos generales se puede decir que son muy pocas las aguas superficiales cuya concentración de Coliformes Fecales (CF) está por debajo de 1,000 ( Número Más Probable ó NMP / 100ml ), según la norma establecida por la Organización Mundial de la Salud como indicador fundamental de contaminación patógena. Lo anterior explica la alta incidencia de enfermedades de origen hídrico, entre las que se destacan las enfermedades diarréicas agudas y la parasitosis.

La extensión de las áreas bajo la producción agrícola necesaria para alimentar a una población creciente y para la producción de alimentos exportables como café, bananas, azúcar, carne, etc.; provocó un deterioro adicional de grandes proporciones. En algunas zonas cafetaleras la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), que es otro parámetro de contaminación físico-químico, lanzada a los ríos como producto de esta actividad, es hasta diez veces mayor que la de origen doméstico. El uso de fertilizantes y plaguicidas, algunas veces en forma indiscriminada, ha llegado a constituir un factor importante de la contaminación de los cuerpos de agua.

Un hecho que refleja el significativo impacto negativo de los factores de riesgo antes mencionados, es el sensible deterioro del Lago de Amatitlán, uno de los principales lagos de Guatemala, como resultado del deterioro del Río Villalobos ( uno de los principales afluentes del Lago y emisor de contaminantes ) debido a las descargas que absorbe en su trayecto, de gran parte de la ciudad capital, de los municipios de Mixco, San Miguel Petapa, Villa Canales, etc., y una gran cantidad de industrias. Esto está acelerando la muerte del Lago al recibir altas cargas de DBO, nutrientes, tóxicos, plaguicidas, fertilizantes y otros contaminantes.

Así mismo la contaminación de la napa freática del municipio de Villa Nueva, que está localizado en medio del Río Platanitos y del Río Villalobos antes mencionado, se debe a que el municipio no tiene habilitado su sistema de drenajes por lo que utiliza sistemas de infiltración y absorción, de tal manera que la calidad del agua subterránea extraída de pozos para abastecimiento, se registra sumamente deteriorada como consecuencia de la alta carga aplicada por infiltración.

Los problemas atribuidos al deterioro de los recursos hídricos pueden clasificarse en tres aspectos: hidrológicos, ecológicos y de salud pública.

#### 1.2.1. Problemas Hidrológicos :

La urbanización, pavimentación, construcción de edificaciones y la apertura de nuevas tierras a la agricultura

implica la eliminación del bosque y la alteración general de las características de las cuencas hidrográficas. El resultado es agua con mayor contenido de sedimentos (erosión), pérdida de suelos, coeficientes de escorrentía más altos, tiempos de concentración del agua de lluvia más cortos, avenidas más grandes y más frecuentes, inundaciones y sequías más prolongadas.

#### 1.2.2. Problemas Ecológicos :

Tanto las poblaciones como las industrias lanzan a los ríos, lagos o al mar, aguas residuales con altas concentraciones de materia orgánica. Esta materia es atacada por las bacterias y otros organismos que la estabilizan en un proceso que tiene una alta demanda bioquímica de oxígeno (DBO). El resultado es una disminución del oxígeno disuelto en el agua del cuerpo receptor con el consiguiente perjuicio para los peces y la vida acuática en general. Si la magnitud de la carga orgánica es mayor que la capacidad de autodepuración del cuerpo receptor el resultado es la pérdida total del oxígeno disuelto, hasta llegar a condiciones anaerobias. Cuando un cuerpo receptor llega a estar en condiciones anaerobias, es decir, sin presencia de oxígeno, se dice que está " muerto ", aunque en realidad continúa habiendo vida pero de organismos anaerobios.

Este fenómeno se ve incrementado en presencia de sustancias tóxicas en las aguas residuales descargadas a estos cuerpos receptores, de tal manera que en algunos casos estos tóxicos provocan la muerte de la vida acuática antes de que el oxígeno

disuelto haya sido abatido a niveles letales ( 3 mg/l o menos). Por otra parte algunos tóxicos afectan el proceso de la DBO haciéndolo más lento, produciéndose la paradoja de que el tóxico produzca que el cuerpo receptor tenga buenos niveles de oxígeno disuelto, a pesar de presentar trastornos ecológicos más graves.

### 1.2.3. Problemas de Salud Pública :

A pesar de los grandes esfuerzos realizados por las autoridades de salud pública, es triste reconocer que las enfermedades gastrointestinales figuran entre las 10 primeras causas de muerte y más concretamente en los cinco países de América Latina con la más baja expectativa de vida, como la primera o segunda causa de muerte. Una de las principales causas de la alta mortalidad y morbilidad es precisamente la inadecuada disposición de las aguas residuales que no son tratadas y son descargadas indiscriminadamente a los cuerpos receptores. Cuando las aguas residuales de tipo doméstico son lanzadas al cuerpo receptor sin algún tratamiento previo, suelen contaminarlo con altas concentraciones de bacterias, virus y parásitos, creando un grave problema de salud. Dentro de las principales enfermedades que se propagan por este mal manejo de las aguas residuales están las diarreas bacterianas y virales, disentería, hepatitis infecciosa, la tifoidea y paratifoidea, el cólera, la amebiasis, la giardiasis, etc. Esto provoca la transmisión de estas enfermedades de persona a persona, que entran en contacto con el agua contaminada y el manejo de los alimentos, es decir, que se

forma un círculo cerrado en el cual la propagación de microorganismos es favorecida al no romper este ciclo debido al aporte continuo de contaminantes sobre los recursos hídricos, la poca o ninguna higiene debido a la forma precaria de vida y la ausencia de elementos preventivos y correctivos o metodologías de tratamiento. Como es muy difícil detectar y cuantificar a todos los patógenos causantes de estas enfermedades, los ingenieros sanitarios y muchas autoridades de salud pública utilizan como organismo indicador de la contaminación patógena, a los coliformes fecales antes mencionados.

Si se toman en consideración las enfermedades transmitidas por excrementos, aguas residuales, y lodos provenientes de las aguas residuales, aumenta la diseminación de las enfermedades entéricas y con ello aumenta la lista de posibles infecciones. Las formas comunes de transmisión, aparte de la efectuada a través del agua para consumo humano, se describen en la tabla No.3 :

TABLA No. 3

*DISEMINACION INDIRECTA DE ALGUNAS ENFERMEDADES ENTERICAS\**

- Mediante berros o moluscos que se han cosechado o almacenado en agua contaminada con aguas residuales :

*Disentería Bacilar*  
*Tifoidea*  
*Paratifoidea*  
*Hepatitis infecciosa*

- A través de vegetales y frutas contaminadas con heces fecales, aguas residuales directas y lodo contaminante :

*Tifoidea*  
*Paratifoidea*  
*Las disenterías*  
*Lombrices parásitas*  
*Hepatitis infecciosa*

- Mediante toda clase de alimentos contaminados por moscas u otros bichos que se alimenten con heces fecales humanas :

*Tifoidea*  
*Paratifoidea*  
*Disentería bacilar*

- Por los pescados y cangrejos procedentes de aguas contaminadas que se comen crudos poco después de pescar :

*Lombrices*  
*Tenias*

- Mediante el baño y otro tipo de exposición con aguas contaminadas :

*Enfermedad de Weil*  
*Esquistosomiasis*

\* Fair, R. et al., PURIFICACION Y TRATAMIENTO DEL AGUA Y AGUAS RESIDUALES, 2da. edición, México: Limusa, 1,975.

La mayoría de desechos líquidos industriales tienen DBO muy altas pero concentraciones de CF menores que las registradas en aguas domésticas, con este hecho se puede decir que los desechos industriales constituyen un problema ecológico y los domésticos un problema de salud pública, aunque ambos contribuyen al deterioro general del recurso hídrico. Uno de los problemas más serios que se presenta es la falta de fuentes de agua libre de contaminantes para el consumo humano, y la destinada al riego de cultivos.

Cuando las aguas disponibles no cumplen con las normas de agua potable se hace necesario tratarlas y desinfectarlas, quedando la salud de las personas en manos de la institución responsable de un tratamiento que debe hacerse en forma continua y eficaz. Aquí es donde la calidad del agua depende directamente de la intervención humana, quedando latente el riesgo de una inadecuada administración. De igual manera si las aguas destinada para riego están contaminadas, la salud de los consumidores dependerá del buen manejo agrícola, del buen mercadeo y manipuleo de los productos, lo cual es evidente que no se logrará en nuestros países con higienes precarias. Toma vigencia el adagio "*mas vale prevenir que lamentar*", ya que es más efectivo erradicar las causas y no los efectos.

Existen numerosos estudios epidemiológicos que han llegado a desarrollar el concepto de "*dosis infecciosa*". La tabla No.4 presenta algunas dosis infecciosas para el hombre, de patógenos bacterianos entéricos:

TABLA No. 4 -

## DOSIS INFECCIOSA

Personas Infectadas / Total Sometidos a prueba

## Patógenos entéricos

Dosis: Organismos vivos	2	3	4	5	6	7	8	10
	10	10	10	10	10	10	10	10

## Shigela dysenteriae

- Cepa M131	2/4	7/10	5/6					
- Cepa A-1	1/4							

## Shigela flexneri

- Cepa 2A *	6/33	33/49	66/87	15/24				
- Cepa 2A **			1/4	3/4	7/8	13/19	7/8	

## Salmonella typhi

- Cepa Quailles		0/14		32/116		16/32	8/9	40/42
-----------------	--	------	--	--------	--	-------	-----	-------

Vibro Cholerae  
Cepa Inaba

- Con NaHCO <sub>3</sub>			11/13		45/52		2/2	
- Sin NaHCO <sub>3</sub>			0/2		0/4	0/4	2/4	1/2

## Enteropatógenos

- E. Coli Cepa 4608			0/5		0/5		4/8	
------------------------	--	--	-----	--	-----	--	-----	--



La tabla No.4 indica que: de 42 personas que ingirieron  $10E+10$  organismos vivos de cierta salmonella, 40 se enfermaron (es decir el 95%), de 32 personas que ingirieron  $10E+07$  organismos, 16 se enfermaron (50%) y de 14 personas que ingirieron  $10E+03$  organismos patógenos ninguna se enfermó. Lo anterior ilustra que los seres humanos no necesitan ambientes o alimentos estériles sino limpios. Individuos sanos y fuertes que han sido sometidos a exposiciones previas recientes y de baja concentración son poco susceptibles. Lo anterior explica la fragilidad de los niños ante las enfermedades infecciosas.

Una buena conclusión de lo comentado es que una de las mejores medidas de saneamiento es reducir la concentración de patógenos en el agua, en el suelo, en los cultivos y en los alimentos, implicando con esto la necesidad de impulsar una educación de prevención sanitaria o higiene básica.

Los problemas ecológicos y de salud pública han sido mejor atendidos por los países desarrollados en los cuales la población tiene más conciencia sobre sus gravedad y la capacidad de pagar el costo para resolverlos. En algunos ríos europeos y estadounidenses donde se ha intensificado el tratamiento de aguas residuales, ha vuelto a aparecer el salmón después de muchos años de ausencia.

En forma esquemática y objetiva, en el presente trabajo de tesis se define el deterioro de los recurso hídricos de la siguiente forma:

**REALIDAD ACTUAL**

- La población crece
- Las ciudades crecen
- La frontera agrícola crece
- Los recursos hídricos no crecen
- Cada día los caudales mínimos son más bajos y las avenidas más grandes

**LA CALIDAD DEL AGUA SE DETERIORA  
CADA VEZ MAS POR**

- La erosión
- Fertilizantes
- Plaguicidas
- La actividad minera
- Los residuos sólidos
- Las aguas residuales y excretas

**CONSECUENCIAS**

- Destrucción progresiva de los bosques
- Extensión de la frontera agrícola en terrenos no aptos para la agricultura
- Uso indiscriminado e irracional de fertilizantes y plaguicidas
- Descargas masivas de aguas residuales sin tratar
- Uso de aguas residuales para la agricultura sin cumplir normas sanitarias

**EJEMPLO EXPLICATIVO DEL  
DETERIORO DEL RECURSO HIDRICO**

*Si se abastece de agua a 10 millones de habitantes en Guatemala, se produce :*

1-  $10E+06 \text{ hab} * 200 \text{ lts/hab/día} = 2E+09 \text{ lts/día}$

2 millones de m<sup>3</sup>/día  
de aguas residuales

2-  $10E+06 \text{ hab} * 50 \text{ gms DBO/hab*día} = 5E+08 \text{ gms/día}$

500 toneladas de  
DBO/día

3-  $10E+09 \text{ CF/lt} = 10E+12 \text{ CF/m}^3 * 2E6 \text{ m}^3/\text{día} = 2E+19 \text{ CF/día}$

2 trillones de CF/día

**EFFECTOS DE LA POLUCION DEL AGUA  
EN LA SALUD \***

**AGENTE**

**EFEECTO EN LA SALUD**

\* Patógenos :

- Virus
- Bacterias
- Protozoos
- Helmintos



Enfermedades  
Infecciosas  
infecto-contagiosas

\* Sustancia

Tóxicas :

( en general ) ----->

Teratogenesis

- Orgánicas



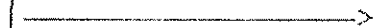
Toxicidad Aguda

- Trazas de  
Elementos



Mutagenesis y  
Carcinogenesis

- Nitratos



Efectos crónicos :  
- Cardiovasculares  
- Inmunológicos  
- Hematológicos  
- Neurológicos

- Sodio

**Nota : El exceso de nitratos produce  
metahemoglobinemia en los niños**

\* Saenz, Rodolfo. DISPOSICION DE AGUAS RESIDUALES. DETERIORO DE LOS RECURSOS HIDRICOS. Informe Técnico. División de Salud y Ambiente HPE del Estado de Washington, DC; 1,992. Perú: CEPIS, OPS, 1993. 22 pp.

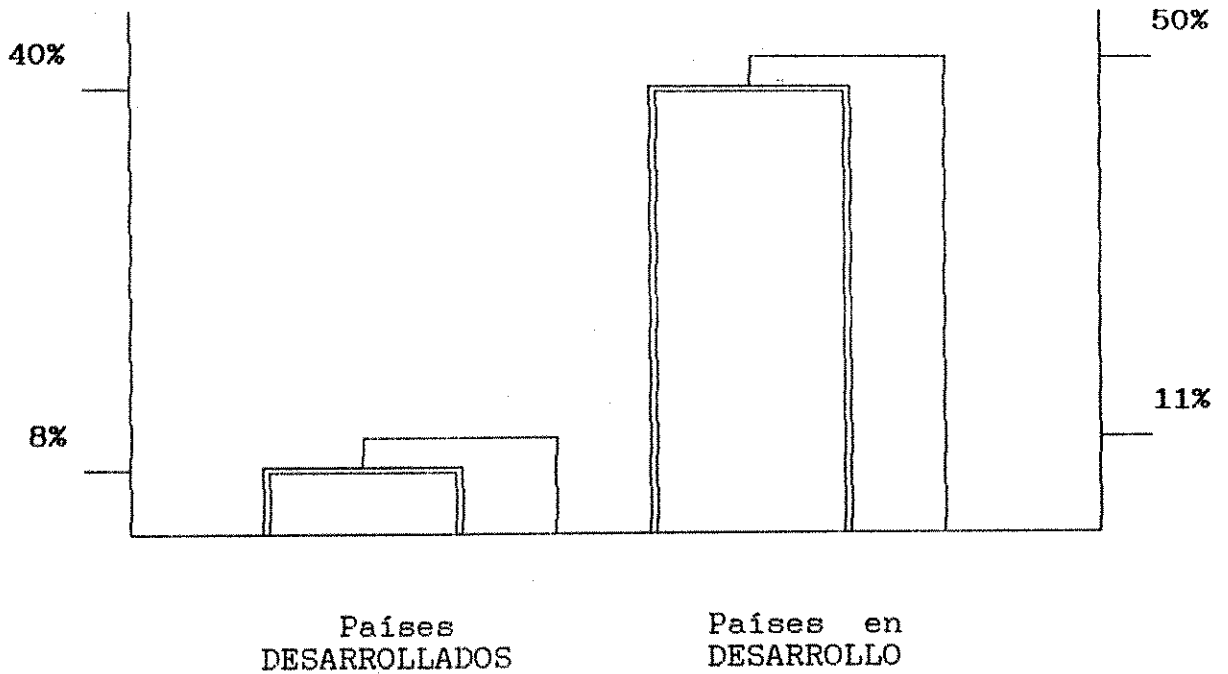
**CONSECUENCIAS DIRECTAS EN LA SALUD HUMANA A CAUSA DE LA CONTAMINACION MICROBIOLOGICA DEL AGUA \***

*Causas de MUERTE en 1,980*

*Causas de MUERTE en 1,990*

( Del 100% de las enfermedades causantes )

Enfermedades  
INFECCIOSAS Y PARASITOSIS



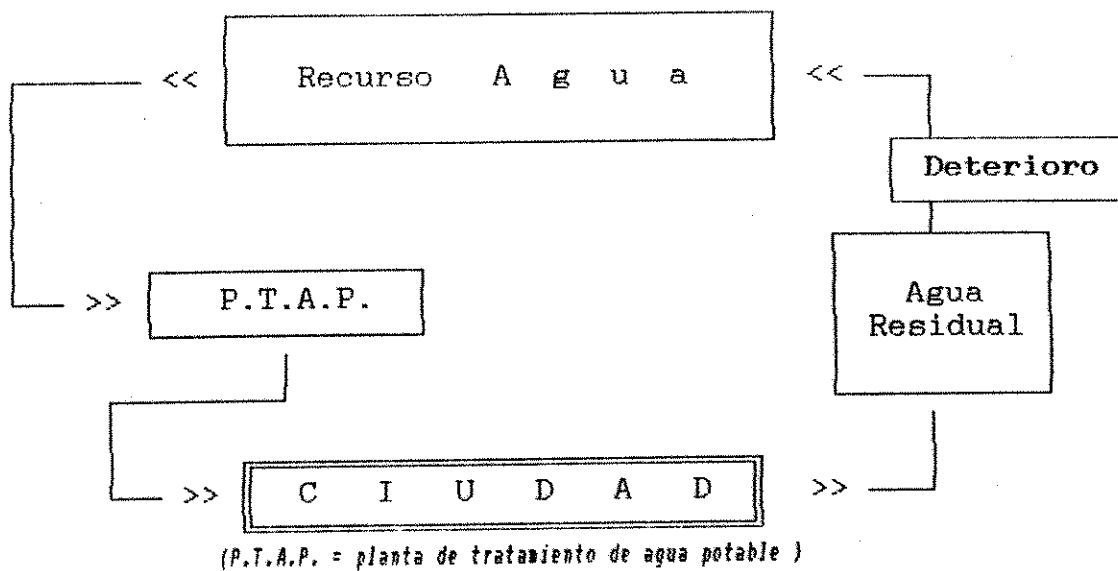
EL PORCENTAJE QUE REGISTRA MAYOR NUMERO DE MUERTES EN NUESTROS PAISES, LO CONSTITUYE EL QUE CORRESPONDE A **Enfermedades Intéricas**

\* León, Guillermo. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES. MATERIAL DIDACTICO. CEPIS. Perú: 1,993, 1997.

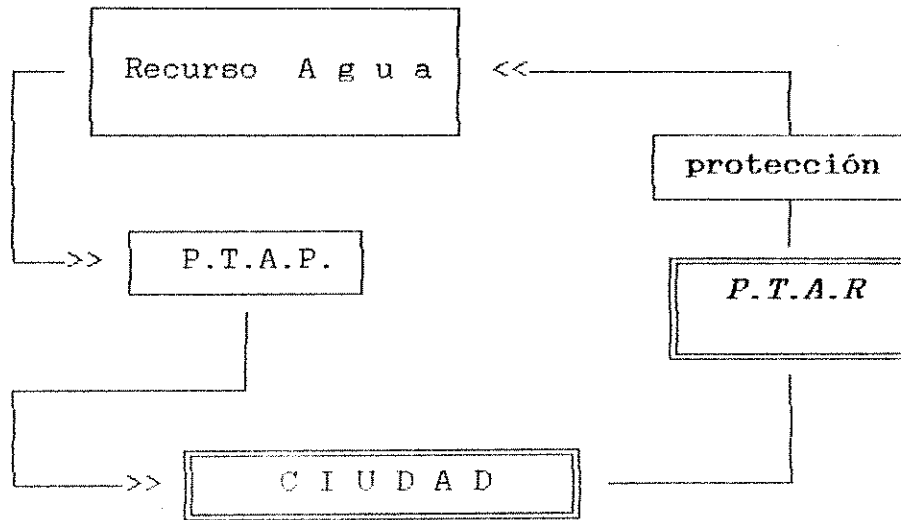
*LA PROTECCION DEL RECURSO  
A G U A                   IMPLICA*

- Definición y control del uso del suelo
- Manejo de cuencas hidrográficas
- Recuperación de cuencas
- Reforestación
- Tratamiento de desechos :
  - Industriales
  - Agroindustriales
  - Mineros
  - Domésticos
- Reuso del agua bajo esquemas sanitariamente concebidos

*UNA EMPRESA DE AGUA SE PREOCUPA POR  
ABASTECIMIENTO DE AGUA Y ALCANTARILLADO*



**UNA EMPRESA DE SANEAMIENTO SE PREOCUPA  
ADEMAS POR LA PROTECCION DEL RECURSO AGUA**



- LOS PAISES DE AMERICA LATINA, CON INGRESO PER-CAPITA MENOR A EUA \$ 2,000 AL AÑO Y CON UN CRECIMINETO URBANO ACELERADO Y PASANDO POR UNA CRISIS ECONOMICA, NO HAN LOGRADO DAR DISPOSICION ADECUADA A SUS AGUAS RESIDUALES SIN SUPERAR TAN SOLO EL 5 % RESPECTO A SU POBLACION URBANA

- Saenz, Rodolfo. DISPOSICION DE AGUAS RESIDUALES. DETERIORO DE LOS RECURSOS HIDRICOS. Informe Técnico. División de Salud y Ambiente HPE del Estado de Washington, DC; 1,992. Perú: CEPIS, OPS, 1993. 22 pp.

1.3. *ASPECTOS SOCIO-CULTURALES, ECONOMICOS Y FINANCIEROS*  
( Impacto Social ):

1.3.1. Consideraciones Socioculturales :

Las personas y las comunidades desean deshacerse de sus desechos, pues los consideran una fuente de molestias e inconvenientes, de contaminación y de riesgos sanitarios. Todos desean que se lleven su basura, ninguno acepta que se la traigan cerca para depositarla. Todos quieren deshacerse de sus aguas residuales pero ninguno acepta que se las traigan cerca o que construyan una planta de tratamiento cerca de su radio de acción.

En Costa Rica por ejemplo, el problema de la disposición de la basura adquirió dimensiones nacionales y de noticia principal en el año de 1,992, pues se dió la paradoja de que todos los municipios del país estaban de acuerdo en pagar para que se llevaran su basura a otra parte, pero no hubo un solo municipio que estuviera dispuesto a recibirla para disponerla.

Al dar un enfoque a la solución del problema, muchos proyectos para plantas de tratamiento de aguas residuales se posponen o fracasan porque los dueños y vecinos de los terrenos seleccionados para construirse se oponen a estos proyectos por temor a que las obras no se construyan bien y se operen mal, o por ignorancia sobre la importancia de las obras para el tratamiento de las aguas residuales, o bien por temor a que los efectos de tener una planta cerca de sus cultivos o propiedades les afecte debido a las posibles emanaciones de olores desagradables, la proliferación de vectores, ya que de alguna



manera la gente tiene la percepción de que las aguas residuales son dañinas y perjudiciales.

Este hecho puede provocar que los vecinos descontentos, con mayores influencias ya sea políticas o económicas, generen dentro de los pobladores una falsa expectativa promoviendo un rechazo inmediato al proyecto, sin que la población en general pueda enterarse de qué se trata y qué beneficios directos obtendrán a través de su implementación; logrando con esto una total presión sobre las autoridades locales. No se debe pasar por alto que en nuestras comunidades la voz popular unificada tiene un gran peso, de tal manera que sobrepasa, en la mayoría de los casos, la desición del gobierno local.

Por tal razón al concebir un proyecto de esta naturaleza, la entidad responsable de su realización deberá manejar una política de gestión muy discreta y cautelosa ya que no deben generar expectativas repentinas sobre la población en general. Deberá definir un mecanismo que primeramente gerencie el proyecto con las autoridades locales de la comunidad en forma confidencial. Si las autoridades locales consideran adecuado y necesario el proyecto, la entidad gestora ya sea gubernamental, privada o internacional deberá proceder hacia una segunda instancia en la cual la promoción del proyecto se deberá enfocar a las entidades o personas representativas de la comunidad, es decir, que en conjunto con las autoridades locales se expondrá el proyecto a los representantes de cada comité civico si están organizados de esta forma, al médico encargado del puesto o centro de salud si

hay disponible uno, al representante religioso de la comunidad, a la persona encargada de la oficina de trabajo social, a los propietarios de las posibles areas destinadas para implementar el sistema, etc, es decir, reunir a todas aquellas personas que tengan voz y voto de tal manera que su opinión tenga peso decisivo ante los pobladores.

Adoptando este tipo de políticas se asegurará que un proyecto de esta naturaleza sea aceptado por toda la población, o bien que desde un inicio se determine que definitivamente no es factible implemetarlo en esa comunidad por su total rechazo. De cualquier forma esto garantizará un ahorro de recursos, una inversión segura y un funcionamiento del sistema en forma continua ya que la comunidad enfrentará los posibles problemas subsiguientes en forma conjunta, pues en forma conjunta lo aceptaron.

Finalmente, bajo el concepto anterior, una vez aceptado plenamente el proyecto, no se debe olvidar que el sistema a implementar en determinado momento puede provocar un cambio en la rutina habitual de los pobladores al someterlos a cierta disciplina diaria de una adecuada recolección y disposición a nivel familiar, al control que deberán tener al no mezclar las aguas residuales con otros desechos que perjudiquen el proceso de tratamiento, a la necesidad de que realicen algún tipo de desembolso inicial para iniciar el proyecto, etc. Para esto la entidad promotora deberá estar preparada para montar una campaña educativa si fuera necesario, ya sea a nivel general o sólo a

nivel de autoridades, a elaborar manuales sencillos de operación y mantenimiento de la planta, a diseñar medios divulgativos periódicos que transmitan información relacionada con alguna modificación constructiva al sistema, con la prevención a la población en la etapa de limpieza, es decir, todos aquellos factores que representen riesgo contra el equilibrio emocional de los pobladores que pueda generar una reacción perjudicial. No es posible pretender implementar un sistema o tecnología de tratamiento de manera impositiva a determinada comunidad sólo porque técnicamente es la mejor opción, por el contrario se debe mantener vigente la premisa que determina : " el cliente (usuario del servicio) es la persona más importante y no el producto de venta ". Bajo este concepto, deberá buscarse el mecanismo de convencimiento a través del diálogo para lograr satisfacer la necesidad técnica de la comunidad, sin que esto compita con el escaso conocimiento y la idiosincrasia de los pobladores.

Tradicionalmente los países en desarrollo han procurado prohibir el reuso de las aguas residuales, por los riesgos que tal uso puede representar para la salud pública. Han sido los campesinos sin tierras de las áreas desérticas o de escasa pluviosidad los que han iniciado el uso de las aguas residuales en la agricultura, casi siempre en forma ilegal y clandestina. Son estos campesinos los que observaron con sorpresa que la producción en kilogramos por hectárea de las áreas regadas con aguas residuales tenían una productividad mucho mayor que las regadas con aguas claras.

Por otra parte los estudiosos del medio ambiente han llegado a la conclusión de que el reuso de las aguas residuales tienen muchas ventajas desde el punto de vista ambiental. El reuso disminuye la cantidad de lodos que hay que disponer, lo cual evita serios problemas, pues cada vez es menor el número de comunidades o personas que quieren manejar estos lodos. Por otra parte, el reuso hace que nutrientes que antes iban a eutroficar cuerpos receptores ahora pasen a fertilizar los cultivos o los estanques piscícolas.

Al reducir la necesidad de utilizar los fertilizantes sintéticos, disminuye el riesgo ambiental originado por su uso indiscriminado y la contaminación ambiental producto de la fabricación de estos productos agroquímicos.

Es difícil imponerle restricciones a una comunidad donde el agua es un recurso escaso en contraste con la disponibilidad de aguas residuales aparentemente productivas. No parece conveniente seguir la política tradicional de prohibir o enjuiciar a los campesinos que usan el agua residual. Es mejor política regular el reuso, educar, asesorar y aplicar tecnologías que permitan hacer un uso seguro del agua residual tratada. Sin embargo las políticas de control y sanción deberán aplicarse a los responsables generadores de las aguas residuales y no como ya se dijo, a los que las reutilizan.

### **1.3.2. Consideraciones Económicas y Financieras :**

En los países en desarrollo, la contaminación se incrementa

en forma continua, sin embargo los recursos económicos para controlarla son sumamente escasos, existiendo una desproporción entre la necesidad de inversión y la disponibilidad de la misma. Mientras que en los países desarrollados se gastan miles de millones de dólares en controlar la contaminación, en los países en desarrollo se habla de que hay que controlar la contaminación, pero es poca la disponibilidad para lograrlo. Las pocas obras que se realizan en este campo o tienen un propósito demostrativo o forman parte de un paquete integral de agua y saneamiento de una comunidad escogida como modelo para estudio tecnológico.

Como se señaló con anterioridad, menos del 5% de las aguas residuales de los países de América Latina son tratadas. Esto quiere decir que al iniciar una política de atención al problema en una forma más seria no es posible seguir el esquema de los países desarrollados adoptando e implementando tecnologías indiscriminadamente, pretendiendo agua potable y saneamiento integral en todas nuestras comunidades, sino por el contrario, deberán seleccionarse sistemas adaptables a la realidad económica y habrá que definir cuencas y subcuencas prioritarias.

Dentro de esta lista tendrán prioridad las cuencas que surtan los sistemas de abastecimiento de agua para consumo humano y las cuencas cuyas aguas son utilizadas para riego de productos agrícolas. Lo anterior permitirá que el escaso recurso que logre invertirse en este renglón sea un aporte significativo de mejoramiento al ubicar puntos estratégicos de control que abarquen zonas y regiones completas, al expandir sistemáticamente

el saneamiento. De lo contrario se podrán construir excelentes sistemas de tratamiento pero que contrarrestan el problema puntualmente sin modificar las condiciones deterioradas de los cursos hídricos en todo su entorno, ya que estas fuentes de abastecimiento por lo general se utilizan en forma compartida, por lo tanto el impacto negativo que reciben de las poblaciones también es consecutivo y acumulativo de una comunidad a otra. Lo anterior dará como consecuencia que no se optimice y sea mal invertido el escaso recurso al no tener consistencia la protección del cuerpo receptor.

Las aguas residuales constituyen un problema sanitario, pero a su vez es un recurso muy valioso, sumamentepreciado para el riego y la agricultura. Los nutrientes presentes en las aguas residuales tienen valor como fertilizantes y aumentan el rendimiento de los cultivos. Aún el agua misma tiene un gran valor económico en áreas desérticas o con estiajes prolongados; es decir que el uso de las aguas residuales puede dar grande beneficios económicos si se hace en forma adecuada, tomando en cuenta todas las precauciones recomendables, de tal manera que este hecho real puede ser un factor determinante a favor para que el proyecto se realice bajo el concepto de aceptabilidad. Si el uso de aguas residuales se hace en forma equivocada también puede traer consecuencias catastróficas a la economía.

Dentro los aspectos negativos que pueden ocasionar el uso inadecuado de las aguas residuales están los brotes de epidemias, el deterioro de los suelos fértiles o cultivables, la

contaminación del producto final cosechado, por consiguiente la diseminación de microorganismos a través del manejo, venta y consumo de los mismos.

La justificación económica de un proyecto de reuso de aguas residuales, requiere la ponderación de los costos y beneficios marginales que ocurrirán en la vida útil del mismo.

En la práctica es difícil cuantificar en un equivalente monetario los beneficios ocasionados por el mejoramiento de las condiciones sanitarias y una mejor protección del ambiente. Un error que se comete con mucha frecuencia es ponderar sólo los ingresos esperados del proyecto a través de tarifas, tasas y cánones, sin considerar como beneficio la disminución en costos asistenciales, tiempo perdido y dolor humano como consecuencia de un proyecto de saneamiento.

Uno de los grandes problemas que se confronta en relación con el tratamiento de las aguas residuales es el de tipo económico. La mayoría de las tecnologías de tratamiento utilizadas fueron implementadas por países altamente industrializados y desarrollados. Estos países logran tratar las aguas residuales a través de procesos de clarificación sucesiva seguidos de una desinfección final. Esta tecnología requiere de una inversión del orden de EUA \$ 250 / habitante. Esto es posible si el producto per cápita anual es mayor a EUA \$ 16,000.\*

En contraste con los países en desarrollo cuyo ingreso

\* Saenz, Rodolfo. ASPECTOS SOCIO-CULTURALES, ECONOMICOS Y FINANCIEROS. Informe Técnico. División de Salud y Ambiente HPE del Estado de Washington, DC; 1,992. Perú: CEPIS, OPS, 1993. 22 pp.

percápita anual es menor a EUA \$ 3,000, la tecnología anteriormente descrita resulta muy costosa, aún más, no se ha logrado adaptar en su totalidad al contexto de la región y en los casos en los cuales se ha implementado, ha funcionado con grandes dificultades en forma deficiente y en algunos casos, ha quedado fuera de operación, colapsando por problemas de manejo. Si las empresas de agua y saneamiento pretenden hacer frente al problema del saneamiento básico mediante la recuperación de los costos a través de tarifas, éstas tendrían que duplicarse o triplicarse, debido a la gran inversión que debería aplicarse al tener que suplir la gran demanda de protección y recuperación por el excesivo deterioro, con el consiguiente riesgo de la perturbación de la paz social y la estabilidad de las mismas empresas.

En la Tabla No.5 se hace una comparación entre el producto per cápita anual en un grupo de países industrializados y un grupo en países en vías de desarrollo.

En el mejor de los casos la economía de los países en vías de desarrollo es del orden de 1/10 de la economía de los países industrializados, lo que explica en parte por que funciona tan mal en los países de escasos recursos la tecnología para el tratamiento de aguas residuales desarrollada en los países con altos recursos.



TABLA No.5 -

**PRODUCTO PER CAPITA EN 1,990**  
( EUA \$ )

<i>Paises Industrializados</i>	<i>A</i>	<i>Paises en Desarrollo</i>	<i>B</i>	<i>Relación A/B</i>
Finlania	\$ 26,070.00	México	\$ 2,490.00	10.5
Japón	\$ 25,430.00	Belice	\$ 1,970.00	12.9
Alemania	\$ 22,730.00	Costa Rica	\$ 1,910.00	11.9
U S A	\$ 21,700.00	Panamá	\$ 1,830.00	11.9
Canada	\$ 20,450.00	El Salvador	\$ 960.00	21.3
Francia	\$ 19,480.00	<b>GUATEMALA</b>	<b>\$ 900.00</b>	<b>(1) 21.6</b>
Holanda	\$ 17,330.00	R. Dominicana	\$ 820.00	21.1
Italia	\$ 16,850.00	Honduras	\$ 590.00	28.6
Reino Unido	\$ 16,070.00	Nicaragua	\$ 460.00	34.9

(1) Cada individuo francés percibe un ingreso anual equivalente al de 21.6 individuos guatemaltecos.

- Saenz, Rodolfo. ASPECTOS SOCIO-CULTURALES, ECONOMICOS Y FINANCIEROS. Informe Técnico. División de Salud y Ambiente HPE del Estado de Washington, DC; 1,992. Perú: CEPIS, OPS, 1993. 22 pp.

Lo anterior refleja un aspecto de la realidad económica de nuestros habitantes ya que medianamente poseen el recurso para suplir sus necesidades básicas. Este hecho debe generar nuevas políticas en la introducción de saneamiento a una comunidad. Dentro de los aspectos que se consideran importantes tomar en cuenta se puede mencionar el hecho de que al promover y gerenciar un proyecto de tratamiento de aguas residuales, se deberá enfatizar que en la medida que se proteja y se mejoren las características de las fuentes de agua, mejorará la calidad del suministro de agua potable, por consiguiente será mucho más sencillo incrementar el abastecimiento del servicio en cantidad y calidad al poseer fuentes cada vez en mejores condiciones.

La mayoría de las personas no están muy de acuerdo en pagar tasas por servicio de alcantarillado, limpieza de calles, etc., pero si están dispuestos a pagar la tasa por el servicio de agua. Si los pobladores ven el proyecto enfocado a un mejoramiento del agua potable es probable compartir los costos del proyecto de tratamiento de las aguas residuales incrementando en un porcentaje el servicio de agua potable para subsidiarlo.

Un proyecto de este tipo representa una inversión que por lo general sobrepasa la capacidad económica de respuesta inmediata de las autoridades locales, e incluso algunas de ellas no poseen la capacidad de financiar ni siquiera el costo de su planificación y diseño. Por tal razón el ingeniero diseñador o la entidad promotora deberá tener la capacidad de fraccionar el proyecto en varias etapas, de tal manera que al seleccionar cada

una de ellas, sean técnicamente factibles poder ejecutarlas sin alterar el funcionamiento esperado del sistema, con el propósito que sea accesible para las autoridades interesadas ( que en términos de nuestras comunidades son las corporaciones o gobiernos municipales ), el poder financiar el proyecto en varias fases o etapas que representarán una inversión fraccionada, es decir desembolsos a plazos y mucho más accesibles. Otra posible solución puede ser la promoción de la activa participación de la comunidad bajo un plan compartido de ejecución en el cual la población aporta la mano de obra ( hasta donde sea posible ), las autoridades locales los materiales y las entidades gubernamentales o internacionales la supervisión profesional. Esto permitirá reducir los costos en los renglones de mano de obra y costos indirectos de supervisión, reduciendo así el costo total del proyecto.

Es el criterio económico, combinado con el uso de tecnologías apropiadas el que permitirá desarrollar una modalidad de sistemas para el tratamiento de las aguas residuales que esté al alcance de las poblaciones con la versatilidad del diseñador al ser capaz de modificar o reducir, si fuera necesario su modelo o sistema propuesto con el único propósito de que pueda realizarse el proyecto y que no sea eliminado por aspectos financieros.

### 3.3. Consideraciones Institucionales :

El reuso de las aguas residuales será en la mayoría de los

casos una decisión de la población. Será la comunidad la cual, según las circunstancias, decidirá aprovechar o no las aguas residuales para un uso posterior en riego, industria, acuicultura, etc. La misión del Estado es legitimar esta decisión y velar que cuando el reuso se realice, sea bajo patrones de seguridad, así como del control de las descargas bajo normas mínimas de aceptación en el tratamiento.

Se conocen muchos casos donde el estado ha prohibido el reuso y ha encarcelado a los campesinos que usan el agua residual en forma clandestina. Si bien la acción coercitiva policial puede ser necesaria y justificable en situaciones de emergencia, la solución a largo plazo depende del establecimiento y buen funcionamiento de una infraestructura institucional reguladora del reuso.

Para lograr consolidar el buen manejo de las aguas residuales, la protección de los recursos hídricos y un reuso sanitario es necesario que concurren múltiples factores de ordenamiento, algunos de los cuales se mencionan a continuación :

- *Legislación completa y actualizada.*
- *Normas y reglamentos adecuados.*
  
- *Instituciones sólidas con competencia bien definida en los campos de salud, agricultura, protección de recursos hídricos y saneamiento básico, que actúen coordinadamente.*

- *Monitoreo continuo de la calidad del agua que se está aplicando en los campos de riego y de la calidad microbiológica y toxicología de los productos agrícolas en el surco, y en las etapas de cosecha, transporte, mercadeo y entrega al consumidor.*
  
- *Tecnologías de tratamiento de aguas residuales que funcionen de una manera confiable.*
  
- *Solidez económica y financiera en el funcionamiento de las instituciones competentes, las cuales pueden obtener los recursos a través del cobro de tarifas por la recolección y tratamiento de las aguas residuales, de cánones de riego y de tasas por el suministro y protección de los recursos hídricos, a través de préstamos internacionales, y del adecuado control sobre el manejo de los fondos propios.*

## CAPITULO 2

### AGUAS RESIDUALES

#### 2.1. CLASIFICACION :

En la naturaleza el agua pasa por un curso natural y continuo, como consecuencia de la evaporación y la precipitación, es decir el ciclo hidrológico del agua, que en esencia es el proceso de lluvias, el escurrimiento superficial, la infiltración la evaporación producto de la radiación solar y condiciones atmosféricas, la formación de nubes y nuevamente lluvias.

Durante este ciclo, el hombre utiliza el agua con diversos propósitos para satisfacer sus necesidades ( abastecimiento de agua potable, irrigación, etc ) y desarrollarse ( navegación, obras hidráulicas de ingeniería, recreación, etc. ); de tal manera que se definen dos etapas en este proceso: la etapa de aprovechamiento y la etapa de evacuación o retorno.

La consecuencia lógica de la etapa de retorno, es un producto o desecho de las aguas ya utilizadas. Una característica de estas aguas de desecho es que poseen una alteración en sus propiedades cualitativas ( físico-químicas y microbiológicas ), debido precisamente a ese uso, de tal manera que se convierten en aguas contaminadas, por consiguiente en un producto contaminante para los cuerpos en donde serán vertidas. Del hecho anterior surge el concepto de " **aguas residuales** ", o bien residuos líquidos, aguas servidas, aguas negras, cloacales, etc. En la mayoría de los casos, un alto porcentaje de las aguas utilizadas en cualquier proceso retorna como desecho a los cursos naturales

de donde fue tomada. Lo anterior obliga a definir y diferenciar los diversos tipos de aguas residuales que pueden presentarse, para aplicar un adecuado control de acuerdo a su origen y composición.

#### **2.1.1. Aguas Residuales Domésticas :**

Son las que provienen de viviendas unifamiliares, multifamiliares, edificios en condominio, edificios públicos y otras instalaciones de uso intermitente. Se originan como producto de la preparación de alimentos, lavado de los utensilios de cocina y vajillas, limpieza de la casa, lavado de la ropa, higiene personal, uso del inodoro, lavado del excremento de animales domésticos, limpieza de calles, el lavado de automóviles y control de incendios.

#### **2.1.2. Aguas Residuales Comerciales :**

Son las que provienen de locales comerciales como: la venta de carnes, aves, pescado, venta de frutas y verduras, cafeterías, mercados cantonales, salones de belleza, pequeñas industrias artesanales conectadas, etc.

También se incluyen todas aquellas instalaciones de recreación tales como centros turísticos, hoteles, piscinas, campamentos, etc. La composición de estas aguas es similar a las domésticas, con la variante que el caudal comercial es generalmente mayor que el doméstico por el consumo continuo de agua potable en las horas hábiles de labores.

### 2.1.3. Aguas Residuales Industriales :

Son las producidas por todo tipo de industrias de diversas actividades. Estas son consecuencia de la actividad productiva en sí, es decir, que se generan durante el ciclo o proceso de producción. Pueden mencionarse las industrias de procesamiento de alimentos, licores, plásticos, jabones y detergentes, etc.

### 2.1.4. Aguas Residuales Agrícolas :

Son las provenientes de la crianza de ganado, del procesamiento de productos animales y del cultivo y cosecha de productos agrícolas.

### 2.1.5. Aguas de Infiltración :

Provenientes de sistemas de drenajes auxiliares, tuberías de desagüe y del descenso artificial del nivel de las aguas subterráneas, que ingresan a la red de alcantarillado.

### 2.1.6. Aguas de Lluvia :

Son un aporte significativo en los sistemas de alcantarillado sanitario que ingresan ilícitamente, incrementando el caudal en el emisor. Este hecho también se registra en los sistemas generales de alcantarillado combinado de la población.

Estos diferentes tipos de aguas residuales reciben en conjunto la denominación de " aguas residuales municipales " ya que están presentes en los sistemas de alcantarillado de las



ciudades y sus municipios. Sin embargo en términos de la mayoría de nuestras comunidades, no es así, ya que por lo general no se registran aguas de tipo industrial en la red de alcantarillado.

A continuación se presenta en forma porcentual, como un parámetro comparativo ( para evaluar el comportamiento básico en términos de composición ), la cantidad de aguas residuales registradas en Alemania a nivel de la ciudad, en la tabla No.6

**TABLA No.6**

***CANTIDAD DE AGUA RESIDUAL TOTAL Y MUNICIPAL -***

<b>AGUAS RESIDUALES DE DIFERENTES PROCEDENCIAS</b>	<b>Porcentaje</b>
- Aguas residuales municipales	32 %
- Aguas residuales industriales	47 %
- Aguas residuales agrícolas	1 %
- Escorrentía de aguas de lluvia en areas con sistema de alcantarillado	20 %
TOTAL	100 %
<b>AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES</b>	<b>Porcentaje</b>
- Aguas residuales domésticas	50 %
- Aguas de infiltración	14 %
- Aguas residuales comerciales e industriales	36 %
TOTAL	100 %

= Schneider, W. et.al. *MANUAL DE DISPOSICION DE AGUAS RESIDUALES. ORIGEN, DESCARGA, TRATAMIENTO Y ANALISIS DE LAS AGUAS RESIDUALES.* CEPIS, Lima, Perú: 1,991. Editado por CEPIS, OPS, ONS, por encargo de GTZ GmbH, 1,991.

De la tabla anterior es evidente que del registro a nivel de aguas residuales de diferentes procedencias, el porcentaje mayor corresponde a las descargas industriales debido a las condiciones de desarrollo de ese país. Sin embargo el registro de las aguas residuales a nivel municipal ( del mismo país ), refleja un 50% de aguas de tipo doméstico, en contraste con un 36% compartido de aguas comerciales e industriales, lo cual respalda el comportamiento y la tendencia de las aguas residuales municipales antes descrito en cuanto a su composición.

También es importante señalar que la cantidad de estas aguas residuales dependerá de la capacidad económica de la población para proporcionar el servicio adecuado y continuo de agua, ya que el retorno de aguas residuales es proporcional al suministro de agua potable. En países desarrollados la dotación promedio se estima en 350 litros/hab/día, en contraste con los países de América Latina cuya dotación promedio está en 150 l/h/d.\*

Para poder generar una tabla que refleje las mismas características de composición de las aguas residuales para Guatemala, se deben tomar en cuenta las siguientes condicionantes:

a) El comportamiento de las aguas residuales industriales varía notablemente en la ciudad capital con respecto a los departamentos. En la mayoría de los departamentos no se encuentran localizadas muchas industrias, y las que se encuentran

\* Schneider, W. *et.al.* MANUAL DE DISPOSICION DE AGUAS RESIDUALES. ORIGEN, DESCARGA, TRATAMIENTO Y ANALISIS DE LAS AGUAS RESIDUALES. CEPIS, Lima, Perú 1,991. Editado por CEPIS, OPS, ONS, por encargo de GTZ GmbH, 1,991.

generalmente descargan sus aguas residuales en forma directa al cuerpo receptor sin ingresar al colector municipal. La concentración de industrias se localiza en la ciudad capital, tanto en la cuenca del pacífico como en la del atlántico, drenando sus aguas residuales en forma directa a los cuerpos receptores, en su mayoría.

b) Las aguas residuales a nivel de los municipios o departamentos de la república, generalmente están compuestas de aguas de origen doméstico, comercial, aguas de infiltración y conexiones ilícitas de aguas de lluvia.

c) Se fijará una dotación de agua potable y condiciones de vida predominantes para el área rural y condiciones de clima templado/cálido.

e) Las aguas residuales agrícolas se consideran despreciables para este cálculo, por las condiciones del bajo desarrollo agrícola que se centra en una producción sobre la cubierta vegetal de las áreas destinadas para el cultivo mediante la fuerza humana y el riego directo de agua para su siembra, cultivo y cosecha, generando un retorno de agua casi nulo.

En la tabla No.7 se presenta la composición y cantidad estimada de aguas residuales a nivel municipal o del área rural para Guatemala.

TABLA No. 7

---



---

**CANTIDAD DE AGUA RESIDUAL MUNICIPAL ESTIMADA PARA GUATEMALA ■**

---



---

AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES	Porcentaje
Aguas domésticas	65 %
Aguas comerciales	10 %
(1) Aguas de infiltración	7 %
(2) Conexiones ilícitas	18 %
TOTAL	100 %

---

(1) este porcentaje estará en función directa de la impermeabilidad del material utilizado y del nivel de la napa freática.

(2) las conexiones ilícitas producto de las aguas de lluvia, en casos especiales se han registrado con porcentajes que representan desde el 50% hasta el 75% del caudal municipal en época de inundaciones.

---

■ Instituto de Fomento Municipal INFOM, CRITERIOS DE DISEÑO PARA PROYECTOS SANITARIOS. Borrador para Discusión, Sección de Alcantarillados, Departamento de Proyectos Sanitarios. Guatemala, 1,992

Otro aspecto que determina la cantidad de aguas residuales en la red de alcantarillado es el tamaño de la población. Se ha determinado que poblaciones pequeñas generan menos caudal y a medida que la población crece, el retorno de aguas residuales se incrementa ( asumiendo una dotación continua ).

En la tabla No.8 se refleja la tendencia del caudal de aguas residuales, en relación al tamaño de la población, utilizando como parámetro a países con alto nivel de desarrollo :

TABLA No. 8

<i>Tamaño de la Población en habitantes</i>	<i>Cantidad de Agua Residual</i> ■ <i>( litros/hab/día )</i>
< 5,000	150
5,000 - 10,000	180
10,000 - 50,000	220
50,000 - 250,000	250
> 250,000	300
	( valores promedio )

■ Schneider, W. *et. al.* MANUAL DE DISPOSICION DE AGUAS RESIDUALES. ORIGEN, DESCARGA, TRATAMIENTO Y ANALISIS DE LAS AGUAS RESIDUALES. CEPIS. Lima, Perú: 1,991. Editado por CEPIS, OPS, ONS, por encargo de GTZ GmbH, 1,991.

El comportamiento que refleja la tabla anterior se debe en gran parte a las condiciones de vida de los pobladores, es decir, sus costumbres y hábitos. Comunidades pequeñas tienden a tener regímenes de vidas más simples, desarrollando menos actividades durante el día que demanden el uso de agua en grandes cantidades.

## 2.2. CARACTERIZACION :

### 2.2.1. Generalidades :

Para tener éxito en el control de la calidad de las aguas, es necesario conocer las propiedades susceptibles de cambio en las diversas formas existentes en la tierra y cómo las utiliza el hombre. Por lo tanto, se examina el agua para identificar sus propiedades sobresalientes y en caso necesario, saber si se pueden modificar para mejorar su calidad. Esta deberá ser una actividad prioritaria que implique tanto la administración diaria de una fuente de agua determinada y de su utilización, con o sin purificación, para fines municipales o industriales y la observación y control repetidos de las aguas residuales, con o sin tratamiento, para la conservación del recurso hídrico al que se vierte o retorna el agua residual.

Las propiedades del agua residual, en este caso municipal varían en relación con su procedencia y uso longitudinal en su flujo o trayectoria ( a través de las obras de captación y evacuación ), con respecto a la hidrología y condiciones climatológicas locales, en función de las características propias de la población que las genera, sus hábitos y costumbres cotidianas, así como sus actividades principales que implican el desenvolvimiento como sociedad que persigue un desarrollo a todo nivel. De esta cuenta las características del agua residual de una población pueden variar dependiendo de la época del año, durante la semana, el día y la noche.

En épocas de invierno pueden registrarse caudales mayores de

agua residual debido a la fusión con aguas de lluvia, de tal manera que se produce una dilución en la concentración de las aguas residuales en el emisor. Sin embargo en épocas de verano los caudales residuales disminuyen y la concentración del agua residual aumenta al registrarse básicamente el mismo aporte de residuos y materia ( por parte de la población ) con menor cantidad de agua para evacuarla. Este fenómeno se debe, en muchos de los casos, al racionamiento del servicio de agua potable para la población, ya que el abastecimiento debe dosificarse por ser una época seca. Durante la noche, la concentración de residuos desciende de manera significativa, lógicamente porque la producción de residuos disminuye, pero también se debe en gran medida al hecho que se depositan en los colectores por el caudal mínimo que circula en esas horas. En la mañana, al aumentar el volumen de agua y la carga hidráulica, estos depósitos son arrastrados por el flujo, con lo cual las concentraciones y el caudal residual aumentan considerablemente.

#### 2.2.2. Composición de las Aguas Residuales :

Las aguas residuales municipales, son líquidos turbios que contienen material sólido en suspensión. Cuando son frescas, su color es gris y tienen un olor a moho ligeramente intenso, pero no ofensivo. Flotan en ellas cantidades variables de materia, sustancias fecales, trozos de alimentos, basura, papel y otros residuos provenientes de las actividades cotidianas, es decir, que la composición de éstas aguas se determina por:

- La composición original del agua.
- Los residuos y desechos vertidos al sistema de alcantarillado provenientes de viviendas, comercios, y actividades artesanales.
- Sustancias arrastradas por el agua de la superficie del suelo o infiltradas a la red de alcantarillado en forma no controlada.

Esta variedad de sustancias pueden condensarse en cuatro valores característicos con respecto a su importancia en los sistemas de tratamiento y disposición final. La clasificación de las sustancias o sólidos que contiene el agua, en sólidos suspendidos ( a su vez sólidos sedimentables y flotantes ), sólidos disueltos y totales, ha demostrado ser útil y práctica para caracterizar las aguas residuales en función del contenido de materia. La cantidad de sólidos es generalmente muy pequeña, casi siempre menos de 0.1 % en peso, pero es la fracción que representa una dificultad para su adecuado tratamiento y disposición. El agua provee solamente el volumen y es el vehículo para el transporte de los mismos.

Los sólidos presentes en las aguas residuales, pueden clasificarse en dos grupos generales según su composición o condición física. De esta cuenta se tienen sólidos orgánicos e inorgánicos, a su vez suspendidos y disueltos. La cantidad presente de estos sólidos en las aguas residuales le dan

• Hilleboe, Herman. *MANUAL DE TRATAMIENTO DE AGUAS NEGRAS*. Décima edición. México: Editorial Limusa, 1,990.



características de ser aguas altamente concentradas o no, según el aporte de la comunidad que las genera. El componente orgánico es de especial importancia para los procesos de descomposición en los sistemas de tratamiento de aguas residuales y su disposición final. Este componente se mide mediante los parámetros definidos como demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y demanda química de oxígeno (DQO), provocados por los compuestos orgánicos, es decir, que el grado de contaminación de las aguas residuales se presenta utilizando criterios tales como la DBO, la DQO, el contenido de nitrógeno amoniacal, el carbono orgánico total (COT) y la demanda total de oxígeno (DTO).

La DBO, o demanda bioquímica de oxígeno, es la cantidad de oxígeno requerido por los microorganismos para estabilizar la materia orgánica biodegradable en 20 días, a una temperatura de 20°C. Se le designa como DBO última de primera etapa o  $DBO_{20}$ . También es común determinar la  $DBO_5$  (en cinco días). En las aguas residuales domésticas existe una cierta relación entre la  $DBO_5$  y la  $DBO_{20}$ . Además de la demanda bioquímica de oxígeno  $DBO$ , que para efectos de cálculos y diseño se seleccionará la  $DBO_5$  (a los 5 días); la carga contaminante de las aguas residuales también puede expresarse mediante la DQO (demanda química de oxígeno). Esta representa el oxígeno requerido para la oxidación química de los constituyentes orgánicos e inorgánicos. El carbono orgánico total (COT) en aguas residuales es sólo una parte de la contaminación presente. El contenido de nitrógeno amoniacal constituye un parámetro adicional de contaminación.

Estas aguas también contienen incontables organismos vivos, la mayoría de los cuales son demasiado pequeños para ser visibles, excepto bajo el microscopio. Son la parte viva natural de la materia orgánica que se encuentra en las aguas residuales y su presencia es de suma importancia porque son un factor determinante en el proceso de tratamiento y el éxito del mismo, en términos de calidad final, a través de la degradación de la materia orgánica como inorgánica biodegradable.

Estos organismos microscópicos vivos suelen ser bacterias y otros organismos vivos más complejos. Existe otra forma de vida en las aguas residuales y es la de los virus, éstos son todavía más pequeños que cualquiera de los microorganismos y demasiado pequeños para ser observados por el microscopio ordinario. No tienen un papel importante en el proceso de descomposición de la materia como el realizado por las bacterias antes mencionadas. Su importancia estriba en que son microorganismos patógenos causales de las enfermedades entéricas y gastrointestinales, los cuales deben controlarse y eliminarse mediante algún proceso de decaimiento o mortandad inmediata, ya que representan un peligro a nivel de salud pública. Se incluye en esta clasificación el grupo de las bacterias coliformes.

Adicionalmente las aguas residuales contienen pequeñas y variables concentraciones de gases disueltos. El más importante es el oxígeno presente en el agua original antes de ser utilizada y disuelto al entrar en contacto con el aire. Además puede encontrarse bióxido de carbono, que resulta de la descomposición

de la materia orgánica, el nitrógeno disuelto de la atmósfera, el ácido sulfhídrico que se forma por la descomposición de los compuestos orgánicos y ciertos compuestos inorgánicos del azufre. Aunque estos gases están presentes en pequeñas cantidades, su función es importante en la descomposición y tratamiento de los sólidos e indican el progreso o avance de este tratamiento.

Los nutrientes como el fósforo, nitrógeno, potasio, etc., también están presentes en las aguas residuales municipales, incluidos en la materia orgánica y algunos compuestos inorgánicos, los cuales estimulan el crecimiento de una variedad de plantas y algas, produciendo así una contaminación secundaria. Otros contaminantes ( metales pesados, sustancias tóxicas, biocidas, etc.) que se encuentran en pequeñas cantidades, cobran cada vez mayor importancia para la protección del recurso agua.

### 2.2.3. Clasificación de los Sólidos :

#### a. *Sólidos Orgánicos* :

En general son de origen animal o vegetal, que incluyen los productos de desecho de la vida animal y vegetal, la materia animal muerta, organismos o tejidos vegetales y algunos compuestos orgánicos sintéticos. Son sustancias que contienen carbono, hidrógeno y oxígeno, pudiendo estar combinados algunos de éstos con nitrógeno, azufre o fósforo. Los grupos principales son las proteínas, los hidratos de carbono y las grasas . Están sujetos a degradación o descomposición por la actividad de las bacterias y otros organismos vivos, además son combustibles.

*b. Sólidos Inorgánicos :*

Son sustancias inertes que no están sujetas a la degradación. Ciertos compuestos minerales hacen la excepción a estas características, como los sulfatos, los cuales, bajo ciertas condiciones pueden descomponerse en sustancias más simples como sucede en la reducción de los sulfatos a sulfuros. A estos sólidos se les conoce como sustancias minerales tales como la arena, la grava, el cieno, sales minerales, etc. Por lo general no son combustibles.

*c. Sólidos Suspendidos :*

Son aquellos que están en suspensión y que son perceptibles a simple vista en el agua residual, pueden separarse de las aguas residuales mediante precipitación por medios físicos o mecánicos. Se incluyen aquí las partículas flotantes mayores que consisten en arena, polvo, arcilla, sólidos fecales, papel, partículas de alimentos, basuras y otros materiales similares. Están constituidos por un 70% de sólidos orgánicos y un 30% de inorgánicos, siendo la mayor parte de éstos últimos, arenas y polvo. A su vez los sólidos suspendidos se dividen en dos partes, sólidos sedimentables, que son la porción cuyo tamaño y peso es suficiente para que se sedimenten en un periodo determinado de tiempo, que generalmente es de una hora en la prueba en campo o de laboratorio del cono IMHOFF, y sólidos coloidales que se definen como la diferencia entre los sólidos suspendidos totales y los sólidos suspendidos sedimentables.

En términos generales representan el 40% de los sólidos suspendidos que no pueden eliminarse fácilmente recurriendo a procesos físicos o mecánicos. Su composición es orgánica en dos terceras partes, e inorgánicos en el tercio restante, están sujetas a una rápida degradación por lo que son un factor importante en el tratamiento de las aguas residuales.

*d. Sólidos Disueltos :*

Por regla general, los sólidos disueltos provienen de sales inorgánicas, su tamaño es extremadamente pequeño, no son visibles a simple vista, y no pueden ser removidos del agua residual por los métodos físicos convencionales de tratamiento. Consisten principalmente en carbonatos, bicarbonatos, cloruros, sulfatos, nitratos, sodio, potasio, hierro y manganeso.

*e. Sólidos Totales :*

Como lo indica el mismo término, bajo este nombre se distinguen todos los constituyentes sólidos de las aguas residuales. Son la totalidad de sólidos orgánicos e inorgánicos, suspendidos y disueltos. En las aguas residuales municipales domésticas de composición típica o promedio, cerca del 50% son orgánicos, el otro 50% son inorgánicos, aproximadamente dos terceras partes están en solución y una tercera parte en suspensión. El 50% de sólidos orgánicos que está sujeto a degradación es el que constituye uno de los objetivos del tratamiento. A continuación se presenta su composición básica.

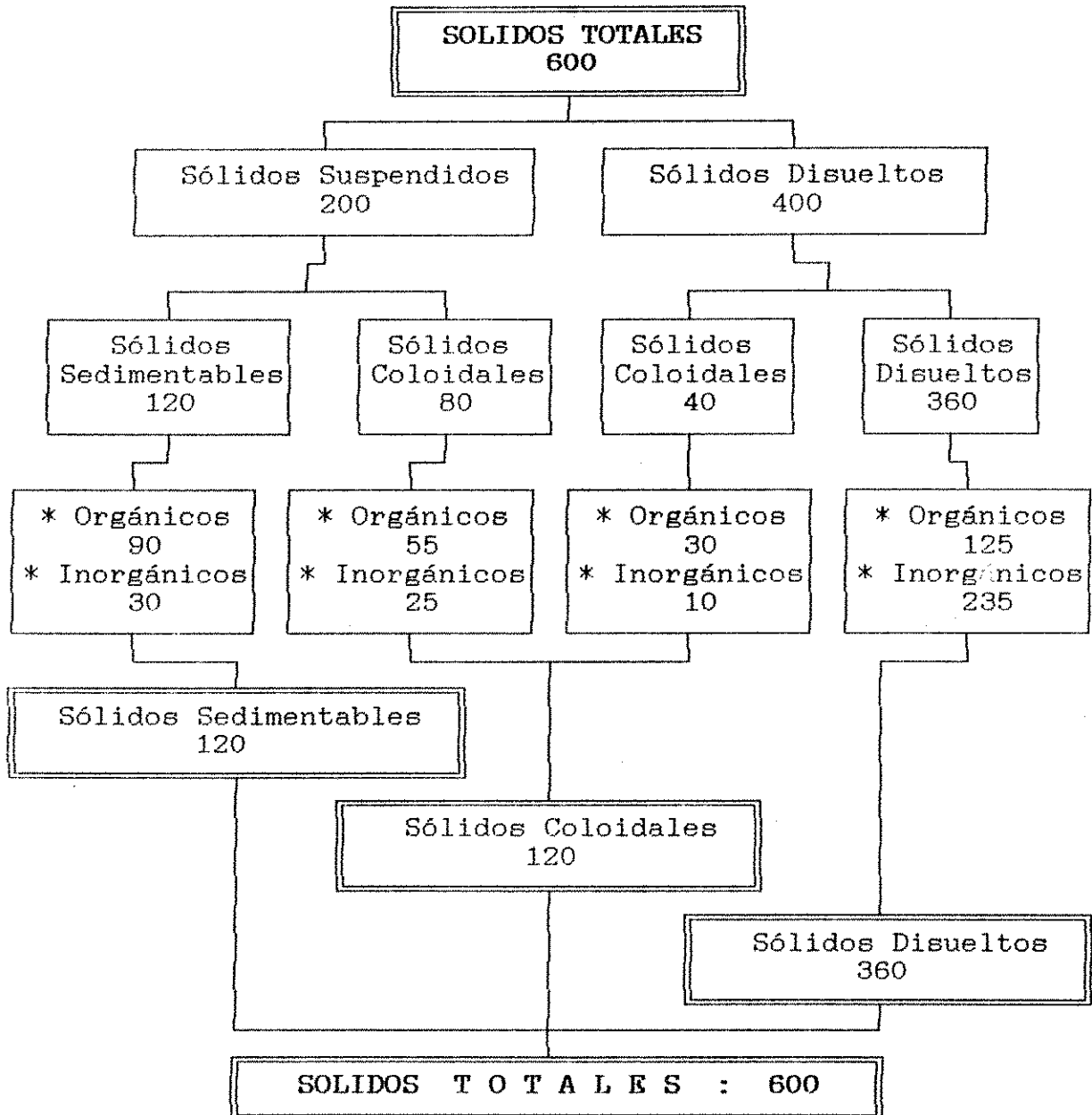
TABLA No. 9 -

---

**SOLIDOS CONTENIDOS EN UNA MUESTRA DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES**


---

( Cifras indican partes por millón )



= Hilleboe, Herman. MANUAL DE TRATAMIENTO DE AGUAS NEGRAS. Décima edición. México: Editorial Limusa, 1,990.

Las cantidades (en porcentajes) de sólidos definidos en la tabla No.9 corresponden a una muestra puntual y definida, por lo que no podrán aplicarse igualmente a las aguas residuales de diversos tipos con diferentes características.

#### 2.2.4. Análisis Microbiológico :

Desde el punto de vista bacteriológico, que representa un aspecto de suma importancia a nivel de salud pública, los organismos microscópicos pertenecen a dos tipos generales que son las bacterias y organismos vivos más complejos.

##### a. *Bacterias* :

Son organismos vivos de tamaño microscópico que constan de una sola célula, y su proceso vital así como sus funciones, son similares a las de los vegetales. Algunas bacterias son móviles, es decir, que son capaces de moverse libremente por su propia fuerza, y otras son inmóviles. Las bacterias requieren como todo organismo vivo, alimento, oxígeno y agua y sólo pueden subsistir si el medio ambiente les provee para suplir estas necesidades. Como resultado de sus procesos vitales, las bacterias dan origen a su vez, a productos de desecho. Las bacterias se dividen en dos grupos principales : parásitas y saprófitas.

##### a.1. *Bacterias Parásitas* :

Son las que viven a expensas de otro organismo vivo llamado huésped, por que necesitan recibir el alimento ya preparado para

consumirlo y generalmente no se desarrollan fuera del cuerpo del huésped. Proviene por lo general del tracto intestinal de las personas y de los animales cuyas deyecciones se recolectan en la red de alcantarillado y se vierten al sistema de tratamiento.

Una variedad de éstas se conocen como bacterias patógenas y estarán presentes en las aguas residuales que reciban las excretas de personas afectadas por enfermedades como fiebre tifoidea, disentería, cólera y otras enfermedades infecciosas.

#### a.2. *Bacterias Saprófitas :*

Son las que se alimentan de materia orgánica muerta, descomponiendo los sólidos orgánicos para obtener el alimento necesario y produciendo a su vez sustancias de desecho que consisten en sólidos orgánicos e inorgánicos. Por realizar esta actividad son sumamente importantes en los métodos de tratamiento utilizados para facilitar o acelerar la descomposición natural de los sólidos orgánicos que dependen directamente de este proceso realizado por estas bacterias. En ausencia de vida bacteriana (esterilidad), no tiene lugar la descomposición. Las aguas residuales estériles no se sujetan a los mismos tipos de descomposición en que se basan los métodos comunes de tratamiento. Todas las bacterias parásitas o saprófitas necesitan oxígeno para su respiración además de alimento. Algunas de ellas solamente pueden utilizar el oxígeno disuelto del agua. Estos organismos se conocen como bacterias aerobias, por consiguiente el proceso de degradación de sólidos orgánicos que se lleva a



cabo se denomina proceso aerobio, oxidación o degradación.

Otro tipo de bacterias no pueden existir en presencia de oxígeno disuelto, sino que tienen que obtenerlo del contenido de oxígeno de los sólidos orgánicos y de algunos inorgánicos, el cual se hace aprovechable en la descomposición de los sólidos. A tales microorganismos se les conoce como bacterias anaerobias y el proceso de descomposición de sólidos se le conoce como proceso anaerobio o putrefacción. La descomposición en ausencia de oxígeno disuelto por lo general da origen a malos olores y condiciones desagradables.

En las complicadas reacciones que se verifican en la degradación de la materia orgánica, ciertos tipos aerobios se adaptan para vivir y funcionar en condiciones de ausencia de oxígeno disuelto y se conocen como bacterias aerobias facultativas. De igual forma, algunas bacterias aerobias pueden llegar a adaptarse para desarrollarse y vivir en presencia de oxígeno disuelto y por eso se conocen con el nombre de bacterias anaerobias facultativas. Esta adaptabilidad de las bacterias saprófitas a diversas fuentes de oxígeno, es de gran importancia en la descomposición de los sólidos orgánicos de las aguas residuales municipales, por lo tanto en su adecuado tratamiento.

Para lograr una eficiencia máxima en su función, las bacterias requieren de una temperatura favorable ya que son muy sensibles a los cambios de temperatura, en lo que respecta a su velocidad de desarrollo y reproducción, la cual es directamente proporcional a la cantidad de trabajo desarrollado.

b. *Otros Organismos Microscópicos :*

Además de las bacterias, se encuentran en las aguas residuales municipales otros organismos vivos de tamaño tan pequeño que sin el microscopio no son visibles. También están presentes en gran cantidad, aunque no en densidades tan grandes como las diversas especies de bacterias. Estos microorganismos tienden a ser mayores y de estructuras más complejas, algunos son animales y otros vegetales. Todos provienen del suelo o de los desechos orgánicos que forman parte de las descargas de aguas residuales. Algunos son móviles y otros no; todos requieren de alimento, oxígeno y humedad. Pueden ser aerobios, anaerobios o facultativos respecto a su requerimiento de oxígeno, y son sensibles a los cambios de temperatura de igual forma que las bacterias. Estos organismos también actúan en la degradación y descomposición de los sólidos orgánicos, empleándolos como alimento, de tal manera que producen desechos cuya estructura química es más sencilla.

c. *Virus :*

Estos son organismos aún más pequeños que cualquiera de los otros microorganismos mencionados, de tal manera que para poder observarlos no es suficiente con utilizar el microscopio ordinario. Este tipo de microorganismos no es responsable de la degradación de la materia, su importancia estriba en que como las bacterias patógenas, son los agentes causales de un número considerable de enfermedades gastrointestinales en el ser humano,

como el virus de la hepatitis que se desarrolla en el tracto intestinal y es arrastrado por las excretas en el sistema de drenajes, hasta llegar al emisor, por consiguiente al cuerpo receptor sin sufrir alteraciones cualitativas o cuantitativa. El énfasis sobre este tipo de microorganismos será su control para eliminar el ciclo de contagio, contaminación y transmisión en las personas por sus efectos negativos en la salud.

*d. Grupo de Bacterias Coliformes :*

El grupo de bacterias coliformes incluye no sólo a los organismos que se originan en el tracto intestinal de los seres de sangre caliente (coli fecale, principalmente a la *Escherichia Coli*), sino también a los organismos provenientes del suelo y de la vegetación (principalmente el *Aerobacter Aerogenes*). El grupo coliforme incluye a todas las bacterias aeróbicas y anaeróbicas facultativas.

**2.2.5. Organismos Macroscópicos :**

Estos son los visibles a simple vista o macroscópicos. Aquí se incluyen algunas variedades de gusanos e insectos en diversos estados de desarrollo, larvas y lombrices.

Algunas formas de todos estos organismos, microscópicos y macroscópicos, son esenciales para la descomposición ordenada de la materia orgánica en la naturaleza y por consiguiente son igualmente esenciales para el funcionamiento adecuado de los métodos usuales de tratamiento. De hecho, los organismos

biológicos son los que en realidad llevan a cabo el proceso de tratamiento. La extensión y naturaleza de la descomposición bacteriana de los sólidos en las aguas residuales municipales, ha dado origen a cientos términos que describen las condiciones o estado de las mismas :

#### 2.2.6. Aguas Residuales Frescas :

Son las que se encuentran en su estado inicial de formación, producto de la fusión de las aguas del suministro con los diferentes desechos; es decir las que han sido recolectadas y evacuadas por el sistema de drenajes sin que hayan sufrido algún proceso o alteración en sus características cualitativas, durante un lapso de tiempo que implique unicamente la recolección, evacuación y disposición de las mismas. Contienen el oxígeno disuelto presente en el agua del abastecimiento y permanecen frescas mientras haya oxígeno suficiente para mantener la descomposición aeróbica.

Sus características son : aguas turbias, con sólidos en suspensión o flotando, presentan por lo general un color grisáceo y tienen un olor mohoso intenso pero no ofensivo.

#### 2.2.7. Aguas Residuales Sépticas :

El término describe el hecho de que se ha agotado completamente el oxígeno disuelto de manera que han entrado en descomposición anaeróbica los sólidos con la consiguiente producción de ácido sulfhídrico y de otros gases. Se caracterizan

por su color negruzco, olor fétido y desagradable, además poseen sólidos suspendidos y flotantes generalmente de color negro.

#### 2.2.8. Aguas Residuales Estabilizadas :

En esta condición, los sólidos o materia orgánica han sido descompuestos o degradados a materia relativamente inerte que no está sujeta a degradaciones posteriores o que es descompuesta muy lentamente. El oxígeno disuelto está presente nuevamente por haber sido absorbido de la atmósfera, generalmente si el proceso de estabilización se ha desarrollado adecuadamente, su olor es ligero o nulo y prácticamente no poseen sólidos en suspensión.

#### 2.2.9. Examen de las Aguas Residuales :

El propósito esencial del análisis de las aguas residuales consiste en encontrar la composición, concentración y condición del agua residual cruda, sus posibles efectos sobre el sistema de captación, la probable respuesta al tratamiento y las posibles influencias sobre las masas receptoras de agua o extensión superficial de tierra. Por otra parte, puede definirse si las aguas residuales son putrescibles o no, concentradas o debiles, frescas o sépticas, para definir sus características generales de composición y condición. En general, las pruebas incluidas en el análisis de aguas residuales crudas, efluentes de plantas de tratamiento y aguas contaminadas, están dentro de alguna de las siguientes categorías que se superponen en mayor o menor grado :

a. Pruebas que miden o reflejan la concentración de las

aguas residuales. En conjunto, estas pruebas miden o reflejan la concentración de las aguas residuales en relación con los sólidos y materia orgánica.

b. Pruebas que miden la **composición** de las aguas residuales con respecto a las sustancias o tipo de sustancias específicas.

c. Además, pruebas para radiactividad y sustancias radiactivas y bioensayos para residuos tóxicos agudos.

d. Pruebas que miden la **condición** de las aguas residuales y que explican el progreso de la descomposición de las sustancias orgánicas en las aguas residuales, efluentes y aguas receptoras.

e. Pruebas que miden la **seguridad** y sanidad del agua :

#### 2.2.10. Expresión de los Resultados de Laboratorio:

Los resultados de los análisis químicos se expresan comunmente en miligramos por litro ( mg/l ) o en partes por millón ( ppm ). Sin embargo para los residuos industriales de peso específico alto, se acostumbra emplear mg/l y agregar sólo peso específico relativo. Para concentraciones menores a 1 mg/l, se puede substituir microgramos por litro o partes por billón, para concentraciones elevadas superiores a  $10E+05$  mg/l, se registran en forma util valores porcentuales.

Los resultados bacteriológicos se consideran como conteo en placas por mililitro, números más probables (NMP) de organismos coliformes por 100 mililitros ( CF/100 ml ), cuando se emplea la técnica de dilusión en serie, y como colonias coliformes por 100 ml cuando se utiliza la técnica de filtro de membranas.

### 2.3. AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES DOMESTICAS :

#### 2.3.1. Descripción :

Son fundamentalmente las aguas del abastecimiento, utilizadas para diferentes usos, provenientes de las viviendas y de algunas de ellas que se han convertido en pequeños comercios que suplen las necesidades básicas de la población (tiendas, comedores, etc.).

De acuerdo a su procedencia, pueden subdividirse en :

a. *Aguas Negras* : Las que evacúan las deyecciones humanas (uso de inodoros). También pueden incluirse desechos fecales de origen animal.

b. *Aguas Grises* : Las que resultan de realizar todas las actividades cotidianas, como la preparación de alimentos, del lavado de ropa, higiene personal, aseo de la vivienda, etc.

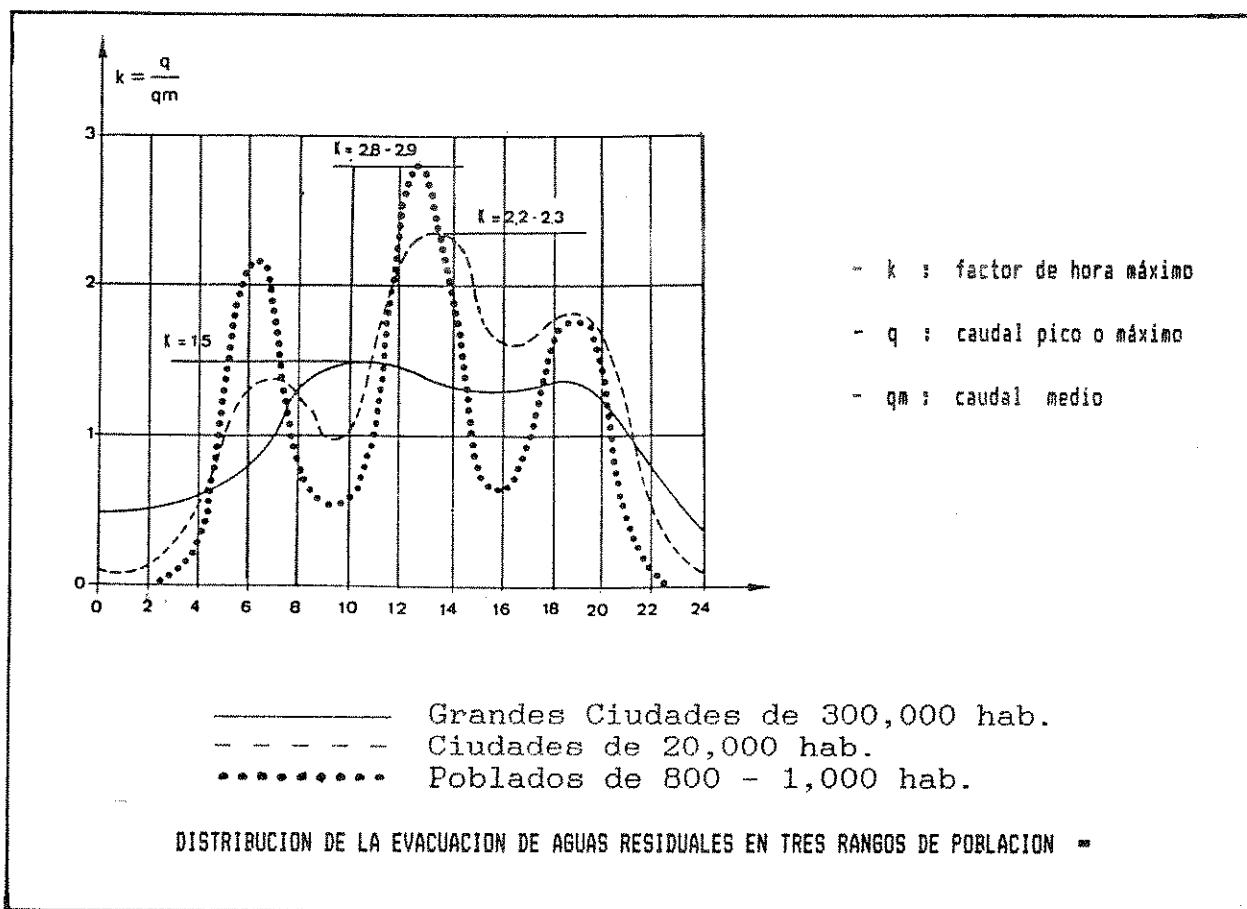
c. *Aguas pluviales* : Las que son ingeridas al sistema de alcantarillado sanitario general, mediante la red pluvial domiciliar, en forma ilícita o a través de un sistema combinado.

#### 2.3.2. Cantidad de las Aguas Residuales Domésticas :

Es igual al suministro de agua proporcionado a la población, menos el agua utilizada que no retorna a la red de alcantarillado. Se ha estimado que la cantidad de agua residual que retorna está comprendida entre el 70% y 90%. Estará en función del clima, la actividad agrícola tanto a nivel domiciliar como formal, del tipo de recubrimiento superficial de los patios y calles de la población, etc. Puesto que el consumo de agua

depende esencialmente de los hábitos y de las condiciones de vida, al mejorar éstos, la cantidad de agua residual también aumenta. El volumen de aguas residuales sufre variaciones horarias, diarias y anuales, según análisis efectuados por IMHOFF\*. Después de llegar a un punto mínimo durante la noche, la cantidad de agua y concentración de residuos se incrementa fuertemente en las horas de la mañana, llegando generalmente a su máximo al medio día, para luego descender en forma progresiva. La tabla No.10 refleja esta tendencia.

TABLA No.10



\* Schneider, W. et al., MANUAL DE DISPOSICION DE AGUAS RESIDUALES. ORIGEN, DESCARGA, TRATAMIENTO Y ANALISIS DE LAS AGUAS RESIDUALES. CEPIS, Lima, Perú: 1,991. Editado por CEPIS, OPS, OMS, por encargo de GTZ GmbH, 1,991.



Existe una cierta correlación entre la cantidad de agua residual y su carga de residuos. La coincidencia de los picos de aguas residuales con la carga máxima durante un día, explica porque la carga diaria de aguas residuales se calcula en 14 o inclusive 16 horas cuando se diseña un sistema de tratamiento. Suele haber ocasiones en las cuales durante el día se presentan varios picos en el caudal de ingreso. Cuanto más grande sea la población, mas uniforme será la cantidad y composición de sus aguas residuales.

En la tabla No.11 se describe la cantidad y la composición de las aguas residuales que se generan en una vivienda promedio.

TABLA No.11

**CANTIDAD DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS POR PERSONA AL DIA \***

T i p o	( en litros / persona * día )	
	D e m a n d a	D e s c a r g a
■ Comida y bebida	3	-----
■ Lavado de platos	4	4
■ Lavado de ropa	20	19
■ Higiene personal	10	10
■ Higiene con tina y ducha	20	20
■ Limpieza de la casa	3	3
■ Inodoro heces y orina	20	22
TOTAL	80	78

\* Schneider, W. et.al. MANUAL DE DISPOSICION DE AGUAS RESIDUALES. ORIGEN, DESCARGA, TRATAMIENTO Y ANALISIS DE LAS AGUAS RESIDUALES. CEPIS. Lima, Perú: 1,991. Editado por CEPIS, OPS, ONS, por encargo de GTZ GmbH, 1,991.

Cuando se diseñan sistemas de agua potable para núcleos de viviendas o comunidades, es frecuente seleccionar el caudal requerido, en función de estimaciones establecidas. A este requerimiento se le denomina dotación, y suele expresarse en litros/habitante/día. En forma paralela, la cantidad de agua potable que se estima retornará como agua de desecho, se expresa como un porcentaje de retorno. La tabla No.12 muestra los valores promedio de dotaciones y los porcentajes de retorno más usuales :

**TABLA No.12**

**DOTACIONES DE DISEÑO PARA SISTEMAS DE AGUA POTABLE  
Y PORCENTAJES DE RETORNO**

Condiciones Locales	( litros/hab/día ) Dotación	( % ) Porcentaje
<b>RED GENERAL DE AGUA POTABLE DISPONIBLE</b>		
■ Area Urbana		
- Clima cálido	200 - 275	80 - 85
- Clima templado	200 - 250	75 - 80
- Clima frío	200 - 250	70 - 80
■ Area Rural		
- Clima cálido	150 - 200	70 - 75
- Clima templado	150 - 175	75 - 80
- Clima frío	125 - 150	70 - 80
<b>CON SISTEMAS COLECTIVOS DE ABASTO ( llenacántaros o comunitarios )</b>		
■ Area rural		
- Clima cálido	70 - 90	60 - 65
- Clima templado	60 - 80	65 - 70
- Clima frío	40 - 60	60 - 70

■ Instituto de Fomento Municipal INFOM. CRITERIOS DE DISEÑO PARA PROYECTOS SANITARIOS. Borrador para Discusión. Sección de Alcantarillados, Departamento de Proyectos Sanitarios, 1,996

Para la integración final del caudal de aguas residuales, deberá añadirse al caudal proveniente de las viviendas, las posibles aportaciones de las aguas de lluvia que ingresen al sistema de drenajes en forma incontrolada y la infiltración de posibles mantos subterráneos cuando el nivel freático suba.

### 2.3.3. Composición de las Aguas Residuales :

Las aguas residuales domésticas son peligrosas debido a la posible presencia de una alta población de microorganismos patógenos. Contienen sobre todo, bacterias *Escherichia coli* del grupo coliforme, las que generalmente son inocuas y suelen estar en el tracto intestinal del ser humano y de los animales de sangre caliente, agrupándose en colonias. Estas sirven como indicador de contaminación fecal. Aproximadamente de  $10E+11$  a  $10E+13$  bacterias *E. coli* son evacuadas en las aguas residuales diariamente por una persona.

Cuando se examinan organismos coliformes en las aguas residuales domésticas, se encuentra que aproximadamente la mitad de los organismos pertenecen a especies que se originan en la materia fecal, debido a que las heces humanas son la fuente principal de patógenos entéricos. La identificación de coliformes ofrece una evidencia significativa de riesgo.

Los microorganismos están presentes en las aguas residuales en forma de virus y bacterias, como las salmonellas causantes de la tifoidea o paratifoidea, y en forma de parásitos como por

• Fair, R. et.al, PURIFICACION Y TRATAMIENTO DEL AGUA Y AGUAS RESIDUALES. México: Ed. Limusa, 1,975. 880 pp.

ejemplo los huevos de helmintos y áscaris lumbricoide.

Aparte de organismos patógenos, en las aguas residuales domésticas están presentes bacterias no patógenas que descomponen la materia orgánica mediante procesos de hidrólisis, reducción y oxidación. También se encuentran estimulantes, vitaminas, nutrientes provenientes de las excretas de personas y animales.

La tabla No.14 muestra la carga de residuos producidos diariamente por una persona ( contribución per cápita ), en el supuesto de que el consumo diario de agua por persona sea de 150 litros. La tabla No.15 presenta la misma carga de residuos presentes en las aguas residuales, en miligramos por litro :

TABLA No.13

<i>CARGA DIARIA PROMEDIO POR PERSONA ( en gramos/persona/día ) *</i>			
Estado de los Sólidos	Total	Orgánico	Inorgánico
Total de desechos	190	110	80
Sustancias disueltas	100	50	50
En suspensión	90	60	30
Sedimentables	60	40	20
No sedimentables	30	20	10

\* Schneider, W. et.al. *MANUAL DE DISPOSICION DE AGUAS RESIDUALES. ORIGEN, DESCARGA, TRATAMIENTO Y ANALISIS DE LAS AGUAS RESIDUALES*. CEPIS. Lima, Perú: 1,991. Editado por CEPIS, OPS, OMS, por encargo de GTZ GmbH, 1,991.

TABLA No.14 -

---



---

**CONCENTRACION DE DESECHOS EN AGUAS DOMESTICAS (miligramos/litro)**


---



---

Estado de los Sólidos	Total	Orgánico	Inorgánico
Total de desechos	1,260	730	530
Sustancias disueltas	660	330	330
En suspensión	600	400	200
Sedimentables	400	270	130
No sedimentables	200	130	70

---

Los desechos del cuerpo humano (heces y orina) son expresados en cantidades que varían con la edad, sexo y nutrición. La materia fecal contiene residuos de alimentos, restos de las secreciones biliar e intestinal, sustancias celulares del tracto alimenticio y masas de bacterias en altas cantidades (aproximadamente 1\4 del peso de las heces). Los alimentos voluminosos contienen mucha celulosa y materiales indigestos derivados del follaje. Las heces de las personas razonablemente bien alimentadas promedian valores cercanos a 90 gramos percápita por día, y varían desde 25 gramos para las mujeres y 150 gramos para los hombres. La orina se excreta en cantidades cercanas a 1,200 gramos percápita por día, varía

■ Schneider, W. et.al. MANUAL DE DISPOSICION DE AGUAS RESIDUALES. ORIGEN, DESCARGA, TRATAMIENTO Y ANALISIS DE LAS AGUAS RESIDUALES. CEPIS. Lima, Perú: 1,991. Editado por CEPIS, OPS, OMS, por encargo de GTZ GmbH, 1,991.

desde 500 gramos para las mujeres a 1,500 gramos para los hombres. En la orina se presentan en grandes cantidades, cloruros (CL), nitrógeno (N), fosfatos ( $P_2O_2$ ) y potasio ( $K_2O$ ). 7 gramos por día de CL y N, 200 gramos de  $P_2O_4$  y 2.3 gramos de  $K_2O$ .

Estas cantidades generales permiten ser estimaciones aproximadas del potencial fertilizante de las aguas residuales domésticas. Como factor en la agricultura, su potencial es bajo y es comprensible el deseo de substituir abono humano a los fertilizantes químicos en todos los niveles económicos. Los análisis para nitrógeno en sus varias formas ha sido utilizado en agua potable y aguas contaminadas, las que pueden servir como vehículo de transmisión de enfermedades. Las determinaciones sirven como una base para juzgar la calidad sanitaria del agua.

En la planificación del tratamiento de desechos es importante conocer el nitrógeno ocasionado por los microorganismos. Las determinaciones de nitrógeno amoniacal y nitrógeno orgánico son normalmente hechas para obtener tales datos. El nitrógeno es uno de los fertilizantes esenciales para el crecimiento de las algas. Tal crecimiento es a menudo estimado para una gran cantidad de cuerpos de agua que reciben desechos o efluentes de sistemas de tratamiento.

Como un indicador de la calidad sanitaria, las aguas contaminadas pueden autopurificarse por sí mismas siempre que se

\* Schneider, W. et al. MANUAL DE DISPOSICION DE AGUAS RESIDUALES. ORIGEN, DESCARGA, TRATAMIENTO Y ANALISIS DE LAS AGUAS RESIDUALES. CEPIS. Lima, Perú: 1,991. Editado por CEPIS, OPS, OMS, por encargo de GTZ GmbH, 1,991.

permita la edad para que los períodos de tiempo sean suficientes.

El riesgo para la salud o la posibilidad de contraer enfermedades por beber tales aguas, disminuye marcadamente con el tiempo y el aumento de la temperatura.

Los desechos domésticos son relativamente ricos en compuestos de fósforo. Previo al desarrollo de los detergentes sintéticos, el contenido de fósforo inorgánico estaban usualmente en el rango de 2 a 3 mg/L y las formas orgánicas variaban de 0.5 a 10 mg/L. " La mayoría del fósforo inorgánico es aportado por los desechos humanos como resultado de la ruptura del metabolismo de las proteínas y la eliminación de los fosfatos liberados en la orina. La materia orgánica contenida en las aguas residuales domésticas está compuesta aproximadamente de un 40% de sustancias nitrogenadas, un 50% de carbohidratos, y un 10% de grasas. La contribución diaria de materia se establece en un valor de 10 a 15 gramos per cápita, a través de efectuar una prueba en éter. "

Los desechos de las viviendas producen cantidades de sólidos y materia orgánica en términos de DBO y DQO relativamente constantes per cápita. Las tablas No.15 y No.16 respectivamente, presentan valores de contribución per cápita y en miligramos por litro, de una muestra de aguas residuales domésticas dentro del promedio común en función de DBO y DQO en condiciones estandar (a 5 días y 20°C):

" Schneider, W. et.al. MANUAL DE DISPOSICION DE AGUAS RESIDUALES. ORIGEN, DESCARGA, TRATAMIENTO Y ANALISIS DE LAS AGUAS RESIDUALES. CEPIS. Lima, Perú: 1,991. Editado por CEPIS, OPS, OMS, por encargo de GTZ GmbH, 1,991.

TABLA No.15 -

VALORES PROMEDIO DE DBO Y DQO / ( contribución percápita )		
Estado de los Sólidos	DBO	DQO
En suspensión	42	41
Sedimentables	19	16
No sedimentables	23	25
Disueltos	12	16
Totales	54	57

TABLA No.16 -

COMPOSICION PROMEDIO EN FUNCION DE DBO Y DQO / (miligramos/litro)		
Estado de los Sólidos	DBO	DQO
En suspensión	110	108
Sedimentables	50	42
No sedimentables	60	66
Disueltos	30	42
Totales	140	150

- Fair, R. *et.al.* PURIFICACION Y TRATAMIENTO DEL AGUA Y AGUAS RESIDUALES, México: Ed. Limusa, 1,975. 880 pp.



Existe una relación entre la composición de las aguas residuales municipales y las domésticas de aproximadamente 1.4 veces. Otro componente importante en las aguas de desecho doméstico son los detergentes. Están formados por sustancias orgánicas e inorgánicas, muchas de ellas son biodegradables y otras no, por lo que superan intactas todo el proceso de tratamiento. La tabla No.17 define un análisis de diferentes tipos de aguas residuales municipales domésticas:

**TABLA No.17 -**

Constituyentes	( Concentración en mg/L )		
	Alta	Media	Baja
■ Sólidos totales	1,000	500	200
- volátiles	700	350	120
- fijos	300	150	80
■ En suspensión	500	300	100
- volátiles	400	250	70
- fijos	200	100	50
■ Disueltos	500	200	100
- volátiles	300	100	50
- fijos	200	100	50
■ Sedimentables ( en ml/L )	12	8	4
■ DBO <sub>5</sub>	300	200	100
■ Consumo de oxígeno	150	75	30
■ Oxígeno disuelto	0	0	0
■ Nitrógeno total	85	50	25
- Orgánico	35	20	10
- Amoniacal	30	30	15
■ Cloruros	175	100	15
■ Alcalinidad ( CaCO <sub>3</sub> )	200	100	50
■ Grasas y Aceites	40	20	0

■ Schneider, W. et.al. MANUAL DE DISPOSICION DE AGUAS RESIDUALES. ORIGEN, DESCARGA, TRATAMIENTO Y ANALISIS DE LAS AGUAS RESIDUALES. CEPIS. Lima, Perú: 1,991. Editado por CEPIS, OPS, OMS, por encargo de GTZ GmbH, 1,991.

#### 2.3.4. Muestreo :

La toma de muestras en campo, constituye una de las fases más importantes para la identificación de los componentes de las aguas residuales. Se deberá utilizar el equipo adecuado, seleccionar el punto indicado para tomar la muestra de tal manera que sea representativa, obtener el volumen necesario para los análisis del laboratorio, registrar e identificar los datos de campo existentes ( hora, fecha, temperatura, etc.), transportar adecuadamente las muestras al laboratorio y efectuar el número de muestras que se requiera, según la exigencia en la exactitud de los resultados.

##### a. *Equipo a utilizar :*

El equipo básico deberá incluir como mínimo :

- 1 termómetro, de preferencia de 1 pie de longitud
- 1 potenciómetro de campo.
- 1 recipiente con cierre hermético de 1 galón de capacidad.
- 1 dispensador o recolector para tomar la muestra
- 1 frasco de vidrio esterilizado de 300 cm<sup>3</sup> para DBO, con tapón esmerilado y sello hidráulico.
- 1 frasco de vidrio esterilizado de 60 cm<sup>3</sup> para oxígeno disuelto con tapón esmerilado y sello hidráulico.
- 1 frasco esterilizado de 125 cm<sup>3</sup> para bacteriología.
- Reactivos.
- Equipo de protección para el operador.

- Sistema portatil de refrigeración.
- Boletas de información de campo.

**b. Procedimiento Básico :**

- Se deberá localizar el emisor principal o tubo de descarga de la red de alcantarillado sanitario de la población. Este es el punto adecuado para tomar la muestra de agua residual, teniendo cuidado de no tomar la muestra en donde se mezclen las aguas residuales con las aguas del cuerpo receptor, o bien con lodo o fango que este bordeando el tubo, o cualquier elemento que pueda alterar las características de la muestra.

Si existe más de una descarga en la población, habrá que muestrear todas las descargas existentes.

- Con el recolector de muestras se capta el volumen de agua a vertir en el recipiente de un galón de capacidad hasta llenarlo. Previamente debe enjuagarse varias veces el recolector con el agua de la fuente. Se debe registrar la temperatura del agua residual, insertando el termómetro al recipiente de un galón durante tres minutos aproximadamente y efectuar la lectura. En el recolector de muestras puede registrarse el valor de pH con el potenciómetro portatil. El recipiente de un galón deberá cerrarse de tal manera que no existan fugas de líquido durante el transporte y etiquetarse, identificando plenamente el contenido, procedencia, fecha, hora del muestreo, etc. Esta muestra servirá para determinar la mayoría de parámetros fisicoquímicos .

- Se repite el proceso y se vierte la muestra en el frasco de vidrio de 60 cm<sup>3</sup> hasta llenarlo, se aplican los reactivos correspondientes. En esta condición se coloca el tapón en posición de insertarlo en la boca del frasco y se deja caer suavemente para que el tapón por su propio peso encaje en la boca del envase formando un sello hidráulico. El frasco deberá etiquetarse con toda la información necesaria de campo. Esta muestra servirá para determinar el oxígeno disuelto.

- Se repite el proceso anterior empleado para oxígeno disuelto, pero colectando la muestra en los frascos restantes. El de 300 cm<sup>3</sup> servirá para analizar DBO, con tapón esmerilado y cierre hidráulico y el de 125 cm<sup>3</sup> para el examen bacteriológico, con tapón esmerilado sin sello hidráulico.

- Con las muestras en sus respectivos recipientes y debidamente identificadas y cerradas, se deberán refrigerar hasta que sean entregadas al laboratorio. Si no se cuenta con un medio de refrigeración para el traslado de las muestras, no deberá exceder de 24 horas el tiempo de transporte desde que se toma la muestra, hasta que se entrega en el laboratorio. No se debe olvidar el registrar la temperatura ambiente.

- Al finalizar todo el proceso de muestreo, el operador deberá lavarse adecuadamente las manos y los utensilios de trabajo con abundante agua y jabón desinfectante.

A continuación se presenta un tipo de boleta de información para identificar las muestras de aguas residuales :

<input type="checkbox"/>	<b>BOLETA DE INFORMACION</b>	
Población :	_____	
Municipio :	_____	Depto.: _____
Tipo de muestra :	_____	
Destino :	_____	
Fecha :	_____	Hora : _____
Temperatura Agua Residual :	_____	°C
Temperatura Ambiente :	_____	°C
Institución que solicita :	_____	
Operador :	_____	

*c. Selección de la muestra :*

Se definen dos criterios para seleccionar una muestra de aguas residuales :

- La primera es tomar una muestra puntual y única aleatoriamente, de tal manera que esa muestra reflejará un resultado que no puede considerarse representativo del comportamiento de la curva de variación del caudal durante todo el día. Este tipo de muestreo es útil para fines de investigación, aprendizaje, comprobación de resultados cuando se tiene disponible un banco de datos, o bien cuando la capacidad económica de la entidad que necesita la muestra es limitada para efectuar una serie de pruebas y análisis, por lo que se ve en la necesidad de por lo menos efectuar una, que será más efectivo que no hacerla y asumir los resultados.

- La segunda se define como una muestra compuesta y consiste en realizar una serie de muestras en periodos definidos de tiempo durante el día para obtener muestras representativas del comportamiento del caudal a medida que se generan las variaciones horarias del mismo. Los intervalos de tiempo pueden ser cada hora, cada 2 horas, cada 3 horas, de acuerdo a la importancia del análisis y la capacidad económica de la entidad interesada. Una vez obtenidas las muestras, se procede a mezclarlas para obtener una muestra única del efluente, la cual servirá para efectuar todos los análisis respectivos. La implementación de cualquiera de los dos criterios deberá hacerse siguiendo cada uno de los pasos básicos para la toma de muestras antes descritos.

#### 2.3.5. Resultados de Laboratorio :

Las muestras de aguas residuales deberán enviarse a un laboratorio capacitado para efectuar análisis fisicoquímico y exámenes bacteriológicos. Generalmente existen formularios que deberán ser llenados adecuadamente indicando los parámetros a determinar.

La entrega de los resultados por parte del laboratorio deberá ser en un formulario que contenga todos los parámetros solicitados en unidades bajo las dimensionales estandar, en hoja membretada que acredite a la empresa como tal y firmado y sellado por el profesional que practicó el análisis como una garantía en la confiabilidad de los resultados. A continuación se presenta una hoja de resultados prototipo de un análisis de agua residual:

<b>SERVICIOS PROFESIONALES DE ASESORIA</b>
--

**EXAMEN FISICO QUIMICO DE AGUA NEGRAS O DESECHOS INDUSTRIALES**  
Informe No. AN & DI 65-94

Interesado : \_\_\_\_\_ Proyecto : \_\_\_\_\_  
 Dependencia : \_\_\_\_\_  
 Fecha y Hora de Captación : \_\_\_\_\_  
 Fecha y Hora entrega al laboratorio : \_\_\_\_\_  
 Muestra Captada por : \_\_\_\_\_  
 Muestra Captada en : \_\_\_\_\_  
 Municipio : \_\_\_\_\_ Depto. : \_\_\_\_\_  
 Condicio del transporte : \_\_\_\_\_

**CARACTERISTICAS FISICA**

Color aparente : \_\_\_\_\_ Sólidos Totales : \_\_\_\_\_  
 pH en campo : \_\_\_\_\_ Sólidos Disueltos : \_\_\_\_\_  
 Temperatura : \_\_\_\_\_ Sólidos Sedimentables : \_\_\_\_\_

**DETERMINACIONES QUIMICAS**

Demanda Bioquímica de Oxígeno ( DBO ) : \_\_\_\_\_  
 Demanda Química de Oxígeno ( DQO ) : \_\_\_\_\_  
 Nitrógeno Total : \_\_\_\_\_ Fósforo Total : \_\_\_\_\_  
 pH : \_\_\_\_\_ Carbono Orgánico Total : \_\_\_\_\_  
 Oxígeno Disuelto : \_\_\_\_\_ Nitritos : \_\_\_\_\_

*Expresión de Resultados en miligramos por litro ( mg/l )*  
*Técnicas " Standard Methods " de la Asociación Americana de Salud*

Observaciones : \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

Guatemala, \_\_\_\_\_

Dra. Alba Tabarini de Abreu  
Colegiado No. 257

La interpretación de los resultados de laboratorio deberá efectuarla un profesional de la rama de ingeniería sanitaria, ingeniería química o un técnico especializado en la materia con experiencia en este campo. Esto se hace necesario para determinar con mucha claridad la composición y la tendencia que reflejan las aguas analizadas, por consiguiente, la correcta selección de los posibles correctivos o sistemas de tratamiento, de acuerdo a los resultados obtenidos.

En las tablas No.18 y No.19, se presentan una serie de datos de laboratorio de diversas muestras de aguas residuales municipales domésticas analizadas en el laboratorio de Química y Microbiología Sanitaria del Centro de Investigaciones de Ingeniería la universidad de San Carlos de Guatemala, con el propósito de aportar un banco de datos estadístico de referencia:



TABLA No.18

<i>ANALISIS FISICO QUIMICO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES *</i>				
Población	Temp. (°C)	Características Físicas		
		Totales (mg/L)	Disueltos (mg/L)	Sedimentables (cm <sup>3</sup> /L - 1hr.)
1. Sn Ant - SUCHI	22	388	140	1.8
2. Tiquisate - ESC	23	916	340	4.0
3. Chiquimula - CHIQ	30	769	340	6.0
4. Esquipulas - CHIQ	28	616	210	3.3
5. Rio Hondo - ZAC	27	229	150	1.3
6. Teculután - ZAC	27	432	260	2.0
7. Taxisco - STA RS	23	416	200	4.2
8. Almolonga - QTZ	26	620	245	3.1
9. Monjas - JAL	25	662	315	5.0
10. Parramos - CHIM	21	608	240	0.7

TABLA No.19

<i>ANALISIS FISICO QUIMICO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES *</i>						
Población	Características Químicas					
	( en mg / L )					
	DBO <sub>5</sub>	DQO	OD	Fosfatos	Nitritos	Nitratos
1. Sn Ant - SUCHI	110	214	4.0	4.75	0.010	25.27
2. Tiquisate - ESC	340	620	1.8	22.5	0.019	52.80
3. Chiquimula - CHIQ	370	531	4.4	13.0	0.010	38.72
4. Esquipulas - CHIQ	320	517	1.8	14.0	0.012	25.30
5. Rio Hondo - ZAC	90	205	1.0	8.75	0.012	20.90
6. Teculután - ZAC	140	337	1.2	11.2	0.011	26.84
7. Taxisco - STA RS	100	170	2.4	7.5	0.010	25.30
8. Almolonga - QTZ	95	160	4.0	6.75	0.260	17.60
9. Monjas - JAL	270	430	1.0	13.0	0.080	73.14
10. Parramos - CHIM	105	179	2.0	10.0	0.020	28.38

\* Instituto de Fomento Municipal INFOM. CRITERIOS DE DISEÑO PARA PROYECTOS SANITARIOS. Borrador para Discusión. Sección de Alcantarillados, Departamento de Proyectos Sanitarios, 1,996

## CAPITULO 3

### TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

#### 3.1. *TEORIA* :

##### 3.1.1. Generalidades :

Luego de una descripción general de los problemas ambientales y de los principios básicos de protección y purificación del agua, se describen las condiciones generales existentes en los países industrializados respecto a los requerimientos de tratamiento de las aguas residuales.

Al examinar la posible transferencia de estas disposiciones y tecnologías, así como los requisitos previos para ser introducidas a países en vías de desarrollo, se han investigado las condiciones específicas que existen en éstos. Así se ha podido observar que la literatura técnica con la que cuentan proviene tanto de países industrializados como de instituciones internacionales que desarrollan actividades en los mismos países.

Por tal razón, es importante enfatizar que no es técnicamente adecuado el implementar estas tecnologías, sin antes realizar una verdadera transferencia y conversión de estos sistemas, adaptándolos hasta donde sea posible, a las estructuras existentes de los países en desarrollo, ya que las limitantes son mayores en su realidad socio-económica, para dar inicio de inmediato a este tipo de alternativas de solución.

Sin embargo, la investigación y desarrollo de modelos que satisfagan las demandas de tratamiento a nivel de aguas

residuales, han sido promovidos por los países desarrollados que cuentan con los recursos y la capacidad técnica para hacerlo, de tal manera que se constituyen en fuente de información. Esta reflexión compromete a manejar programas de tratamiento, con la responsabilidad de modelarlos en función de la realidad social.

En el momento actual, si el único objetivo fuese el de descontaminar el recurso hídrico, todos los proyectos serían inviables financieramente. Sin embargo, si se aprovecha la excelente calidad bacteriológica que puede obtenerse con sistemas eficientes, y la riqueza en nutrientes que ofrecen las aguas residuales municipales tratadas, obteniendo otros beneficios secundarios como el de la industria agropecuaria a través del reuso para riego, la apertura de la actividad acuícola ( posible en sistemas de lagunas de estabilización, mediante el cultivo de peces dentro de las unidades en la etapa terciaria ), y la pronta recuperación del limitado recurso hídrico; el tratamiento de las aguas residuales ofrece un mayor atractivo en la recuperación de la inversión inicial.

Sin embargo, debe hacerse especial mención que la presencia de tóxicos ( como metales pesados entre otros ), provenientes de las descargas de aguas residuales industriales a la red de alcantarillado municipal, es una limitante para la estrategia del reuso de agua residual. Esto implica la implementación de una estrategia de minimización de los residuos industriales dentro de la misma industria que los genera previo a su disposición final.

Para respaldar el criterio anterior en el que se asegura que

el agua residual tratada representa un recurso valioso y apreciado para riego y acuicultura, sobre todo en zonas desérticas o con escasez de agua; se presentan en la tabla No.20 rendimientos en la producción de diversos cultivos, regados con aguas claras y aguas residuales tratadas.

**TABLA No.20 \***

**RENDIMIENTOS EN EL CULTIVO DE DIVERSOS PRODUCTOS AGRICOLAS  
IMPLEMENTADO EN LA CIUDAD DE MEXICO**

<i>Cultivo</i>	<i>( toneladas por hectárea )</i>	
	<i>Aguas Residuales</i>	<i>Agua Clara</i>
Alfalfa	120.0	70.0
Maíz	5.0	2.0
Frijol	1.0	1.3
Trigo	3.0	1.8
Cebada	4.0	2.0
Avena forraje	22.0	12.0
Tomate	35.0	18.0
Ají	12.0	7.0

**ENSAYOS EN TACNA-PERU / TRATAMIENTO : LAGUNAS DE ESTABILIZACION**

Papa	45.0	12.0
Camote	20.0	10.5
Maíz	3.0	2.0
Alfalfa	12.5	10.0

\* Saenz Forero, Rodolfo. DISPOSICION DE AGUAS RESIDUALES. DETERIORO DE LOS RECURSOS HIDRICOS. Informe Técnico. División de Salud y Ambiente HEP, Washington, DC; 1,992. Lima, Perú: Editado por CEPIS, OPS, 1,993

### 3.1.2. Objetivos Específicos del Tratamiento :

El propósito del tratamiento de las aguas residuales previo a su disposición final, consiste en separar de ellas la cantidad de sólidos y materia posible clarificando las aguas, eliminar los organismos vivos que permanecen en las aguas después de eliminarle sólidos y materia, tratar y disponer adecuadamente los lodos formados en el proceso de tratamiento y si la calidad final lo requiere, aplicar desinfección al efluente para reducir al máximo los riesgos de contaminación microbiológica.

El tratamiento de las aguas residuales puede llevarse a cabo mediante varios métodos o procesos. Estos métodos se basan en fenómenos físicos, químicos y biológicos. En general, el tratamiento de las aguas residuales tanto municipales como industriales incluye :

- La retención de las sustancias contaminantes, tóxicas y reutilizables presentes en las aguas residuales.
- El tratamiento del agua en sí:
  - remoción de sólidos y materia
  - remoción de organismos vivos y nutrientes
- El tratamiento de los lodos como subproducto del proceso:
  - digestión o degradación del lodo
  - disposición final

En el caso de las aguas residuales municipales domésticas, el énfasis del tratamiento estará en función de la remoción de microorganismos presentes ( bacterias, patógenos, etc. ), la remoción de sólidos y materia orgánica, y el control o reducción

de nutrientes si fuera necesario. Además el tratamiento y disposición final del lodo. Se considera importante mantener este orden de prioridades, ya que el parámetro de control sanitario a nivel de salud pública, debe anteponerse. Las propiedades resultantes de las aguas residuales clarificadas y del lodo degradado, dependen de la naturaleza de las aguas residuales a ser tratadas y al método de tratamiento elegido.

### 3.1.3. Criterios de Tratamiento :

En el caso de aguas residuales industriales, el objetivo principal, generalmente es la recuperación y reutilización de materias primas ( por ejemplo: fenoles, metales pesados, etc.), por lo que los métodos de tratamiento industrial, se denominan según la técnica de reprocesamiento aplicada en la línea de producción. En el caso del tratamiento del agua residual municipal, el objetivo es remover materia orgánica y control de microorganismos. Se emplean tres métodos, definidos según su base de trabajo: mecánico, químico y biológico. Se les conoce también como tratamientos convencionales. Además se definen etapas o niveles durante el proceso de tratamiento. En forma general pueden definirse de la siguiente manera :

- Tratamiento mecánico, denominado primera etapa o preclarificación.
- Tratamiento biológico, denominado segunda etapa o clarificación

- Tratamiento avanzado, denominado tercera etapa o de purificación.

**a. Tratamiento Mecánico :**

Se basa en las propiedades físicas que incluyen la separación de los sólidos sedimentables presentes en las aguas residuales y su estabilización, con el fin de clarificarla.

**b. Tratamiento Químico :**

Consiste en la separación o transformación de las sustancias sedimentables, flotantes y disueltas mediante el uso de sustancias químicas. Este método rara vez se aplica en el tratamiento de aguas residuales municipales, o cuando se desea un tratamiento más riguroso. Su aplicación es más bien sobre desechos industriales.

**c. Tratamiento Biológico :**

Se utiliza la actividad de ciertos microorganismos para la oxidación y mineralización de sustancias orgánicas presentes en las aguas residuales. Las aguas residuales procesadas por medio del tratamiento biológico suelen ser preclarificadas mediante métodos mecánicos, esto se aplica generalmente en grandes instalaciones.

**d. Tratamiento Avanzado :**

El tratamiento avanzado o final tiene diferentes propósitos:

- Separación de los nutrientes ( fósforo, potasio, etc.) que pueden provocar el desarrollo masivo de microorganismos, especialmente algas, en los cuerpos receptores ( fenomeno de eutroficación de los lagos ).

- El denominado pulimento o depuración de las aguas residuales tratadas para obtener una calidad óptima en el efluente.

- Filtración de aguas tratadas por ejemplo, para proteger a las aguas subterráneas cuando se drenan estas aguas con fines de recarga del acuífero, o simple disposición final.

- Como medida de seguridad para los cuerpos receptores que requieren de una pureza especial, por el uso y reuso de los mismos, etc.

A pesar de que son muchos los métodos usados para el tratamiento de las aguas residuales, todos pueden incluir alguna o todas las etapas antes mencionadas.



### 3.2. ETAPAS DE TRATAMIENTO :

Cada etapa en el tratamiento tiene una función específica que contribuye en forma secuencial, al mejoramiento de la calidad del efluente respecto a su condición inicial al ingresar al ciclo de depuración, que va del proceso más simple, hasta el más complejo. Esto permite separar las etapas, por lo tanto el análisis de cada una es en forma individual, existiendo siempre una interrelación entre cada una. Así mismo el criterio a utilizar para la selección y diseño de las respectivas unidades que se proponen, dependen de la etapa de tratamiento.

Utilizando la convención más usual, de manera específica, todo proceso de tratamiento contiene varias etapas, las cuales dependen una de la otra, en el ciclo de tratamiento:

- Tratamiento Preliminar
- Tratamiento Primario >>> - Tratamiento de Lodos
- Tratamiento Secundario como subproducto
- Tratamiento Terciario

#### 3.2.1. Tratamiento Preliminar :

Los dispositivos para el tratamiento preliminar o pretratamiento están destinados a eliminar o separar los sólidos mayores o flotantes, los sólidos inorgánicos pesados y eliminar cantidades excesivas de aceites o grasas. Pueden ser unidades mecanizadas o de operación manual, los cuales se diseñan para:

- \* Separar o disminuir el tamaño de los sólidos grandes que flotan o están suspendidos, generalmente son papeles, plásticos, basura, etc, junto con algo de materia fecal.

El propósito de esto es evitar que se obstuyan o dañen los conductos subsiguientes del sistema.

- \* Separar los sólidos inorgánicos como la arena, la grava e incluso objetos metálicos y cualquier material inerte.

- \* Separar cantidades excesivas de aceites y grasas.

Para lograr estos objetivos se utilizan diversas unidades y equipo variado. Dentro de los más usuales están :

a. *Rejas y Cribas de Barras* : " ( ver figura No.1 )

Están formados por barras usualmente espaciadas desde 2 hasta 15 cms. Aunque algunas veces se usan las rejas grandes en posición vertical, la regla general es que deben instalarse con un ángulo de inclinación de 45° a 60° respecto de la vertical. La limpieza se efectúa manualmente o por medio de rastrillos automáticos. Los sólidos separados por estos dispositivos, se eliminan enterrándolos o incinerándolos.

a.1. *Cribas Finas* : "

Las cribas con aberturas de 3 mm. o menos también han sido utilizadas en el tratamiento de las aguas residuales de origen industrial. No son recomendables para aguas residuales municipales domésticas.

" Hilleboe, Herman. *MANUAL DE TRATAMIENTO DE AGUAS NEGRAS*. Décima edición. México: Editorial Limusa, 1,990.

**a.2. Desmenuzadores :**

Los molinos, cortadoras y trituradoras, son dispositivos que sirven para romper o cortar los sólidos hasta un tamaño tal que permita que sean reintegrados a las aguas residuales sin peligro de obstruir los conductos de interconexión entre las unidades, o afectar el proceso de tratamiento.

**b. Desarenadores : ( ver figura No.2 )**

Su utilidad estriba en retener cantidades relativamente grandes de sólidos inorgánicos como arena, ceniza y grava a los que se les llama arena. La cantidad es muy variable y depende de muchos factores; pero principalmente de si el alcantarillado es combinado. Las arenas pueden causar problemas de funcionamiento en los tanques de sedimentación y en la digestión de los lodos. Generalmente se localizan antes de los sedimentadores y precedidos por cribas o rejillas gruesas.

Los desarenadores se diseñan por lo regular, en forma de grandes canales longitudinales, en los cuales, la velocidad disminuye lo suficiente para que se depositen los sólidos inorgánicos pesados, manteniéndose en suspensión los sólidos orgánicos. Esto permitirá retirar la materia sedimentada durante períodos de limpieza establecidos, manual o mecánicamente. Lo anterior implica la construcción de unidades en paralelo para facilitar la limpieza de una unidad, mientras la otra opera.

### *c. Tanques de Preaereación :*

A veces se procura una preaereación de las aguas residuales, es decir, una aereación antes del tratamiento primario, para lograr lo siguiente :

- Obtener una mayor eliminación de sólidos suspendidos, en los tanques de sedimentación.
- Ayudar a la eliminación de sólidos suspendidos, en aguas residuales municipales para disminuir la DBO.
- Refrescar las aguas residuales sépticas antes de llevar a cabo el tratamiento.

### **3.2.2. Tratamiento Primario :**

Los dispositivos que se usan en el tratamiento primario, están diseñados para retirar de las aguas residuales los sólidos orgánicos e inorgánicos sedimentables que se encuentran suspendidos, mediante el proceso físico de sedimentación. La actividad biológica en esta etapa tiene poca importancia.

El propósito fundamental de los dispositivos para el tratamiento primario, consiste en disminuir lo suficiente la velocidad de las aguas ( 1 o 2 cms/seg ),<sup>\*</sup> para que puedan sedimentarse los sólidos que representan la materia tanto orgánica como inorgánica susceptible a degradación. Pueden ser unidades que trabajen con carga hidráulica o bien con sistemas de alimentación mecánica, eléctrica o cualquier otro medio de generación motriz. Los principales dispositivos para el

<sup>\*</sup> Hilleboe, Hernan. *MANUAL DE TRATAMIENTO DE AGUAS NEGRAS*. Décima edición. México: Editorial Limusa, 1,990.

tratamiento primario son los tanques de sedimentación, de diversos tipos, algunos de los cuales tienen también la función adicional de servir para la descomposición de la materia orgánica, lo cual se conoce como digestión de lodos.

*a. Tanques o Fosas Sépticas : ( ver figura No.3 )*

Este tipo de tanque se usa para dar soluciones individuales, en donde el efluente de la fosa debe disponerse mediante la infiltración superficial o a través de pozos de absorción. Está diseñada para mantener las aguas residuales a velocidades bajas, reducir el contenido de sólidos sedimentables y bajo condiciones anaerobias, en periodos de retención de 12 a 24 horas, degradar la materia orgánica depositada en el fondo.\* La descomposición de la materia orgánica produce gases que arrastran a los sólidos y los obligan a subir a la superficie, produciendo la formación de natas acumuladas en la superficie. La continua flotación y subsecuente sedimentación de los sólidos por la acción del gas liberado, los obliga a salir con la corriente del agua, por lo que eventualmente salen algunos sólidos en el efluente, frustrando así, parcialmente el propósito del tanque. El efluente de la fosa es de mala calidad física y microbiológica, requiriendo un control posterior.

*b. Tanques de Doble Acción : ( ver figura No.4 )*

Estos tanques se idearon para corregir los defectos

\* Hilleboe, Herman. *MANUAL DE TRATAMIENTO DE AGUAS NEGRAS*. Décima edición. México: Editorial Limusa, 1,990.

principales de la fosa séptica, en la forma siguiente :

- Impedir que los sólidos que se han separado de las aguas residuales se mezclen nuevamente con ellas, permitiendo la retención de estos sólidos para su descomposición en la misma unidad.

- Proporcionar un efluente adaptable a un tratamiento posterior.

El contacto entre las aguas residuales y los lodos que se digieren anaeróbicamente queda prácticamente eliminado y disminuye el período de retención en el tanque. El Dr. Karl Imhoff fue el primero que diseñó el tan conocido y profusamente usado tanque de doble acción, que se conoce como tanque Imhoff. Puede ser rectangular o circular y se divide en tres compartimentos o cámaras que son: la sección superior que se conoce como cámara de derrame continuo o compartimiento de sedimentación, la sección inferior que se conoce como cámara de digestión de lodos, el respiradero y cámara de natas.

*c. Tanques de Sedimentación Simple : ( ver figura No.5 )*

Estos son tanques cuya función principal consiste en separar los sólidos sedimentables de las aguas residuales, mediante el proceso de sedimentación. Los sólidos asentados se extraen continuamente o a intervalos frecuentes, para no dar tiempo a que se desarrolle la descomposición con formación de gases. De ahí pasan los sólidos a otras unidades que se incluyen dentro del

siguiente nivel de tratamiento. Los sólidos pueden acumularse por gravedad, en una tolva o embudo, o hacia un punto más bajo del fondo del tanque, de donde se bombean o descargan por la acción hidrostática del agua, mediante una tubería de limpieza. No obstante este método ha sido reemplazado por el uso del equipo mecánico para recolectar los sólidos en la tolva, de donde son descargados por bombeo. Estos tanques de operación 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.

### 3.2.3. Tratamiento Secundario :

Este tratamiento debe realizarse cuando las aguas residuales todavía contienen sólidos orgánicos en suspensión que no pudieron ser removidos en el tratamiento primario y que producirían efectos negativos sobre el cuerpo receptor si sólo se efectuara tratamiento primario. Esta etapa dependerá principalmente de los organismos aerobios para la descomposición de la materia orgánica hasta transformarla en materia orgánica estable o inorgánica. Este proceso también se denomina tratamiento biológico ya que las unidades proveen el medio adecuado para que la actividad bacteriana reaccione de acuerdo a un patrón ya establecido para su control. Existen sistemas básicos de tratamiento secundario que pueden aplicarse, tales como: filtros goteadores, biológicos o percoladores, lodos activados, lagunas de estabilización, etc.

En este tipo de tratamiento se emplean cultivos biológicos para llevar a cabo una descomposición aerobia u oxidación del material orgánico, transformándolo en compuestos más estables, lográndose un mayor grado de tratamiento que el que se obtiene mediante sedimentación primaria. La materia orgánica es el alimento con el que se sustentan estos organismos y su eficiencia disminuye tanto por el exceso de alimento, como por escasez del mismo.

a. *Filtros Goteadores o Rocedores* : ( ver figura No.8 )

En este caso no está correctamente empleada la palabra "filtro", porque no se efectúa ninguna acción coladora ni filtrante. En realidad, un filtro goteador es un dispositivo que pone en contacto a las aguas residuales sedimentables con cultivos biológicos. El nombre correcto debería ser "lechos de oxidación biológica" pero el tiempo y el uso han popularizado el término de filtros goteadores, biológicos o percoladores.

Como en todas las unidades de tipo biológico, la temperatura es determinante, por eso, el clima frío abate la actividad biológica del filtro. Estos filtros ocupan grandes superficies y su construcción es costosa. Por economía, los filtros deben ser precedidos por tanques de sedimentación primaria, equipados con colectores de natas. Un tratamiento primario antes de estos filtros permite aprovechar al máximo su capacidad haciendo fácilmente sedimentables a los sólidos no sedimentables, coloidales y disueltos. Estos sólidos orgánicos, en su mayor parte, no son separados de las aguas residuales, sino que se



convierten en parte integral 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 preceder a tanques de sedimentación secundaria para eliminar definitivamente los sólidos de las aguas residuales.

Un filtro percolador típico, consiste de tres partes : el lecho o medio filtrante, un sistema recolector y un mecanismo para distribuir uniformemente las aguas residuales sobre la superficie del filtro.

**b. *Tanques de Sedimentación Secundaria* : ( ver figura No.5 )**

Como los filtros biológicos solamente alteran las características de los sólidos de las aguas residuales, pero no los eliminan, el efluente contiene sólidos suspendidos que deben ser eliminados antes que se descargue el efluente en aguas receptoras. Para este propósito se utilizan tanques de sedimentación secundaria o de asentamiento final, siendo su diseño similar al los considerados en el tratamiento primario.

**c. *Lodos Activados* : ( ver figura No.13 )**

El desarrollo del proceso de los lodos activados ha marcado un progreso importante en el tratamiento secundario de las aguas residuales. Similarmente a los filtros goteadores, este es un

proceso biológico de contacto, en el que los organismos vivos aeróbicos y los sólidos orgánicos de las aguas residuales, se mezclan íntimamente en un medio favorable para la descomposición aeróbica de los sólidos. Como el medio está formado por las mismas aguas residuales, la eficiencia del proceso depende de que se mantenga continuamente oxígeno disuelto en estas aguas durante todo el tratamiento. No obstante, el medio ambiente por sí mismo no logra mucho, si no posee suficientes operarios vivientes.

Las aguas residuales comunes contienen algunos de estos operarios biológicos, pero su número es demasiado reducido para que puedan llevar a cabo el trabajo requerido. Es necesario, por lo tanto, agregar muchos más organismos y distribuirlos bien por todas las aguas residuales, antes de que el proceso de los lodos activados pueda empezar a funcionar con eficacia.

El proceso de lodos activados se emplea generalmente después de la sedimentación simple. Las aguas residuales contienen algo de sólidos suspendidos y coloidales, de manera que cuando se filtran en presencia de aire, los sólidos suspendidos forman núcleos sobre los cuales se desarrolla la vida biológica, pasando gradualmente a formar partículas más grandes, las que se conocen como lodos activados. Los lodos activados están formados por flóculos parduscos que consisten principalmente en materia orgánica procedente de las aguas residuales, poblados por colonias de bacterias y otras formas de vida biológica. Estos lodos activados, con sus organismos vivos, tienen la propiedad de absorber o de adsorber la materia orgánica coloidal y disuelta,

incluyendo el amoníaco de las aguas residuales con lo que disminuye la cantidad de sólidos suspendidos. Los organismos biológicos utilizan como alimento al material absorbido convirtiéndolo en sólidos insolubles no putrescibles, proceso que se verifica gradualmente.

d. *Estanques o Lagunas de Estabilización* : ( figura No.10 )

Durante los últimos años se ha desarrollado un sistema de tratamiento de aguas residuales que se basa en el uso de estanques especilmente preparados o conformados, a los cuales se les llama lagunas de estabilización. Las lagunas se utilizaron inicialmente en climas cálidos con días soleados, pero se ha observado a través de la práctica, que operan en forma adecuada con resultados satisfactorios en climas más frios y nublados. Pueden utilizarse en prácticamente cualquier zona o región, variando la velocidad del flujo y sus dimensiones, en función de la temperatura, la energía solar, y otros factores de la región.

El proceso de descomposición de la materia orgánica que hay en las aguas residuales, se verifica en dos etapas. La materia carbonosa presente es desintegrada por los organismos aerobios, con formación de bióxido de carbono, el cual es utilizado por las algas en su fotosíntesis. En este proceso, el oxígeno del bióxido de carbono es liberado y se disuelve en el líquido en el que crecen las algas. Como resultado de esto, la materia orgánica de las aguas residuales es convertida en algas y las aguas reciben oxígeno para mantener la posterior descomposición aerobia. Los

sólidos presentes, entran a la laguna, en un estado altamente putrescible y se transforman y salen en forma de células de algas muy estables, las cuales dentro de ciertos límites, pueden descargarse a las aguas receptoras sin causar efectos negativos.

Las lagunas de estabilización pueden utilizarse en cualquiera de las etapas de tratamiento, ya se proporcionando únicamente un tratamiento primario, secundario o terciario, o bien ubicarse en serie para aplicar un tratamiento completo, obteniendo excelentes resultados. Este tipo de tecnología ofrece una serie de ventajas sobre los demás sistemas convencionales de tratamiento, ya que la calidad bacteriológica (que es un parámetro fundamental en nuestro medio), y la remoción de materia orgánica (DBO), es superior en términos de porcentajes, respecto a los demás sistemas, sin necesidad de suministrar energía de algún tipo, ni de aplicar desinfección para obtener excelentes resultados microbiológicos, en contraste con las tecnologías antes mencionadas, que sí lo requieren. También es importante enfatizar que son sistemas que requieren de muy poca operación y mantenimiento, ya que trabajan bajo carga hidráulica y con dispositivos sumamente sencillos de recolección, distribución y evacuación del caudal tratado. El tratamiento y manejo de los lodos no representa un problema adicional, ya que en las unidades destinadas al tratamiento primario, se depositan los sólidos y materia orgánica e inorgánica en el fondo, llevándose a cabo simultáneamente el proceso de sedimentación y digestión de los mismos hasta la degradación final. Los periodos de limpieza son

por lo regular de 1 a 3 años para lagunas primarias y hasta 8 años para secundarias, reduciendo los inconvenientes de limpieza y disposición final.\* Un aspecto que ejerce contrapeso, es el alto requerimiento en metros cuadrados de superficie para implementar adecuadamente este sistema de tratamiento para aguas residuales.

#### 3.2.4. Tratamiento Terciario :

Esta etapa se considera como un nivel avanzado de tratamiento en el cual se pretende mejorar sustancialmente la calidad del efluente cualitativamente, mediante la desinfección como elemento principal, y el control de nutrientes presentes en las aguas de origen doméstico, como la principal fuente de aportación; a través de procesos físico-químicos. Esto permitirá la reducción y eliminación de microorganismos patógenos, la protección del cuerpo receptor y la vida acuática, controlando el crecimiento de la vida vegetal indeseada y nociva (algas y otras variedades), y permitir el reuso sanitariamente seguro.

Ninguno de los métodos primarios o secundarios de tratamiento para aguas residuales municipales domésticas puede eliminar completamente de ellas las bacterias patógenas que siempre están presentes potencialmente. Cuando las aguas residuales o los efluentes ya tratados se descargan a masas de agua que sirven como fuente de abastecimiento para consumo humano

\* León, Guillermo. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES. LAGUNAS FACULTATIVAS. LAGUNAS ANAEROBIAS. Informe Técnico. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria CEPIS, 1,993. Lima-Perú. Editado por CEPIS, 1,993. 25 pp.

(reuso), se requiere de un control estricto para reducir los organismos patógenos, a fin de que se minimice el riesgo para la salud. Este tipo de control se conoce como desinfección, a través de la aplicación de cloro, como el elemento más usual para este fin, en el caso de sistemas de tratamiento convencionales.

El único sistema de tratamiento que no requiere de la aplicación de algún tipo de desinfección, es el de lagunas de estabilización (unidades ubicadas en la etapa terciaria, llamadas lagunas terciarias), ya que realizan el trabajo de control y decaimiento de microorganismos patógenos, parásitos, bacterias patógenas y virus, mediante un proceso biológico natural.

Para el control de nutrientes, es frecuente utilizar estanques o lagunas con una especie vegetal acuática ( lirios o jacintos ), que extraen del agua los nutrientes presentes, para su desarrollo, reduciendo los niveles en el agua. En periodos establecidos, se retiran del agua, las colonias de plantas que se ha desarrollado sobre la superficie y se disponen por aparte. El proceso de siembra y cosecha se fija para periodos definidos. Existen diversos criterios y métodos empleados en el tratamiento terciario o avanzado para el control de las aguas residuales en general, sin embargo, a nivel de aguas municipales de origen doméstico, el énfasis se hace sobre el control sanitario de los efluentes, y preservación de los cuerpos receptores.

### 3.2.5. Tratamiento y Disposición de los Lodos :

Los lodos de las aguas residuales están constituidos por los

sólidos que se eliminan en las unidades de tratamiento primario y secundario, junto con el agua que se adhiere a ellos. En algunos cuantos casos es satisfactoria la disposición de los mismos sin someterlos a tratamiento, pero generalmente es necesario tratarlos en alguna forma para prepararlos o acondicionarlos para su disposición final sin originar condiciones de riesgo..

Los lodos provenientes de las aguas residuales son una mezcla de agua y sólidos sedimentables. Por su origen reciben el nombre de primarios, secundarios, exceso de lodos activados o lodo químico. Por su estado o tratamiento recibido pueden denominarse crudos o frescos, digeridos, húmedos o secos.

Los lodos en general, deben someterse a algún tratamiento que sea capaz de modificar sus características, para que se puedan disponer sin representar riesgo para la salud, ya que están contaminados al igual que la porción líquida de las aguas residuales.

Los diversos procesos de tratamiento tienen dos objetivos fundamentales: 1) disminuir el volumen del material que va a ser manejado, por la eliminación de parte o toda la porción líquida y 2) descomponer la materia orgánica degradable, a compuestos orgánicos o inorgánicos relativamente más estables o inertes, de los cuales puede separarse el agua con mayor facilidad. A este proceso se le denomina digestión, con lo cual además se disminuye el total de sólidos presentes.

Con excepción de los tanques sépticos y los de doble acción, la digestión se lleva a cabo en tanques separados que se usan

únicamente para este fin. En el caso de las lagunas de estabilización, este proceso se lleva a cabo en el fondo de los estanques en forma simultánea al proceso desarrollado en el agua en sí, sin necesidad de implementar otras unidades adicionales para el manejo del lodo.

Es conveniente reducir al máximo los volúmenes de lodo para economizar espacio de almacenamiento en la unidad para efectuar la digestión y en las unidades de secado y así reducir los costos de inversión y operación de los equipos de bombeo de lodos.

El objetivo se logra con la combinación de dos o más de los métodos siguientes:

- Espesamiento
- Digestión, con o sin aplicación de calor
- Secado en lechos de arena, cubiertos o descubiertos
- Acondicionamiento con productos químicos
- Filtración al vacío
- Secado aplicando calor
- Incineración
- Oxidación húmeda
- Flotación con productos químicos y aire



### 3.3. CLASIFICACION DE SISTEMAS :

Se presentan las definiciones y principales características de los sistemas de tratamiento de las aguas residuales municipales, aplicables a desechos domésticos, como información básica para la formulación y propuesta de plantas de tratamiento.

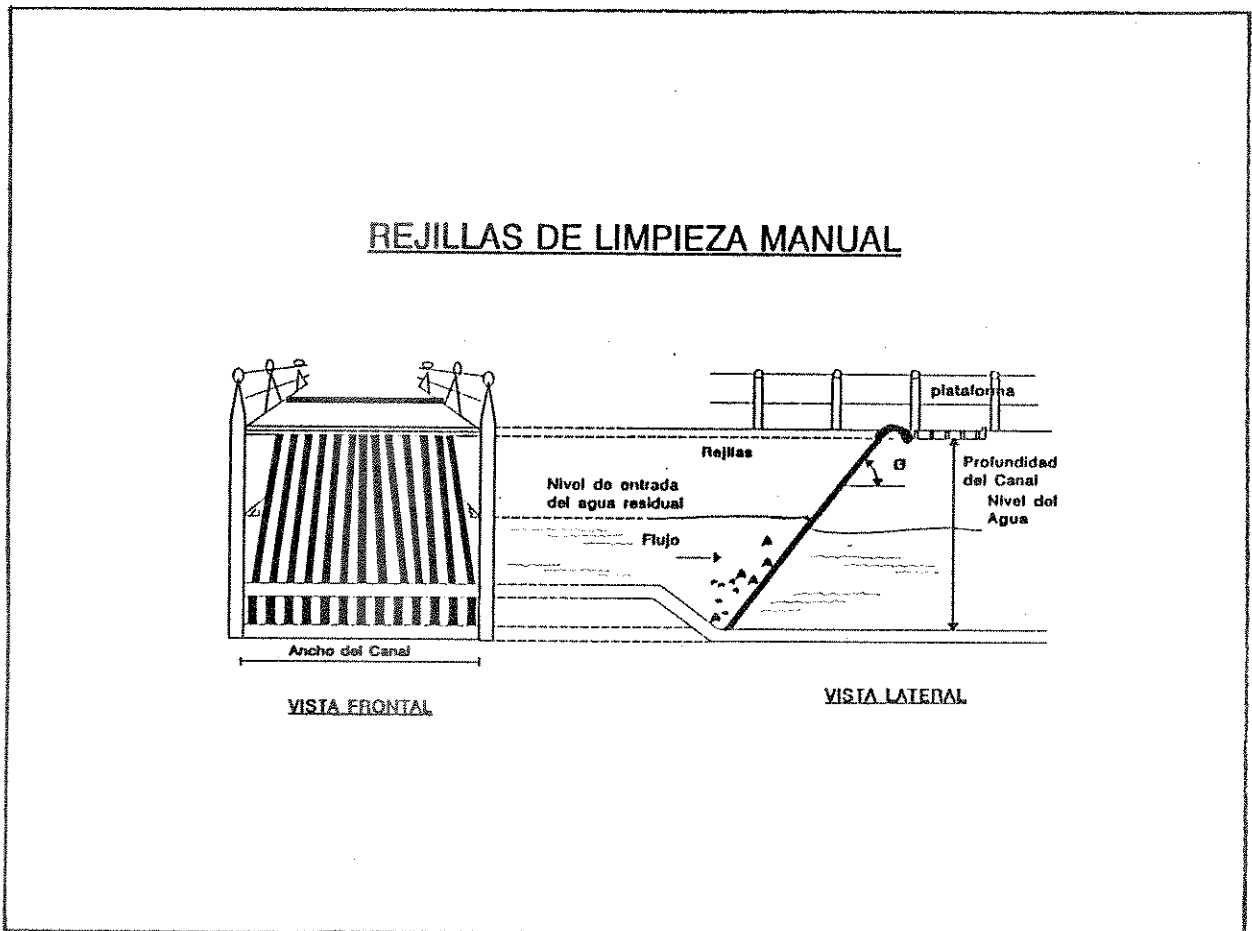
#### 3.3.1. Pretratamiento :

##### a. *Rejillas o cribas de barras :*

Tienen como objeto la remoción de los materiales gruesos o en suspensión, los cuales pueden ser retirados manual o mecánicamente. Están formados por barras al ingreso del canal, generalmente de 1/4 de pulgada de espesor por 1 pulgada de ancho ( 1/4" \* 1" ), separadas con claros libres de 1/2" a 2", y colocadas en ángulos de 30° a 60° (grados) de inclinación respecto a la horizontal.\* Los sólidos separados por estos dispositivos se eliminan enterrándolos o incinerándolos. Las dimensiones del canal, estarán en función del caudal de ingreso (se sugiere utilizar el caudal máximo para efectos de diseño). Este tipo de unidades se recomienda ubicarlas en todos los sistemas de tratamiento como regla general. Cuando la limpieza de estas unidades es deficiente, se recomienda diseñar un dispositivo que alivie el paso del caudal de ingreso cuando la reja está saturada de sólidos, denominado by-pass. Se sugiere una inspección diaria. La figura No.1 muestra un canal de rejas.

\* Schneider, W. et.al. MANUAL DE DISPOSICION DE AGUAS RESIDUALES. ORIGEN, DESCARGA, TRATAMIENTO Y ANALISIS DE LAS AGUAS RESIDUALES. CEPIS. Lima-Perú 1,993. Editado por CEPIS, OPS, ONS por encargo de GTZ GgH, 1,991.

FIGURA No.1 -



■ Torres Rúa, Ricardo. ASPECTOS TÉCNICOS DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES. Informe Técnico. Unidad de Saneamiento Ambiental. Area de Tratamiento de Aguas Residuales; CEPIS. Lima, Perú; 1,993.

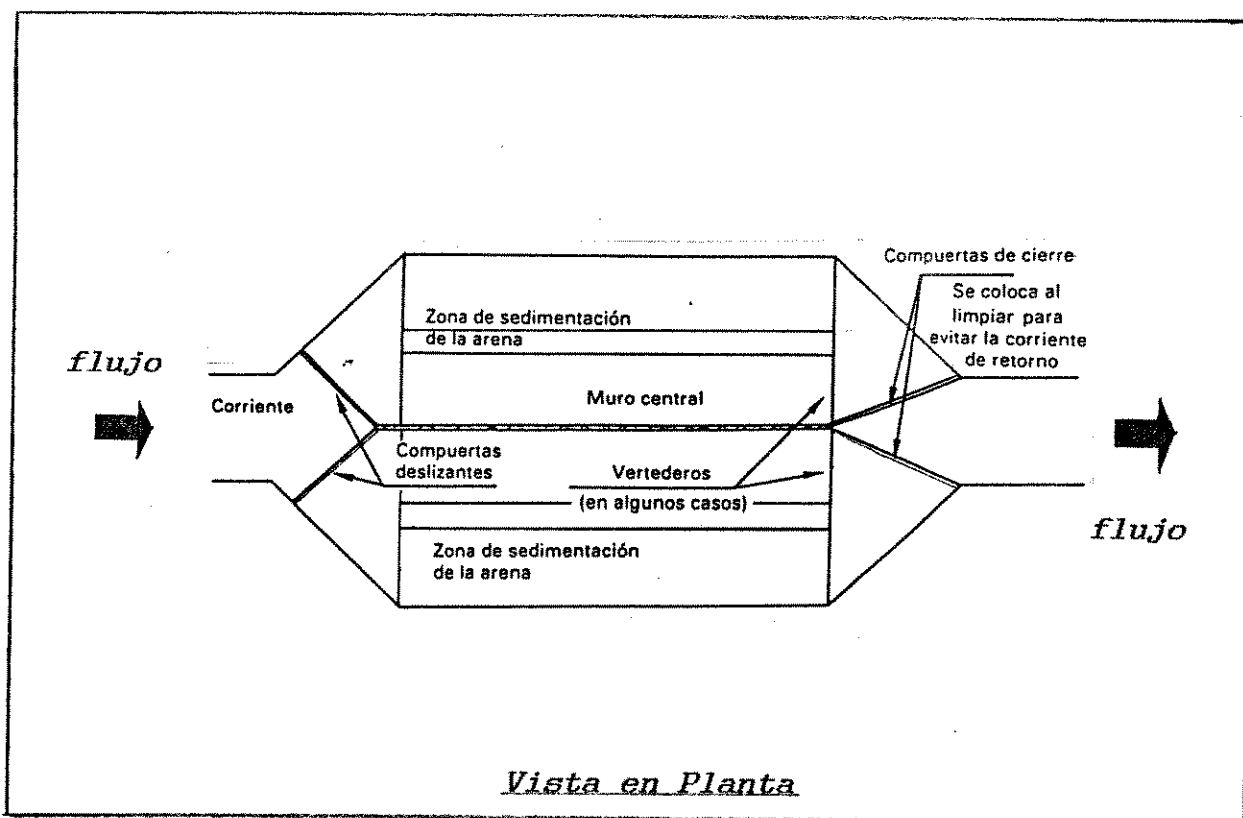
**b. Desarenador :**

Su función principal es retener los sólidos inorgánicos como arena, cenizas y grava. Las arenas pueden dañar a los equipos mecánicos por abrasión y causar dificultades de operación en los tanques de sedimentación y en la digestión de los lodos. Por lo general, esta unidad se diseña en forma de canal longitudinal, controlando la velocidad horizontal (aprox.a 0.30 mts/seg), para propiciar la sedimentación del material inorgánico (con una

velocidad de sedimentación de 2 cms/seg. ), ■ manteniendo los sólidos orgánicos en suspensión.

La velocidad horizontal se controla mediante dispositivos para este fin, como el vertedero tipo Sutro, o la canaleta Parshall. El canal deberá estar provisto de una tolva en el fondo para almacenar las arenas depositadas, las cuales deberán ser removidas en períodos de limpieza establecidos. Se recomienda construir 2 unidades en paralelo para fines de operación y limpieza. La figura No.2 muestra los detalles generales de un desarenador típico.

FIGURA No.2 \*



■ Torres Ruiz, Ricardo. ASPECTOS TÉCNICOS DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES. Informe Técnico. Unidad de Saneamiento Ambiental. Área de Tratamiento de Aguas Residuales; CEPIS. Lima, Perú: 1,993.

### 3.3.2. Tratamiento Primario :

Las unidades de tratamiento más utilizadas en esta etapa son

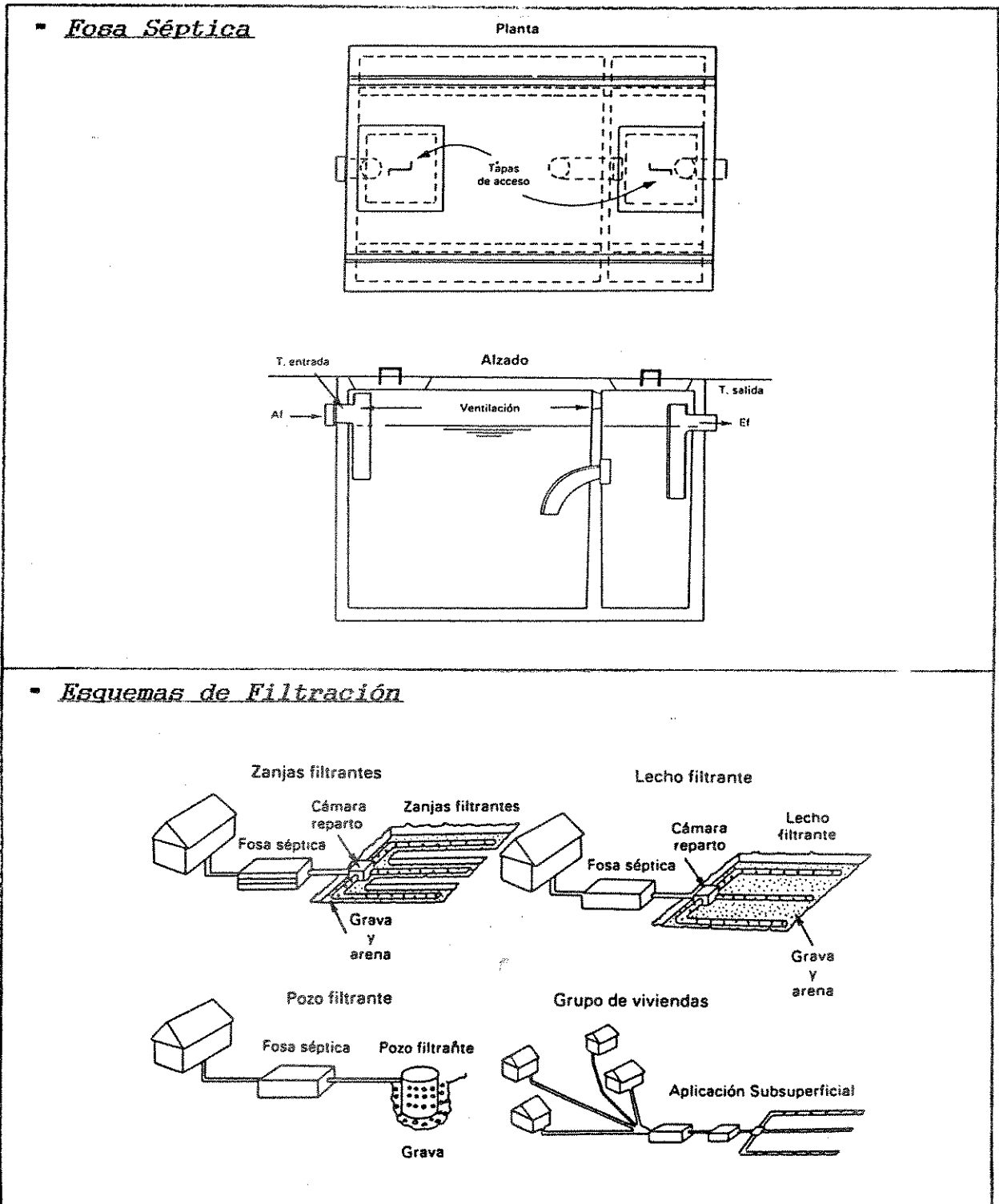
- Fosas Sépticas
- Tanques Imhoff
- Sedimentadores simples o primarios
- Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente (RAFA)
- Coagulación o Floculación
- Lagunas Facultativas, Anaerobias o Aerobias.

#### a. Fosas Sépticas :

Por lo general, son unidades utilizadas en donde no existe una red de alcantarillado sanitario. Se considera como una solución individual de disposición de las aguas residuales, como por ejemplo, el efluente de escuelas, hoteles, viviendas familiares, restaurantes, etc. En general se utilizan para tratar aguas residuales de tipo doméstico y comercial, para caudales no mayores de 0.6 a 0.7 litros por segundo, equivalente a 475 habitantes aproximadamente. El volumen de la fosa no debe exceder de 45.5 m<sup>3</sup>, el cual se integra por el volumen de lodos y el de agua. Adicionalmente debe considerarse un volumen para las natas o espumas. Usualmente se diseñan con una cámara, sin embargo la eficiencia se ve incrementada al construirla con 2 cámaras trabajando en serie. La figura No.3 muestra los detalles generales de un fosa séptica convencional y la disposición del efluente a través de los sistemas de absorción más utilizados.

▪ Departamento de Salud EE UU, MANUAL DE FOSAS SEPTICAS. Centro Regional de Ayuda Técnica AID. México, 1,975.

FIGURA No.3



■ Collado Lara, Ramón. *DEPURACION DE AGUAS RESIDUALES PARA PEQUEÑAS COMUNIDADES*. Madrid, España: 1,990. Editorial Colección Senior, 1,990.

**b. Tanques Imhoff :**

Para comunidades de 5,000 habitantes o menos, los tanques Imhoff ofrecen ventajas para el tratamiento de aguas residuales domésticas, ya que integran la sedimentación del agua y la digestión de los lodos sedimentados en la misma unidad. Tienen una operación muy simple y no requieren de partes mecánicas; sin embargo, para su proceso normal, requieren que las aguas residuales pasen por un cribado y remoción de arena. Son convenientes especialmente en climas cálidos, pues este factor facilita la digestión de los lodos. En la selección de esta unidad de tratamiento se debe considerar que este tanque puede producir olores desagradables.

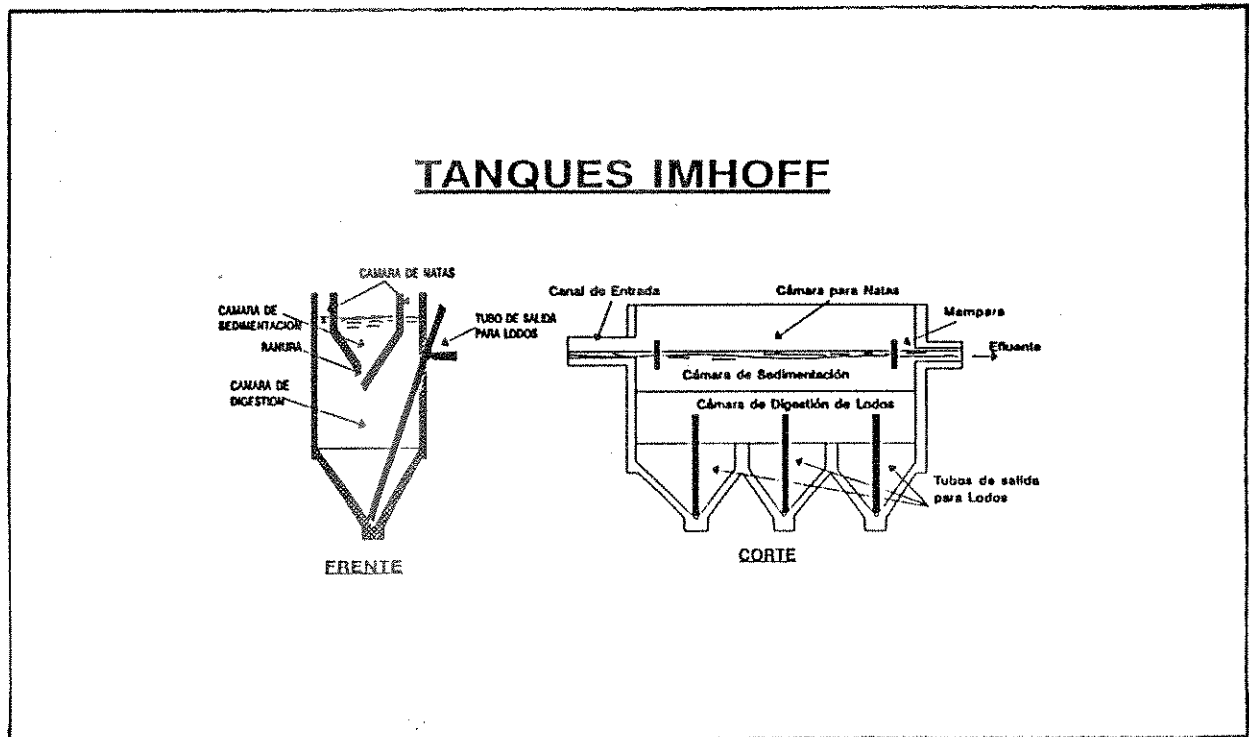
El tanque Imhoff típico es de forma rectangular en planta y se divide en tres compartimientos: 1) Cámara o canal de sedimentación, 2) Cámara de digestión de lodos y 3) Area de ventilación y compartimiento de natas.

Los lodos acumulados en el fondo se extraen periódicamente (períodos de 3 a 5 semanas por lo regular, o bien hasta que exista un borde libre no menor de 50 cm., desde el nivel de lodos, hasta la ranura del compartimiento de sedimentación), y se conducen a los lechos de secado, mediante una tubería instalada para que los expulse por medio de la carga hidráulica o presión hidrostática del agua, o bien utilizando equipo de bombeo. En los lechos de secado se pretende eliminar su alto contenido de

• Torres Ruíz, Ricardo. ASPECTOS TÉCNICOS DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES. Informe Técnico. Unidad de Saneamiento Ambiental. Area de Tratamiento de Aguas Residuales; CEPIS. Lima, Perú: 1,993.

humedad. Una vez secos, pueden utilizarse como abono orgánico bastante estable. La figura No.4 presenta los detalles generales de un tanque Imhoff.

FIGURA No.4



■ Torres Ruiz, Ricardo. ASPECTOS TECNICOS DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES. Informe Técnico. Unidad de Saneamiento Ambiental. Area de Tratamiento de Aguas Residuales; CEPIS. Lima, Perú; 1,993.

### c. Sedimentadores Primarios :

En estas unidades no se digieren los lodos, sólo se retienen y por lo general se utilizan como una primera etapa de tratamiento. Se puede recomendar su construcción siempre y cuando se tengan proyecciones para aumentar o completar el tratamiento en una segunda etapa a nivel secundario, a corto plazo. Estas unidades tienen como función la reducción de los sólidos

suspendidos, grasas y aceites de las aguas residuales. Pueden ser tanques rectangulares o circulares, éstos últimos son los más frecuentes, utilizados en plantas que soporten poblaciones hasta de 100,000 habitantes. \*

Los sólidos depositados en el fondo son recolectados por rastras giratorias que los conducen a una tolva de donde se extraen para su tratamiento y disposición en forma periódica y continua para evitar que se produzca la descomposición de la materia y la subsecuente producción de gas. Las grasas y aceites que flotan en la superficie son recolectadas mediante las propias rastras del mecanismo de recolección de los lodos y removidas por un dispositivo de recolección superficial.

Las entradas deben diseñarse para dispersar la corriente de alimentación, para que se difunda homogéneamente el flujo por todo el tanque y para evitar los cortocircuitos en las líneas de flujo. Las entradas pueden ser semejantes a vertederos, pero lo más usual es un canal de compuertas espaciadas entre sí.

Los dispositivos de salida son variados. Los hay para permitir que las aguas fluyan en forma de una película delgada por la superficie del tanque y generalmente son ajustables y deben estar nivelados. Los vertederos triangulares cumplen en forma adecuada este objetivo. El propósito es permitir que el caudal de egreso se vierta lentamente para mantener un régimen estable y controlado.

El término " carga del vertedero ", se utiliza para expresar

\* Hilleboe, Herman. *MANUAL DE TRATAMIENTO DE AGUAS NEGRAS*. Décima edición. México: Editorial Limusa, 1,990.



métros cúbicos que circulan diariamente, sobre un metro de vertedero. En las plantas de capacidad menor a 4,000 metros cúbicos por día, la carga del vertedero no debe ser mayor a 133 metros cúbicos por metro de vertedero y por día, hasta un máximo 200 en plantas más grandes.\*

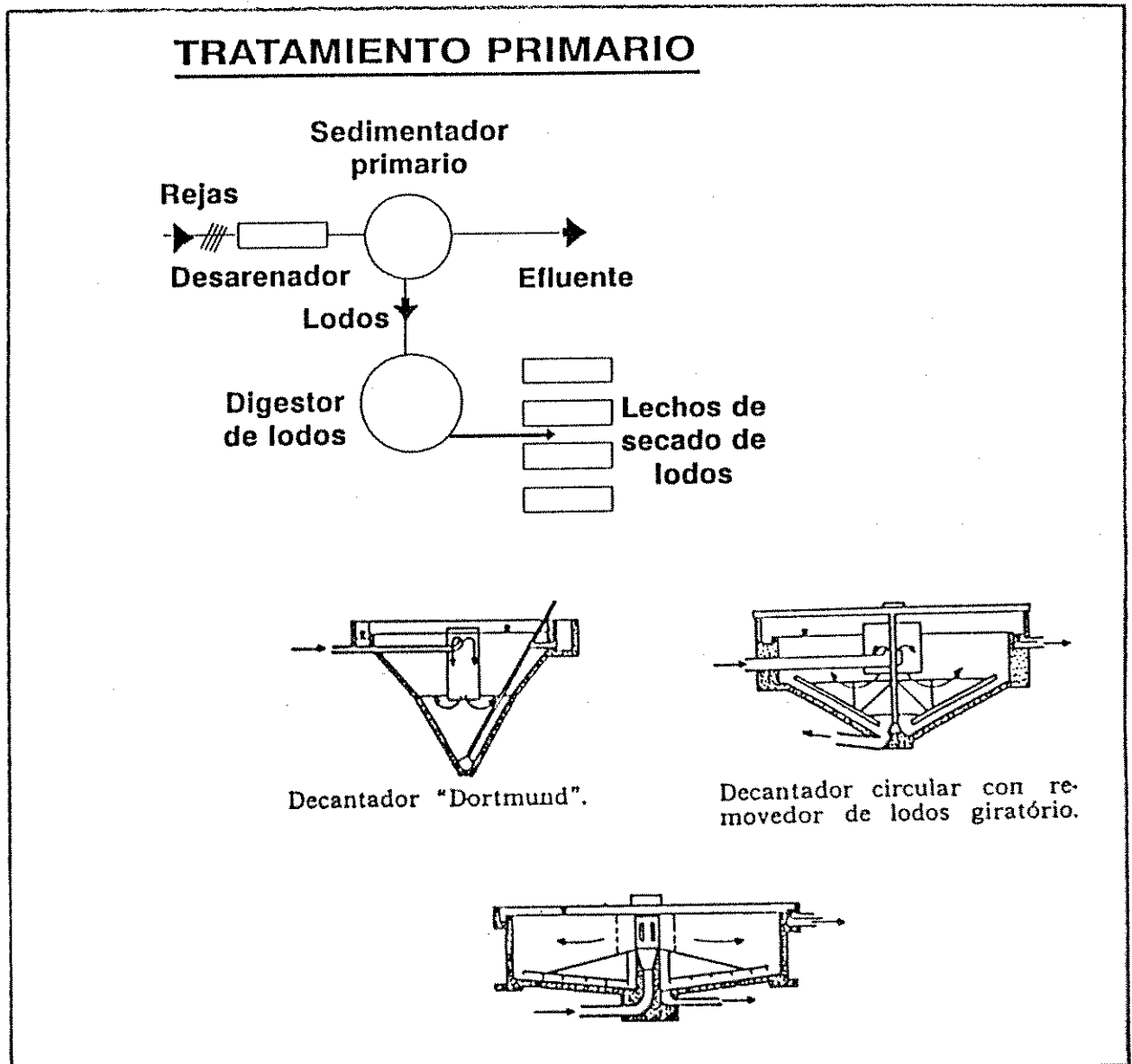
La capacidad superficial de sedimentación se expresa en litros por metros cuadrado de superficie de tanque, basado en el caudal diario de aguas residuales. Cuando no se contemple un tratamiento secundario, esta capacidad no debe ser mayor de 27,000 litros por metro cuadrado y por día, en las plantas cuya capacidad aproximada sea de 4,000 metros cúbicos por día.\*

Según las normas más recientes, la longitud mínima es de 3 m. y la profundidad del líquido no debe ser menor de 2.10 m. ( en tanques de limpieza mecánica ). Las dimensiones del tanque quedan determinadas por el caudal a tratar, recomendando que los tanques no sean demasiado profundos, de acuerdo a las experiencias obtenidas en sistemas construidos.

La figura No.5 presenta un esquema general de una planta de tratamiento primario con la utilización de un sedimentador, y cortes esquemáticos de varios tipos de sedimentadores circulares y su sistema de remoción de lodos.

\* Hilleboe, Herman. *MANUAL DE TRATAMIENTO DE AGUAS NEGRAS*. Décima edición. México: Editorial Limusa, 1,990.

FIGURA No.5



■ Torres Ruiz, Ricardo. ASPECTOS TÉCNICOS DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES. Informe Técnico. Unidad de Saneamiento Ambiental. Area de Tratamiento de Aguas Residuales; CEPIS. Lima, Perú; 1,993.

**d. Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente ( RAFA ):**

Corresponde al Ing. G. Lettinga ( Bioengineering and Biotechnology Document / 1,980 - 1,983 ) el desarrollo de este reactor que por su simplicidad a nivel industrial y aplicación en

países con amplios recursos para operarlos, se ha difundido. Su principio de funcionamiento se basa en la buena sedimentación de la biomasa producida dentro del reactor, la cual se aglomera en forma de granos hasta de 5 mm de diámetro y se mantiene flotando, formando una capa o estrato de lodos que sufren el proceso de digestión.■

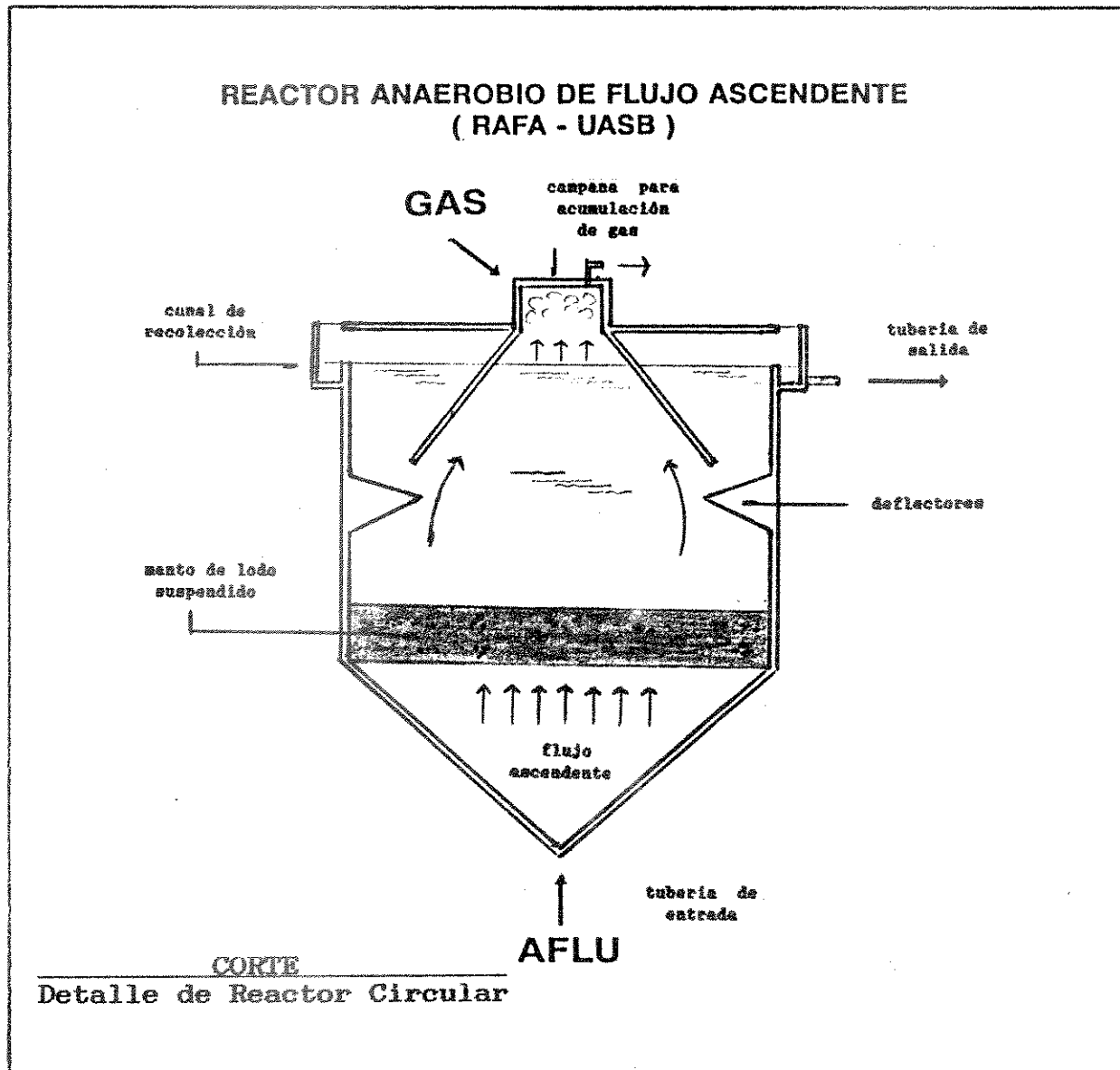
El reactor aplica los dos procesos simultáneos, la clarificación de las aguas y la digestión de los lodos, además de controlar las emisiones de gas. Se da una actividad metanogénica (incluye producción de gas metano) intensa lo que explica los buenos resultados del proceso. El caudal ingresa al reactor en la parte inferior, provocando un flujo ascendente, lo que mantiene un manto de lodos suspendido, condición que deberá mantenerse para su buen funcionamiento. La parte superior cuenta con un sistema de separación gas-líquido-sólidos, el cual evita la salida de los sólidos suspendidos en el efluente y favorece la evacuación del gas. Un aspecto importante en el diseño es la distribución de los dispositivos de entrada del caudal residual, ya que la mala repartición puede provocar que ciertas zonas de la cama de lodos no sean alimentadas, afectando la actividad de degradación. Uno de los puntos débiles del sistema consiste en la lentitud en el arranque del reactor (generalmente de 6 meses);■ por otro lado, en desagües diluidos con una baja concentración (desechos municipales domésticos), las variables

■ Torres Ruiz, Ricardo. ASPECTOS TÉCNICOS DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES. Informe Técnico. Unidad de Saneamiento Ambiental. Área de Tratamiento de Aguas Residuales; CEPIS. Lima, Perú: 1,993.

críticas son las hidráulicas en el funcionamiento del reactor (velocidad ascensional del flujo, velocidad de paso a través del separador de fases, dispositivos de entrada y de salida) y no así el control de la carga orgánica. En el caso de desechos concentrados (agroindustriales), el dimensionamiento se rige por la alta carga orgánica. Para lograr un buen funcionamiento y alcanzar los porcentajes de remoción de DBO y sólidos, el reactor requiere de condiciones muy ideales de funcionamiento lo que dificulta su operación. Requiere de un caudal constante de ingreso para mantener el manto de lodos en suspensión, de lo contrario, o se lavaría el manto por una sobrecarga, o bien se asentaría y rompería la biomasa formada. Es necesario que la carga aplicada se mantenga dentro de un rango para favorecer el proceso de digestión, lo que requiere de un constante monitoreo de laboratorio de las características del lodo dentro del reactor, y las características del afluente para determinar si requiere mayor carga o está sobrepasado. La producción de gas metano está en función directa de la concentración de las aguas residuales, es decir la carga de DBO.

Por tal razón, las aguas residuales de origen doméstico no representan un buen aporte para la producción de gas metano. El estricto control de calidad del afluente, efluente y lodo, representa una capacidad instalada a nivel de laboratorio en el lugar, que se traduce en altos costos de inversión, operación y mantenimiento. La figura No.6 ilustra un dibujo esquemático típico de un RAFA.

FIGURA No.6 -



■ Torres Ruiz, Ricardo. ASPECTOS TÉCNICOS DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES. Informe Técnico. Unidad de Saneamiento Ambiental. Área de Tratamiento de Aguas Residuales; CEPIS, Lima, Perú; 1,993.

**e. Coagulación o Floculación :**

Es el proceso por el cual se ayudan a las pequeñas partículas ( coloides ) suspendidas en el agua a sedimentar mediante la adición de compuestos químicos que inducen a las

partículas pequeñas, a formar partículas más grandes (flóculos), de mayor peso para su posterior sedimentación.

A las sustancias químicas utilizadas en este proceso se les llama coagulantes, de los cuales los más utilizados son las sales de aluminio o hierro, tales como el sulfato de aluminio, el cloruro férrico, y sulfato férrico.

Para la mezcla de los reactivos se utiliza, algunas veces, la turbulencia creada por un vertedero. Es conveniente disponer de un sistema que permita esta mezcla rápida, en forma continua.

### 3.3.3. Tratamiento Secundario :

Este término comúnmente se utiliza para los sistemas de tratamiento del tipo biológico en los cuales se aprovecha la acción de microorganismos presentes en las aguas residuales. La presencia o ausencia de oxígeno disuelto en el agua residual, define dos grandes grupos o procesos de actividad biológica: proceso aerobio (en presencia de oxígeno) y proceso anaerobio (en ausencia de oxígeno).

Dependiendo de la forma en que estén soportados los microorganismos ( tipo de material que los retenga ), existen dos tipos de procesos :

#### • Con microorganismos fijos :

- Filtro anaerobio.
- Reactor tubular de película fija.
- Filtro percolador ( goteador, biofiltro o bilógico).

- Biodiscos
- Con microorganismos suspendidos :
  - Lagunas de Estabilización :
    - Facultativas
      - Aereadas
      - Aerobias
      - Anaerobias
  - Lodos activados
  - Aereación extendida
  - Zanjas de Oxidación

*a. Filtro Anaerobio :*

Esencialmente consiste en un reactor de flujo ascendente empacado con material de soporte plástico o con piedra de 3 a 5 cm. de diámetro. El coeficiente de vacío debe ser grande para evitar el taponamiento, lo que en algunos casos se traduce en un área específica inferior a  $100 \text{ m}^2/\text{m}^3$ .■

Debido a la distribución desordenada del soporte, las purgas de lodo no son efectivas, lo que provoca una acumulación lenta pero constante de biomasa que con el tiempo puede crear problemas de taponamiento. Este reactor puede admitir cargas máximas de 20 Kg de DQO /  $\text{m}^3 \cdot \text{día}$ .■

*b. Reactor tubular de película fina :*

Para evitar la acumulación de lodos dentro del reactor, Lentz y Berg en 1,969, desarrollaron este reactor, de flujo

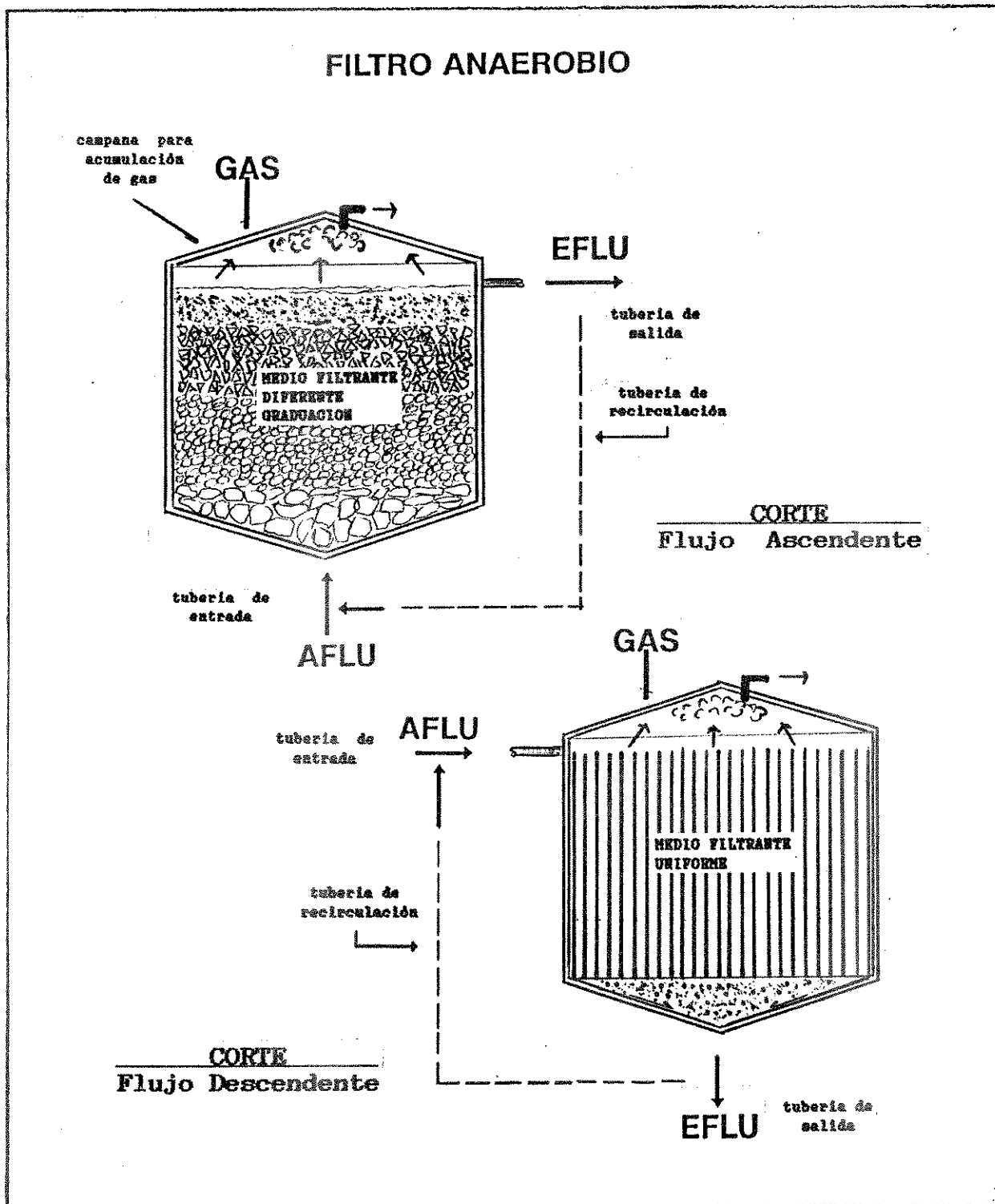
■ Torres Ruiz, Ricardo. ASPECTOS TÉCNICOS DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES. Informe Técnico. Unidad de Saneamiento Ambiental. Area de Tratamiento de Aguas Residuales; CEPIS. Lima, Perú; 1,993.

ascendente o descendente. El soporte utilizado, consiste en tubos o placas dispuestas de tal forma que se crean canales verticales. El material puede ser de cerámica, pvc, poliéster, etc. El ordenamiento del soporte da como resultado coeficientes de vacío importantes con buenas relaciones área/volumen ( $>$  de  $150 \text{ m}^2/\text{m}^3$ ).

Las cargas aplicadas pueden llegar hasta  $30 \text{ kg.DQO}/\text{m}^3 \cdot \text{día}$ . La figura No.7 muestra esquemáticamente, un filtro anaerobio con flujo ascendente, y el reactor tubular de película fina con flujo descendente.



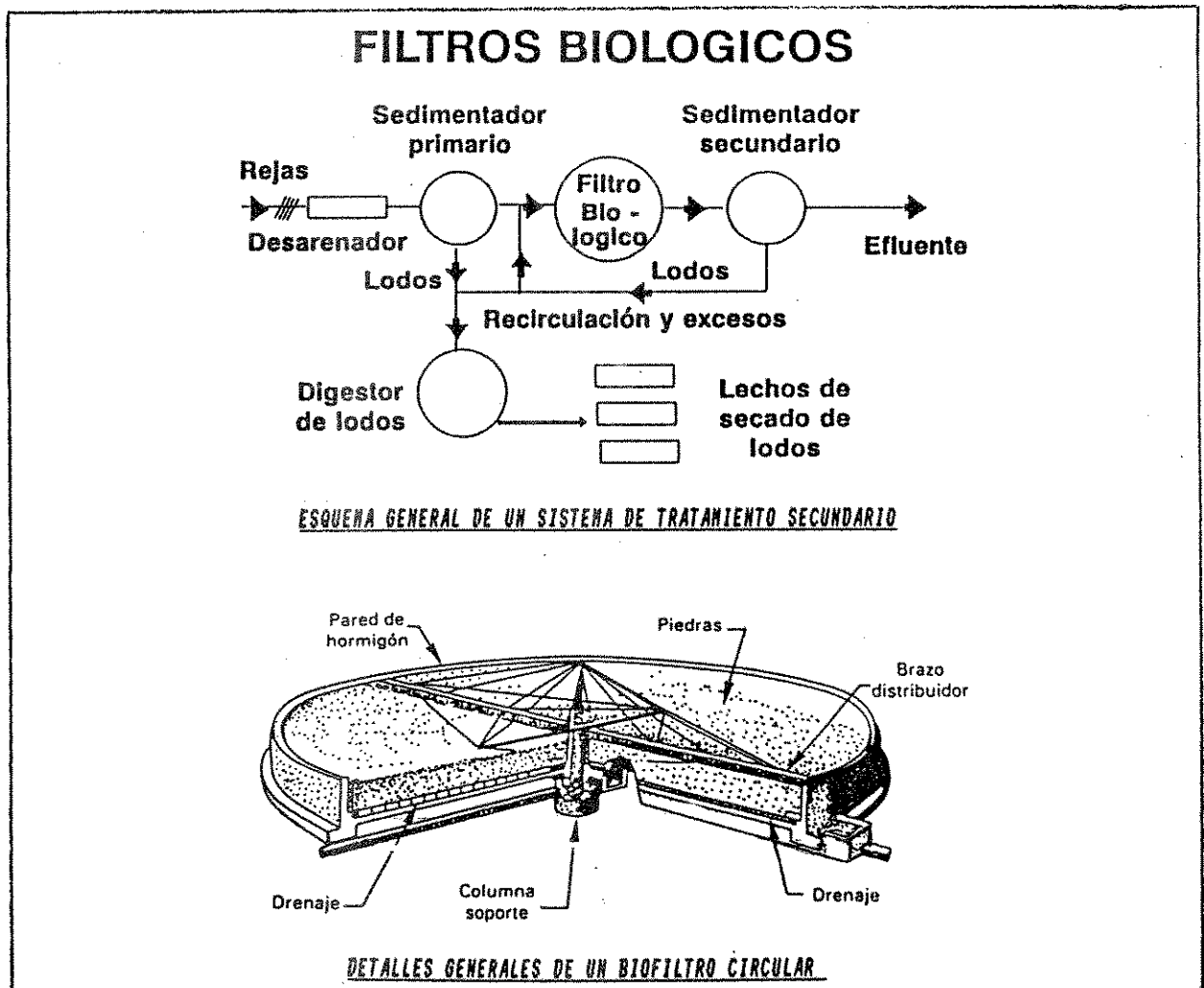
FIGURA No.7



■ Torres Ruiz, Ricardo. ASPECTOS TECNICOS DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES. Informe Técnico. Unidad de Saneamiento Ambiental. Area de Tratamiento de Aguas Residuales; CEPIS. Lima, Perú; 1,993.

primaria, y el material de soporte deberá ser preferentemente de plástico corrugado o material con gran número de espacios vacíos. Los filtros pueden clasificarse, en función de las cargas hidráulica y orgánica aplicadas, en filtros de baja, media y alta tasa. Los de media tasa o estándares se diseñan con cargas hidráulicas de 38,000 a 94,000 m<sup>3</sup>/Ha\*día. La figura No.8 presenta un esquema general que incluye este tipo de filtros.

FIGURA No.8 -



■ Torres Ruiz, Ricardo, ASPECTOS TÉCNICOS DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES. Informe Técnico. Unidad de Saneamiento Ambiental. Área de Tratamiento de Aguas Residuales; CEPIS. Lima, Perú; 1,993.

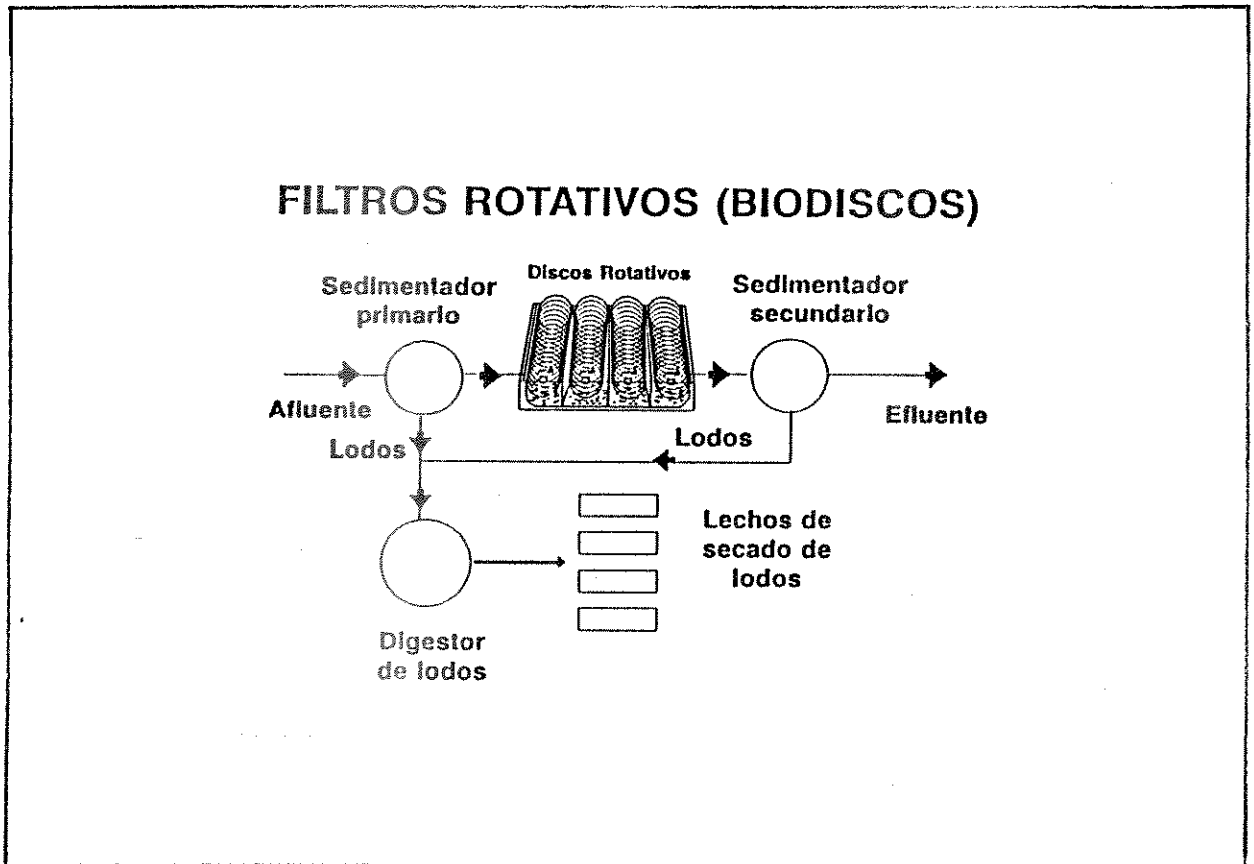
d. *Biodiscos ( filtros rotativos ) :*

Originalmente, este sistema consistía en una serie de discos de madera, con diámetros de 1 a 3.5 m, montados sobre una flecha horizontal giratoria que durante el movimiento, cerca del 40% del área superficial de los discos se encontraba sumergida en el agua residual. Actualmente se utilizan placas de plástico corrugado y otros materiales en vez de madera. Cuando el proceso inicia su operación, los microorganismos del agua residual se adhieren a la superficie del material plástico y se desarrollan hasta que toda esta área quede cubierta con una capa o película microbiana.

Al girar los discos, la película biológica adherida a éstos entra en contacto alternadamente con el agua residual que está en el tanque y con el oxígeno atmosférico. Al salir del agua del tanque, los discos arrastran una capa líquida sobre la superficie de la película biológica, lo cual permite la oxigenación del agua y de los microorganismos. Debido a la sucesión de inmersiones y emersiones, la capa líquida se renueva constantemente. La oxigenación se lleva a cabo por difusión a través de la película líquida que queda adherida a la biomasa. Los microorganismos utilizan el oxígeno molecular disuelto para efectuar la degradación aerobia de la materia orgánica que se utiliza como fuente de nutrientes.

En forma general, el sistema está constituido por un sedimentador primario, biodiscos y un sedimentador secundario. La figura No.9 presenta una planta típica utilizando biodiscos.

FIGURA No. 9 -



■ Torres Ruiz, Ricardo. ASPECTOS TÉCNICOS DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES. Informe Técnico. Unidad de Saneamiento Ambiental. Area de Tratamiento de Aguas Residuales; CEPIS. Lima, Perú; 1,993.

*e. Lagunas de Estabilización :*

Se conoce con este término a cualquier laguna o estanque de agua residual, o grupos de ellas que trabajen individuales, en paralelo o en serie, aplicables a todas las etapas del tratamiento, proyectadas para llevar a cabo la remoción de parámetros físico-químicos y microbiológicos, a través de procesos biológicos, en presencia o ausencia de oxígeno, en función de la carga superficial aplicada y del período de

retención hidráulico; sin necesidad de la adición de agentes químicos externos o aplicación de fuerza mecánica para su funcionamiento. Este sistema requiere de un cribado previo, y obras de arte sencillas para su funcionamiento ya que trabajan bajo carga hidráulica y bajo la acción de elementos atmosféricos (radiación solar, oxígeno, etc), lo que las hace muy sencillas de operar. Según sus características de funcionamiento se dividen en

#### e.1. Lagunas Anaerobias :

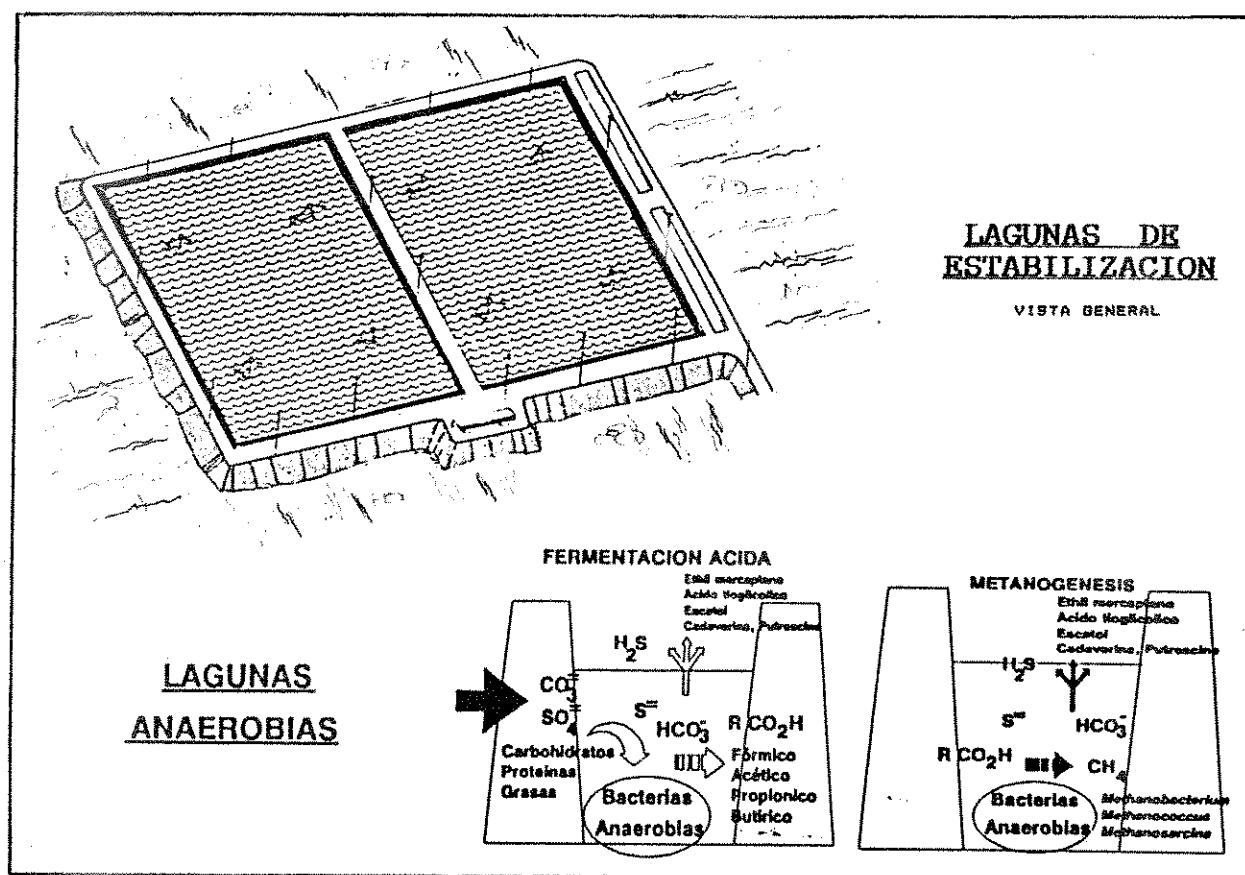
Generalmente se usan como una primera depuración o tratamiento primario, se pueden considerar como un digestor ya que se le aplican cantidades de materia orgánica o carga orgánica por unidad de volumen, de manera tal que prevalezcan las condiciones anaerobias. Algunas de las ventajas de este modelo son: a) su bajo costo, debido al área reducida que se necesita para su aplicación. b) la capacidad de resistir altas concentraciones, c) adaptables para desechos industriales concentrados biodegradables. La eficiencia esperada varía con el tiempo de retención hidráulico. El período de retención puede variar de 1 a 7 días, la altura efectiva de agua se puede estimar de 2.5 a 5 metros; y sus dimensiones en planta se especifican de sección rectangular o cuadrada. Algunas desventajas son: a) Se genera un proceso muy sensible a los cambios ambientales, b) la tasa de mortalidad bacteriana es reducida, c) produce malos

■ Torres Ruiz, Ricardo. ASPECTOS TÉCNICOS DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES. Informe Técnico. Unidad de Saneamiento Ambiental. Área de Tratamiento de Aguas Residuales; CEPIS. Lima, Perú; 1,993.

olores por operación inadecuada, d) se acumulan más rápidamente los lodos que en las lagunas facultativas. La temperatura es uno de los factores que mayor influencia tiene en estas unidades ya que la eficiencia decrece si la temperatura disminuye. Para generar un proceso anaerobio balanceado, el criterio de diseño se rige en definir una carga superficial aplicada de 1,000 a 3,000 kg DBO/Ha\*día, y carga volumétrica de 100 a 300 kg DBO/m<sup>3</sup> \* día. ■

La figura No.10 presenta un detalle general de este sistema y de los procesos químicos producidos en lagunas anaerobias.

FIGURA No.10 ■



■ Torres Ruiz, Ricardo. ASPECTOS TECNICOS DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES. Informe Técnico. Unidad de Saneamiento Ambiental. Area de Tratamiento de Aguas Residuales; CEPIS. Lima, Perú; 1,993.

### e.2. Lagunas Aerobias :

Como su nombre lo indica son lagunas que operan en presencia de aire, son de poca profundidad, no más de 0.80 m, lo que propicia la proliferación de algas que suministran una buena parte del oxígeno necesario. Su desventaja es la cantidad de área superficial que requieren para su buen funcionamiento.

### e.3. Lagunas Facultativas :

Son grandes reservorios de agua residual, en los cuales se pretenden contener el mayor tiempo posible estas aguas para que mediante la acción solar, la oxigenación ambiental, la transferencia de oxígeno a través de la acción fotosintética de las algas formadas y la acción aerobia-anaerobia-facultativa de las bacterias, se produzca la degradación de la materia orgánica hasta su estabilización y la reducción de microorganismos presentes, sobre todo los de tipo patógeno. El diseño se basa fundamentalmente en la determinación de la carga superficial aplicada o carga por unidad de superficie, lo que implica que a mayor carga superficial aplicada por las características del agua residual cruda, mayor área superficial será necesaria para obtener períodos de retención mayores, por consiguiente mayor eficiencia de remoción.

Este tipo de lagunas es el más utilizado por su flexibilidad, requiere menos terreno que las aerobias y no producen los posibles olores de las anaerobias. Como en todos los procesos biológicos, el factor principal que afecta su eficiencia

es la temperatura, estando en función directa. En la remoción de microorganismos patógenos, especialmente del grupo coliforme, (como ya se mencionó), se puede alcanzar una reducción de hasta 5 órdenes logarítmicos, en una laguna terciaria.\* Los aspectos más importantes a considerar en el diseño de lagunas facultativas son:

- Forma geométrica de la laguna en planta.
- Diseño y ubicación de los dispositivos de entrada y salida.
- Dispositivos de desagüe.
- Dispositivos para la distribución uniforme de caudales.
- Remoción de flotantes.
- Diseño, conformación y compactación de diques y fondo.
- Problemas con pérdidas excesivas de agua.
- Problemas con vectores y olores.
- Acumulación y manejo de lodos.

A continuación se dará una descripción de los aspectos más relevantes mencionados anteriormente :

- Forma de la laguna :

En base a resultados experimentales se determinó que en las lagunas de estabilización no existe una mezcla completa sino que se da un flujo disperso y que el grado de dispersión está en

\* León, Guillermo. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES. LAGUNAS FACULTATIVAS. LAGUNAS ANAEROBIAS. Informe Técnico. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria CEPIS, 1,993. Lima-Perú. Editado por CEPIS, 1,993. 25 pp.



función de la geometría de la laguna. De esta cuenta, la mejora ajustando las dimensiones a secciones constantes a lo largo de la unidad ( un ancho constante en toda su longitud para optimizar el periodo de retención hidráulico ). Generalmente se diseñan para alturas o tirantes de agua varían de 1 a 3 metros. \* Estos valores no constituyen límites o rangos de diseño sino criterios de dimensionamiento.

- Dispositivos de entrada y salida :

Experimentalmente se ha determinado que lagunas con iguales dimensiones y criterios de diseño, proporcionan diferentes calidades de efluente al variar la ubicación y número de dispositivos de entrada y salida. Para evitar zonas muertas y cortocircuitos en las líneas de flujo deberán ubicarse varios dispositivos de entrada e igual número de dispositivos de salida, localizados equidistantes uno del otro, a lo ancho de la laguna. Esto propiciará más líneas de flujo continuas sin cortocircuitos, y un mayor aprovechamiento del volumen disponible que está en función directa del incremento del período de retención.

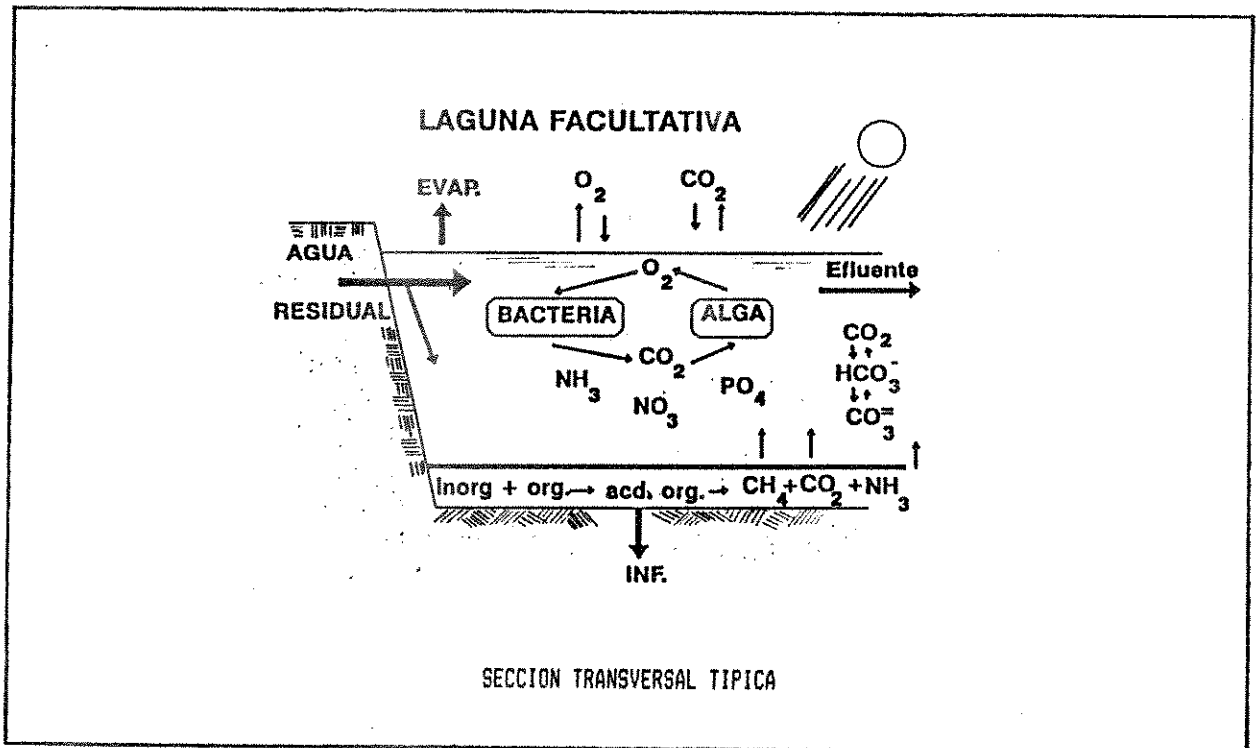
- Problemas con vectores y olores :

La mejor forma de controlar estos vectores y larvas, es mediante una adecuada operación. A través de realizar variaciones del nivel de agua se logran eliminar los huevos depositados tanto

\* León, Guillermo. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES. LAGUNAS FACULTATIVAS. LAGUNAS ANAEROBIAS. Informe Técnico. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria CEPIS, 1,993. Lima-Perú. Editado por CEPIS, 1,993. 25 pp.

en la superficie del agua, como en la orilla del dique al exponerlos al sol. En casos extremos se pueden aplicar insecticidas caceros en las orillas. El uso de peces larvicidas puede constituir un buen método de control de mosquitos, con la salvedad de que este tipo de peces no siempre logra sobrevivir en las lagunas. La figura No.11 muestra un detalle esquemático del proceso de tratamiento que se desarrolla en las lagunas facultativas y los subproductos generados.

FIGURA No.11 -



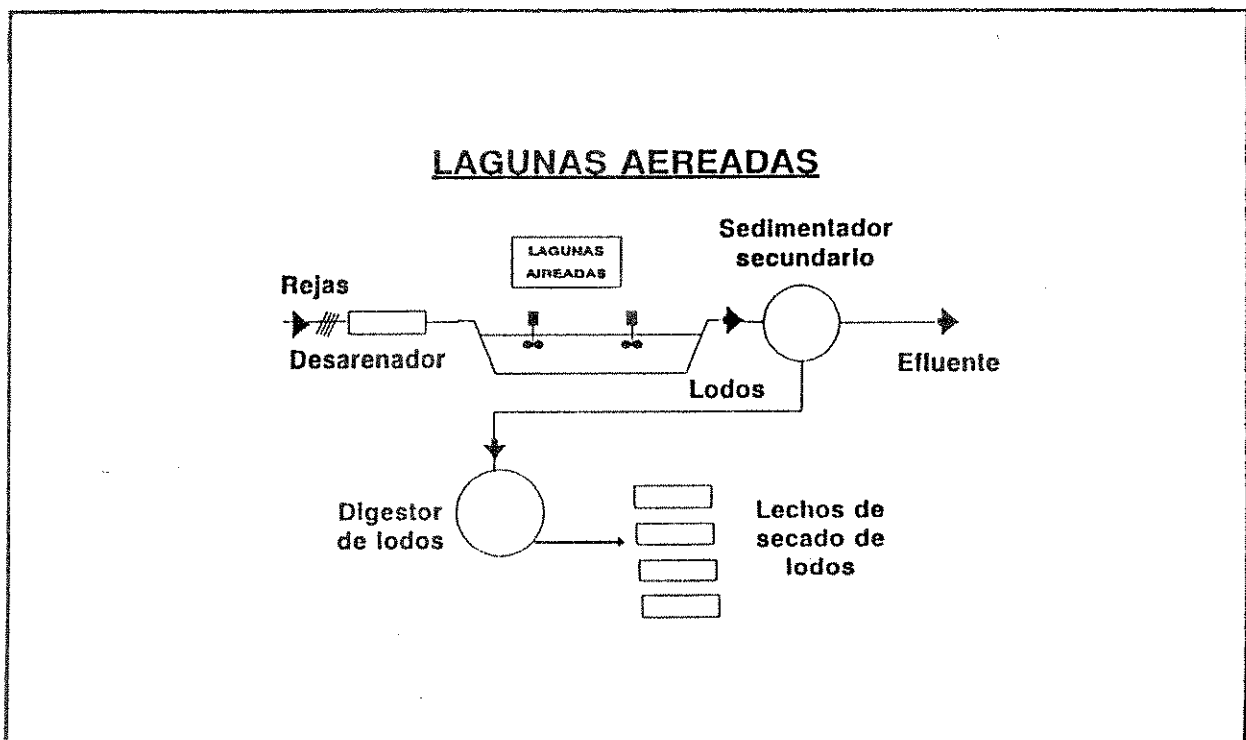
▪ Torres Ruiz, Ricardo. ASPECTOS TÉCNICOS DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES. Informe Técnico. Unidad de Saneamiento Ambiental. Área de Tratamiento de Aguas Residuales; CEPIS. Lima, Perú; 1,993.

#### e.4. Lagunas Aereadas :

En estas lagunas el oxígeno es suministrado por equipos

mecánicos de aereación, también por la actividad fotosintética de las algas y por la transferencia de oxígeno de la interfase aire-agua, logrando con esto disminuir el requerimiento de área. Este sistema puede implementarse en lagunas facultativas para aumentar su capacidad de remoción cuando lleguen a trabajar sobrecargadas. Generalmente se diseñan con profundidades de 2 a 6 m. y tiempos de retención de 3 a 10 días. La figura No.12 muestra un esquema general de una planta de tratamiento con lagunas aereadas.

**FIGURA No.12 -**



■ Torres Ruiz, Ricardo. ASPECTOS TÉCNICOS DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES. Informe Técnico. Unidad de Saneamiento Ambiental. Área de Tratamiento de Aguas Residuales; CEPIS. Lima, Perú; 1,993.

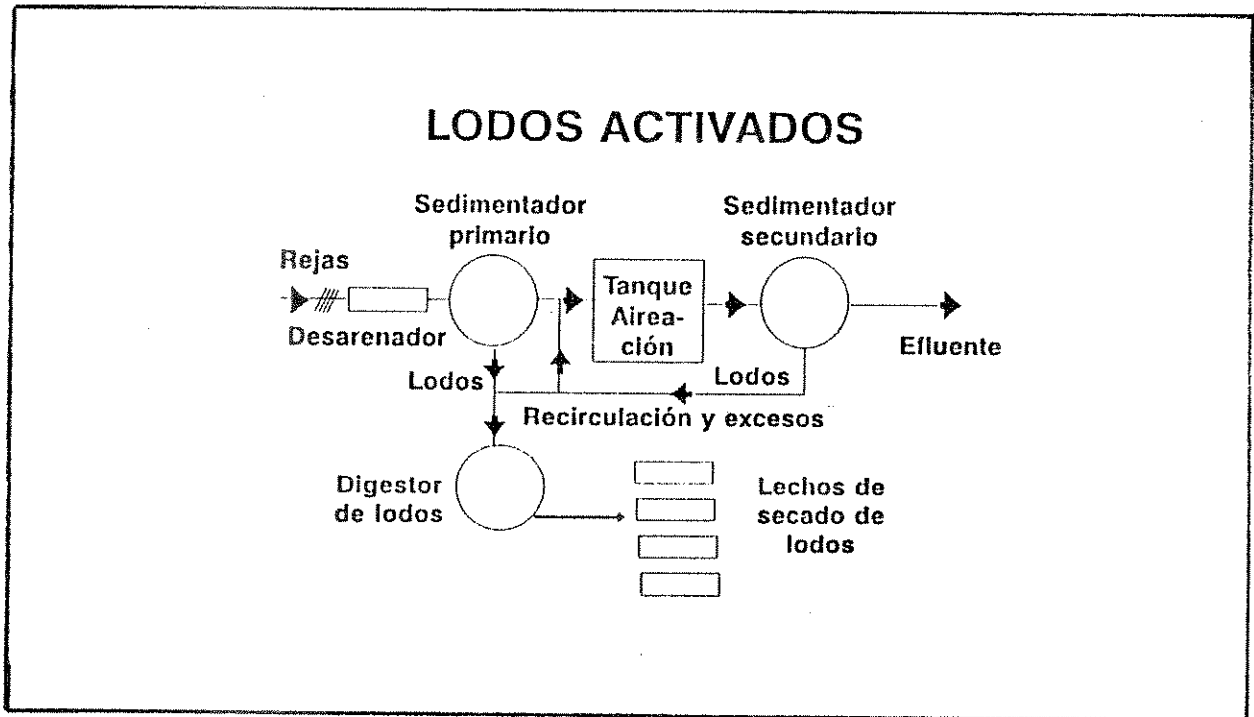
**f. Lodos Activados :**

El lodo activado es un flóculo biológico producido en las

aguas residuales previamente sedimentadas, por el crecimiento de bacterias zoogreas y otros organismos en la presencia del oxígeno disuelto en el agua y acumulado en buenas concentraciones gracias a la recirculación de otros flóculos previamente formados.

El afluente, después de una sedimentación primaria, se mezcla con los lodos en recirculación y se introducen al tanque de aereación, por espacio de 3 a 6 horas. A la mezcla contenida dentro del tanque de aereación, se le conoce como licor mezclado. La figura No.13 muestra una planta de lodos activados típica.

FIGURA No.13 -



• Torres Ruiz, Ricardo. ASPECTOS TÉCNICOS DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES. Informe Técnico. Unidad de Saneamiento Ambiental. Área de Tratamiento de Aguas Residuales; CEPIS. Lima, Perú: 1,993.

*g. Aereación Extendida :*

El proceso de aereación extendida es una modificación del proceso de los lodos activados, en el cual se mantiene una edad de lodos en un valor relativamente alto, dándoles el tiempo suficiente para que una parte de estos lodos logre su estabilización, como consecuencia también su tiempo de retención en los tanques es mayor ( 16 a 24 horas ).■

*h. Zanjas de Oxidación :*

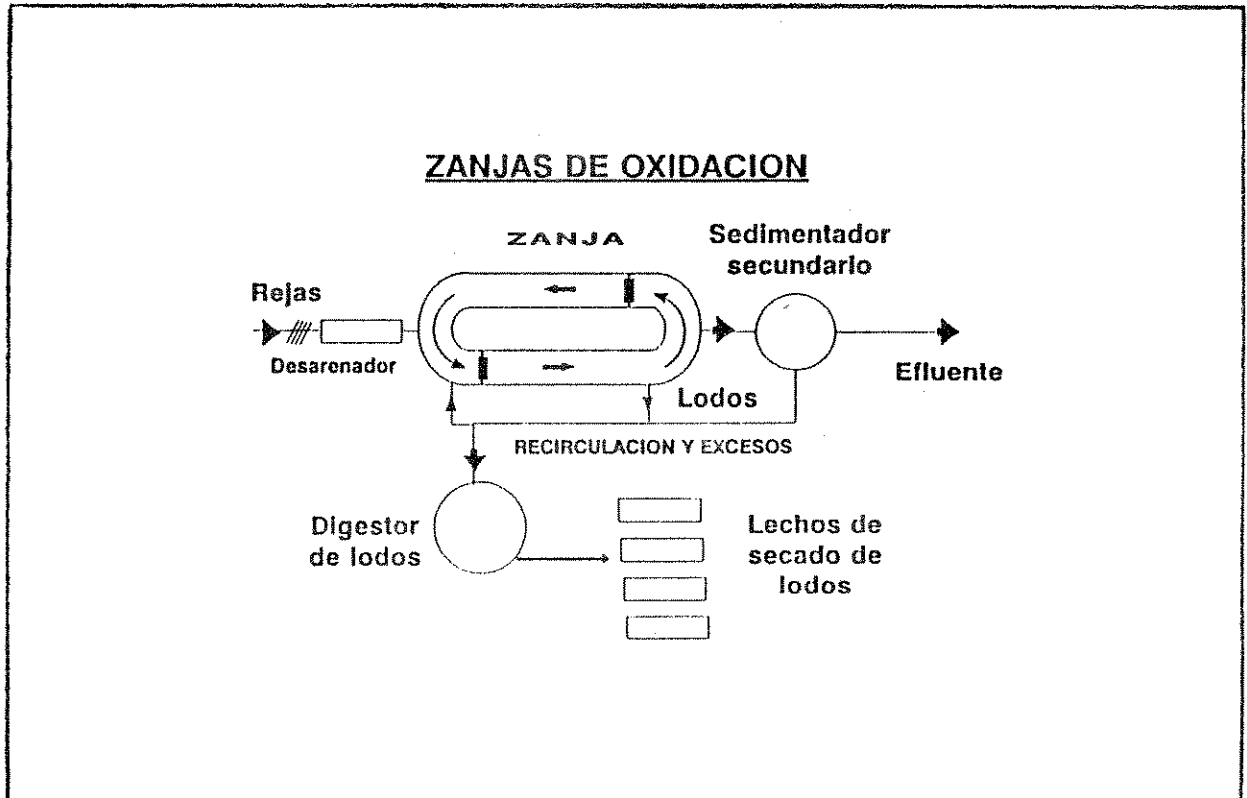
Es un proceso de lodos activados en su variante de aereación extendida anteriormente descrita. La diferencia radica en su configuración, la cual fue diseñada para facilitar su procedimiento constructivo y disminuir costos de inversión, operación y mantenimiento. Generalmente se plantea como una opción altamente competitiva para poblaciones menores de 30,000 habitantes.■ Consiste en zanjas ovaladas y cerradas, con sección transversal trapezoidal, y un tirante de agua entre 1 y 1.8 m.■ Estas zanjas se implementan con equipos mecánicos, rotores o cepillos que imprimen movimiento al agua para mantener los sólidos en suspensión y mezclar el oxígeno necesario para propiciar condiciones aerobias.

Es común su forma ovalada, sin embargo no es una restricción y dependerá básicamente de la configuración del área disponible. Tiene un tiempo de retención hidráulico entre 16 y 24 horas, y

■ Torres Ruiz, Ricardo. ASPECTOS TECNICOS DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES. Informe Técnico. Unidad de Saneamiento Ambiental, Area de Tratamiento de Aguas Residuales; CEPIS. Lima, Perú: 1,993.

una retención de lodos superior a los 30 días. La figura No.14 presenta un sistema de tratamiento con zanjas de oxidación.

FIGURA No.14 ■



■ Torres Ruiz, Ricardo, ASPECTOS TECNICOS DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES. Informe Técnico. Unidad de Saneamiento Ambiental. Area de Tratamiento de Aguas Residuales; CEPIS. Lima, Perú; 1,993.

### 3.3.4. Desinfección :

Existen dos procesos para efectuar la desinfección :

- Físicos : como filtración, ebullición, rayos ultravioleta.
- Químicos : por la aplicación de cloro, bromo, yodo, ozono, iones plata, etc.

#### a. Cloración :

El cloro y sus derivados son indudablemente los compuestos

más usuales, accesibles, de fácil manejo y aplicación existente para la desinfección del agua clara y del agua residual. Ya que su uso es amplio, también se utiliza para :

- eliminar olor y sabor
- decolorar
- ayudar a evitar la formación de algas
- ayudar a eliminar sales de hierro y manganeso
- ayudar a la oxidación de la materia orgánica
- ayudar a mejorar la eficiencia de la sedimentación primaria
- ayudar a eliminar las espumas en los sedimentadores
- favorece el decaimiento y mortandad de microorganismos

Los compuestos más comunes del cloro son el hipoclorito de sodio y de calcio, estos últimos son utilizados en plantas pequeñas, en donde la seguridad y simplicidad son más importantes que el costo. En plantas de tratamiento donde se manejen grandes volúmenes de agua es recomendable el uso de cloro gaseoso.

### 3.3.5. Tratamiento Terciario :

El tratamiento terciario es el grado de tratamiento necesario para alcanzar una calidad físico-química-biológica adecuada para el uso al que se destina el agua residual, sin riesgo alguno. En este proceso se le da un pulimiento al agua de acuerdo al reuso que se le pretenda dar a las aguas residuales renovadas. La tabla No.21 define los procesos más usuales de tratamiento terciario, en las diferentes etapas de tratamiento.

TABLA No. 21

---



---

*TRATAMIENTO Terciario*


---



---

Etapa de Tratamiento	Proceso Químico
▪ Remoción de Sólidos	a. Microcribado b. Coagulación-floculación c. Filtros Rápidos d. Filtros con Diatomeas
▪ Remoción de compuestos orgánicos	a. Adsorción b. Oxidación química
▪ Remoción de compuestos inorgánicos	a. Electrodialisis b. Intercambio iónico c. Osmosis inversa d. Precipitación química
▪ Remoción de Nutrientes	a. Nitrificación - denitrificación b. Desgrasificación c. Cloración d. Intercambio iónico
▪ Reducción de Microorganismos ( desinfección )	a. Cloración b. Ozonización c. Rayos Ultravioleta

---

▪ Syed Quasin. WASTEWATER TREATMENT PLANTS. Technical Review. N.Y., USA: 1,989. Copyright Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria CEPIS. Lima, Perú, 1,990.

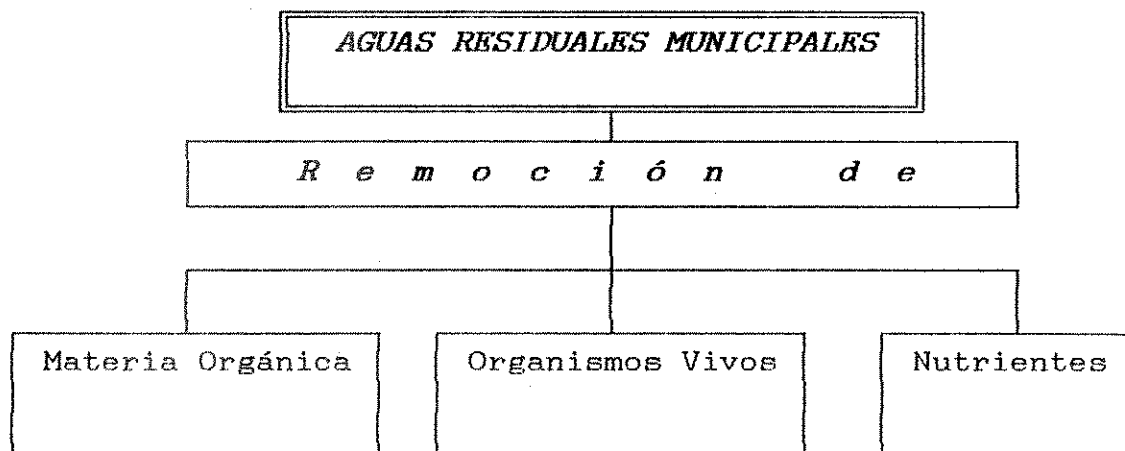


### 3.4. MECANISMOS DE REMOCION :

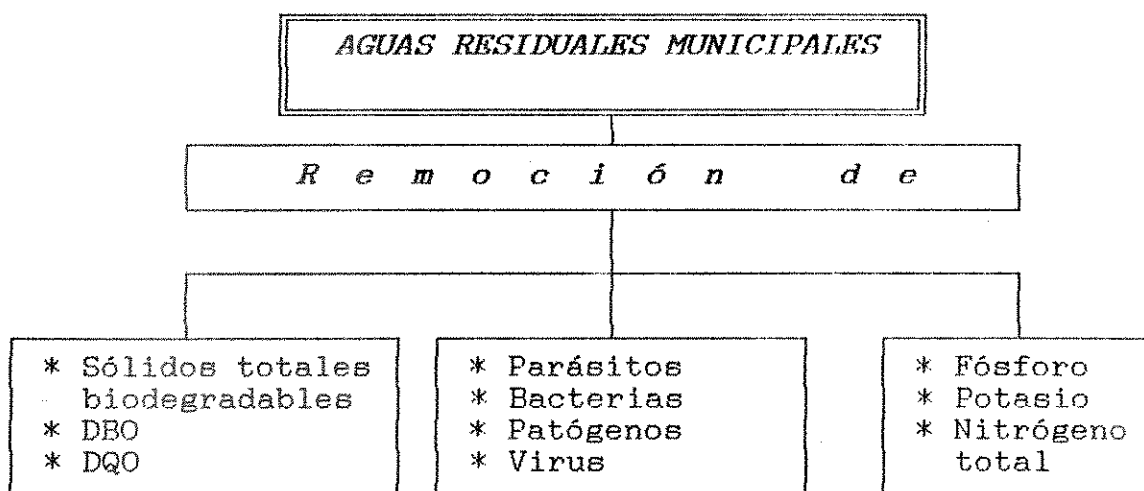
En el proceso de selección de alternativas de solución para el tratamiento de las aguas residuales, es importante definir con precisión qué parámetro o parámetros de contaminación son los que se necesitan remover y hasta cuánto se puede lograr esa remoción en términos de porcentajes. Para lograr una buena identificación de estos dos factores, en capítulos anteriores se desarrolló la caracterización de las aguas residuales y sus constituyentes básicos. En este capítulo se pretende definir la eficiencia y porcentajes máximos de remoción que pueden alcanzar los diferentes sistemas de tratamiento, lo que determinará su adecuada implementación, según el requerimiento de calidad final en el efluente.

En forma esquemática y resumida se enfatiza el objetivo de tratamiento en función de los parámetros de contaminación a reducir o remover :

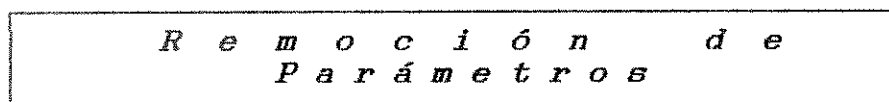
▪ Clasificación General :



▪ Clasificación Específica :



▪ En otros términos :



- Físico-Químicos
- Biológicos
- Microbiológicos

Es importante señalar que la eficiencia en remoción de los diversos parámetros, no está en función directa de la capacidad de la unidad o sistema elegido en forma aislada, sino también está en función de la aplicación de una o todas las etapas de tratamiento ( primario, secundario, terciario ), del proceso biológico seleccionado ( condiciones aerobias o anaerobias ), y de la adecuada combinación de las diversas opciones o tecnologías de tratamiento; obteniendo con esto sistemas integrados más eficientes que operando individualmente.

Actualmente se conocen y se tiene experiencia con un gran número de procesos de tratamiento de aguas residuales, cuya aplicación está relacionada o depende de las características antes descritas, de tal manera que se pueden estimar los procesos más adecuados para la remoción de los diversos contaminantes.

La tabla No.22 define la etapa de tratamiento, el sistema de tratamiento que puede aplicarse en esa etapa y qué parámetros es capaz de remover.

Seguidamente, las tablas Nos.23, 24 y 25, muestran el grado de tratamiento alcanzado, o porcentajes de remoción máximos y mínimos estimados; según los diferentes procesos aplicables y los parámetros a remover de las aguas residuales.

TABLA No.22 \*

*NIVEL DE TRATAMIENTO ALCANZADO POR LOS DIVERSOS SISTEMAS  
EN FUNCION DEL PROCESO QUE REALIZAN*

<i>Sistema</i>	<i>Nivel de Tratamiento</i>	<i>Objetivo del Proceso</i>
▪ Tanque Imhoff	Primario	Remoción de SS y DBO Digestión de Lodos
▪ Sedimentador primario	Primario	Remoción de SS
▪ Lagunas de Estabilización	Primario Secundario Terciario	Remoción de SS, DBO y patógenos
▪ Zanjas de Oxidación	Secundario	Remoción de DBO
▪ Lagunas Aereadas	Secundario	Remoción de DBO
▪ Filtro Percolador	Secundario	Remoción de DBO
▪ Lodos Activados	Secundario	Remoción de DBO

- |   |
|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- SS : sólidos sedimentables</li> <li>- DBO : demanda bioquímica de oxígeno</li> </ul> |
|---|

\* Syed Quasim, WASTEWATER TREATMENT PLANTS, Technical Review. N.Y., USA: 1,989. Copyright Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria CEPIS. Lima, Perú, 1,990.

TABLA No. 23 \*

---



---

*PORCENTAJES DE REMOCION PARA DIFERENTES PROCESOS*

---



---

*( eficiencia en % )*

<i>S i s t e m a</i>	<i>DBO5</i>	<i>DQO</i>	<i>SS</i>
1. Tratamiento Preliminar	5 - 10	-----	5 - 20
2. Sedimentación Primaria	25 - 40	30 - 40	40 - 70
3. Lodos Activados	75 - 95	80 - 85	80 - 95
4. Filtro Percolador de alta tasa	60 - 85	60 - 80	60 - 90
5. Lagunas de Estabilización ( batería de lagunas )	75 - 95	70	90 - 98
6. Zanjias de Oxidación	90 - 95	-----	95 - 98
7. Desinfección : Cloración de AR cruda	15 - 30	-----	-----

---

SS : Sólidos Sedimentables  
 DBO<sub>5</sub> : Demanda Bioquímica de Oxígeno  
 DQO : Demanda Química de Oxígeno

---

\* Syed Quasia. WASTEWATER TREATMENT PLANTS. Technical Review. N.Y., USA: 1,989. Copyright CEPIS. Perú, 1,990.  
 Pessoa y Jordão. TRATAMENTO DE ESGOTOS DOMESTICOS. Folheto Técnico. CETESB. Sao Paulo, Brasil: 1,989. 80 pp.  
 Yánes Cossío, Fabián. LAGUNAS DE ESTABILIZACION. Empresa Municipal. Ecuador: 1,993. Ed. Imprenta Monsalve.  
 Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria CEPIS. EVALUACION DE LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACION DE SAN JUAN DE  
 MIRAFLORES. Reporte Técnico. Eficiencia en Remoción, Calidad Final. Lima, Perú: 1,991.

TABLA No. 24 -

*PORCENTAJES DE REMOCION PARA DIFERENTES PROCESOS*

<i>S i s t e m a</i>	<i>( eficiencia en % )</i>		
	<i>Ptot.</i>	<i>Norg.</i>	<i>NH3</i>
1. Tratamiento Preliminar	----	----	----
2. Sedimentación Primaria	10 - 20	10 - 20	0
3. Lodos Activados	10 - 25	15 - 50	8 - 15
4. Filtro Percolador de alta tasa	8 - 12	15 - 50	8 - 15
5. Lagunas de Estabilización ( batería de lagunas )	40	45	----
6. Zanjas de Oxidación	----	60 - 75	----
7. Desinfección : Cloración de AR cruda	----	----	----

( *Ptot* = Fósforo Total )                      ( *Norg.* = Nitrógeno Orgánico )                      ( *NH3* = Amoníaco )

- \* Syed Quasim. WASTEWATER TREATMENT PLANTS. Technical Review. N.Y., USA; 1,989. Copyright CEPIS. Perú, 1,990.  
 Pessoa y Jordão. TRATAMENTO DE ESGOTOS DOMESTICOS. Folheto Técnico. CETESB, Sao Paulo, Brasil; 1,989. 80 pp.  
 Yánes Cossío, Fabián. LAGUNAS DE ESTABILIZACION. Empresa Municipal, Ecuador; 1,993. Ed. Imprenta Monsalve.  
 Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria CEPIS. EVALUACION DE LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACION DE SAN JUAN DE MIRAFLORES. Reporte Técnico. Eficiencia en Remoción, Calidad Final. Lima, Perú; 1,991.

A nivel de remoción prevista de microorganismos patógenos, bacterias y parásitos, la tabla No.26 amplía la información disponible para los diversos sistemas más comunes; ya que para tratamiento de desechos domésticos, la calidad microbiológica es fundamental.

TABLA No.26 \*

*ELIMINACION PREVISTA DE MICROORGANISMOS  
PRESENTES EN LAS AGUAS RESIDUALES*

( en unidades logarítmicas<sub>10</sub> ) (1)

<i>Proceso</i>	<i>Bacterias</i>	<i>Helmintos</i>	<i>Virus</i>	<i>Quistes</i>
Sedimentación primaria				
- Sencilla	0-1	0-2	0-1	0-1
- Con ayuda química	1-2	1-3	0-1	0-1
Lodos activados	0-2	0-2	0-1	0-1
Biofiltración	0-2	0-2	0-1	0-1
Lagunas aereadas	1-2	1-3	1-2	0-1
Zanjas de oxidación	1-2	0-2	1-2	0-1
Desinfección (cloración u ozonización)	2-6	0-1	0-4	0-3
LAGUNAS DE ESTABILIZACION	1-6	1-3	1-4	1-4

(1) Unidad Logarítmica<sub>10</sub> ( notación )  $\approx 1E+01$

\* Organización Mundial de la Salud OMS, DIRECTRICES SANITARIAS SOBRE EL USO DE AGUAS RESIDUALES EN AGRICULTURA Y ACUICULTURA. Serie de Informes Técnicos 778. Ginebra, Suiza: 1,989. OMS, 1,989.

Finalmente, se pueden alcanzar porcentajes de remoción más altos, si se emplean procesos avanzados de tratamiento, o bien la adición de productos químicos durante las etapas de tratamiento, a los sistemas convencionales antes mencionados.

Las tablas Nos.27 y 28 muestran el grado de tratamiento alcanzado con procesos avanzados.

**TABLA No.27** \*

<i>EFICIENCIA ALCANZADA MEDIANTE PROCESOS AVANZADOS DE TRATAMIENTO</i>			
<i>( eficiencia en % )</i>			
<i>P r o c e s o</i>	<i>DBO5</i>	<i>DQO</i>	<i>SS</i>
▪ Adición de cal, después del tratamiento secundario	50 - 70	50 - 70	60 - 80
▪ Adición de cal, durante el tratamiento secundario	80 - 90	80 - 90	70 - 80
▪ Nitrificación con remoción de DBO carbonacea	80 - 90	80 - 90	70 - 90
▪ Nitrificación después del tratamiento secundario	50 - 70	50 - 60	-----
▪ Intercambio iónico (NH <sub>3</sub> )	0	0	0
▪ Filtración	20 - 50	20 - 50	60 - 80
▪ Adsorción de Carbón	50 - 85	50 - 85	50 - 80
▪ Osmosis inversa	90 - 100	90 - 100	-----
▪ Electrodialisis	20 - 60	20 - 60	-----

\* Syed Quasia, WASTEWATER TRATMENT PLANTS. Technical Review. N.Y.,USA: 1,989. Copyright CEPIS. Perú, 1,990.



TABLA No.28 -

<i>EFICIENCIA ALCANZADA MEDIANTE PROCESOS AVANZADOS DE TRATAMIENTO</i>			
( eficiencia en % )			
<i>P r o c e s o</i>	<i>Ptot</i>	<i>Norg</i>	<i>NH3</i>
▪ Adición de cal, después del tratamiento secundario	70 - 90	60 - 90	0
▪ Adición de cal, durante el tratamiento secundario	75 - 85	60 - 90	0
▪ Nitrificación con remoción de DBO carbonacea	10 - 15	75 - 85	85 - 95
▪ Nitrificación después del tratamiento secundario	----	40 - 50	90 - 96
▪ Intercambio iónico (NH3)	0	0	90 - 95
▪ Filtración	20 - 50	50 - 70	0
▪ Adsorción de Carbón	10 - 30	30 - 50	----
▪ Osmosis inversa	90 - 100	90 - 100	60 - 90
▪ Electrodialisis	----	80 - 95	30 - 50

( *Ptot* = Fósforo Total )                      ( *Norg.* = Nitrógeno Orgánico )                      ( *NH3* = Amoniaco )

▪ Syed Quasin. WASTEWATER TREATMENT PLANTS. Technical Review. N.Y.,USA: 1,989. Copyright CEPIS. Perú, 1,990.

### 3.5. SELECCION DE ALTERNATIVAS :

#### 3.5.1. Introducción :

El término " tecnología apropiada " aplicado al saneamiento básico, califica la viabilidad de una obra o servicio dado.

No todos los países, ni todas las sociedades y sus regiones, se encuentran en la misma etapa de desarrollo, ni pueden aplicar los mismos esquemas para la solución de sus problemas de salud y saneamiento. La solución que es apropiada en un lugar dado y en un tiempo dado, resulta inapropiada en otro lugar y en otro tiempo.

Muchos de los expertos en los países industrializados y superdesarrollados, resultan inexpertos al enfrentarse a la realidad de las áreas deprimidas de los países latinoamericanos. Los campesinos con su sentido común y su conocimiento del medio son los que en realidad pueden orientar a los técnicos en el entorno de su comunidad, para que no simplemente apliquen sus conocimientos avanzados en forma aislada, sino por el contrario, que evalúen el medio donde va a ser aplicado el sistema propuesto. Por ejemplo, hay muchos pueblos en los que se han construido tanques de distribución de agua potable que nunca logran llenarse. Esto sucede porque los tanques se dimensionan en base a una hipótesis de consumo de agua, que no se da en la práctica. Seguir construyendo estas estructuras sin tomar medidas para racionalizar el consumo, constituye una tecnología inapropiada. La costumbre generalizada de tener ingenieros proyectistas que nunca van al campo a verificar sus hipótesis de

diseño, conlleva a proyectos inapropiados.

Una tecnología sobrevive sólo si los usuarios de ella están dispuestos a pagar su costo. Un ejemplo lo constituye la aviación. Aún los países más atrasados logran poseer una línea aérea con aviones modernos, ya que el servicio se presta a cierta parte de la población que puede y está dispuesta a pagarlo.

Bajo el concepto anterior, este es el punto culminante, en el cual se pone en juego el *criterio* del diseñador o proyectista, ya que en base a todos los datos recabados en el análisis propuesto en capítulos anteriores, y con todos los elementos de juicio disponibles, es únicamente el responsable directo del proyecto, el que determinará cual alternativa de solución considera, bajo su punto de vista técnico, la más adecuada. Es importante señalar esto, ya que no existe una *receta* que defina de principio a fin qué debe hacerse, sino más bien un patrón, una guía, un esquema que delimita un procedimiento lógico, técnicamente secuencial, que bajo la supervisión y aprobación del diseñador, dará como resultado un proyecto bien concebido, producto del criterio de selección adoptado.

Es muy difícil ( bajo la opinión del Autor del presente trabajo de tesis ), cometer errores de fondo que desvíen el esquema propuesto de un proyecto y no acertar al pronóstico previsto, si se desarrollan los pasos básicos que se recomiendan; ya que en la multiplicidad de elementos de juicio, la investigación y la asesoría pertinente y necesaria (otras opiniones profesionales), hay seguridad en la toma de decisiones.

### 3.5.2. Etapas de Selección :

La importancia de seleccionar la alternativa adecuada, plantea la necesidad de definir etapas que involucren todos los aspectos relevantes e importantes para dar solución al problema. De esta cuenta, se consideran 5 etapas fundamentales en este proceso de análisis, definidas de la siguiente manera :

## *A g u a s      R e s i d u a l e s*

---

El tratamiento plantea las siguientes interrogantes

- » *PORQUE SE DEBEN TRATAR ?*
- » *QUE SE VA A TRATAR ?*
- » *HASTA CUANTO SE DEBEN TRATAR ?*
- » *DONDE SE VA A DESCARGAR EL EFLUENTE ?*
- » *COMO SE VAN A TRATAR ?*

a. **PORQUE SE DEBEN TRATAR ?**

*Recapitulando*

■ *Alarmante deterioro de los RECURSOS HIDRICOS*

**AMERICA LATINA**  
**Alcantarillado: 49%**



**AGUAS RESIDUALES**  
-----  
**TRATAMIENTO**  
**menos del 10%**

**más de**  
**40 millones de**  
**metros cúbicos/día**

**Ríos, mares y lagos**

**Irrigación**



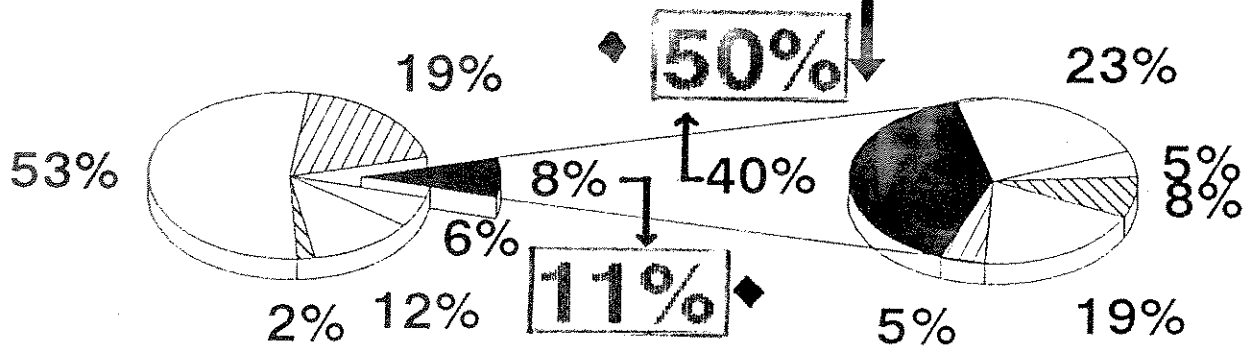
*Recapitulando*

■ *Incidencia directa sobre la SALUD HUMANA*

**Causas de muertes  
1980**

◆ **1,990**

*Infecciosas y parasitosis*



Países desarrollados

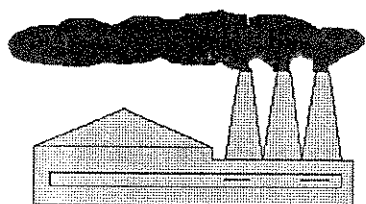
Países en desarrollo



*Recapitulando*

- *Protección al entorno ECOLÓGICO*

## REDUCIR LA CONTAMINACION



■ **MINIMIZAR**

■ **EVITAR**

■ **UTILIZAR**

■ **TRATAR**

■ **ELIMINAR**

**AMBIENTE**

*Ampliamente cubierto en el Capítulo 1*

**b. QUE SE VA A TRATAR ?**

*Recapitulando*

- *CLASIFICACION*
- *CARACTERIZACION*
- *Aguas Residuales de Origen DOMESTICO*

**TRATAMIENTO**

**O  
B  
J  
E  
T  
I  
V  
O**

**REMOCIÓN DE:**

**MATERIA ORGANICA**      **PARASITOS**

**NUTRIENTES**      **BACTERIAS Y VIRUS**

**PATOGENOS**

*Ampliamente cubierto en el Capítulo 2*



**c. HASTA CUANTO SE DEBEN TRATAR ?**

■ El hasta cuánto, estará en función de:

**1. LEGISLACION VIGENTE A NIVEL DE SANEAMIENTO :**

- Normas que regulan niveles de contaminación
- Máximos y mínimos permisibles

**2. CALIDAD FINAL REQUERIDA EN EL AFLUENTE :**

- Reuso en AGRICULTURA
- Reuso en ACUICULTURA
- Reuso del CUERPO RECEPTOR aguas abajo

**1. LEGISLACION VIGENTE A NIVEL DE AGUAS RESIDUALES :**

- a. Entidad reguladora para la República de Guatemala :
  - Comisión Nacional del Medio Ambiente - **CONAMA**
- b. Entidades internacionalmente reconocidas :
  - Organización Mundial de la Salud - **OMS**
  - Banco Mundial - **WB**
- c. Otras instituciones reguladoras :
  - American Waste Water Asosiation - **AWWA** - USA
  - American Health Asosiation - **AHA** - USA
  - Sistema de normas para la protección del medio ambiente - **ATMOSFERA** - La Habana, CUBA
  - Normas Nicaraguenses para el control de la contaminación de las aguas residuales domésticas, industriales y comerciales. **NICARAGUA**

a. **REGLAMENTO DE REQUISITOS MINIMOS Y SUS LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINACION PARA LA DESCARGA DE AGUAS SERVIDAS - DECRETO 60-89**

Comisión Nacional del Medio Ambiente - CONAMA

**LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINACION PARA LA DESCARGA DE LAS AGUAS SERVIDAS MUNICIPALES**

<i>Muestras</i>	<i>Sólidos Sedimentables</i>	<i>DQO</i>	<i>DBO5</i>
Muestra tomada al azar.	1.0 mg/L	---	---
Muestra, mezcla de 2 horas.	1.0 mg/L	500 mg/L	250 mg/L
Muestra, mezcla de 24 horas.	1.0 mg/L	450 mg/L	200 mg/L

**NOTA:** Se presentan a continuación la Normas Nicaragüenses para el Control de Contaminación de las Aguas Residuales Municipales como un parámetro de comparación, en las tablas Nos.29 y 30.

**TABLA No.29 ■**

**LIMITES PERMISIBLES DE CONTAMINACION DE AGUAS RESIDUALES PARA POBLACIONES HASTA DE 75,000 HABITANTES**

<i>Parámetros</i>	<i>Rangos y Límites Máximos Permisibles Promedio Diario ( en mg/L )</i>
- pH ( adimensional )	6 - 9
- Sólidos suspendidos totales	100
- Grasa y aceites	20
- Sólidos sedimentables	1.0
- DBO <sub>5</sub>	110
- DQO	220

■ Diario Oficial Nicaragüense La Gaceta. INFORME OFICIAL. Managua, Nicaragua: 26 de junio de 1,995. p.25.

TABLA No. 30 .

<i>LIMITES PERMISIBLES DE CONTAMINACION DE AGUAS RESIDUALES PARA POBLACIONES MAYORES A 75,000 HABITANTES</i>	
<i>Parámetros</i>	<i>Rangos y Límites Máximos Permisibles Promedio Diario ( en mg/L )</i>
- pH ( adimensional )	6 - 9
- Sólidos suspendidos totales	80
- Grasa y aceites	10
- Sólidos sedimentables	1.0
- DBO <sub>5</sub>	90
- DQO	180
- Coliformes Fecales en Número más probable NMP (*)	1,000 CF/100ml ( en el 90% del muestreo )
	5,000 CF/100ml ( máximo )
(* Aplicable a todo tipo de poblaciones )	

\* Diario Oficial Nicaragüense La Gaceta. INFORME OFICIAL. Managua, Nicaragua: 26 de junio de 1,995. p.25.

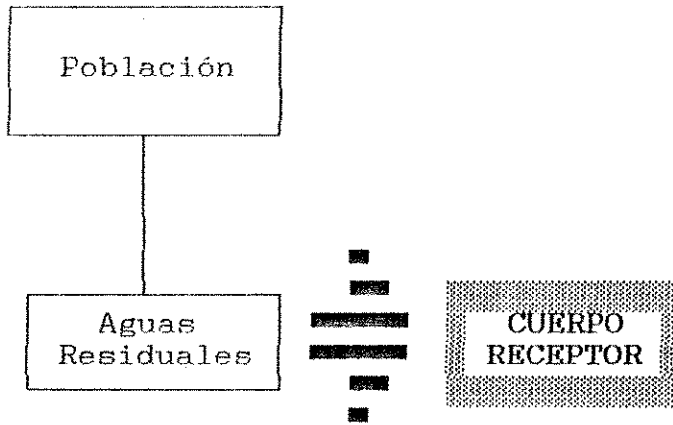
## 2. CALIDAD FINAL REQUERIDA EN EL EFLUENTE :

- Reuso (directo) para el riego de cultivos de todo tipo, de consumo humano.
- Reuso (directo) para cultivo de peces en estanques acuícolas, destinados para el consumo humano.
- Reuso del cuerpo receptor aguas abajo para abastecimiento de ganado, para consumo humano o para riego de cultivos ( reuso indirecto de las aguas residuales ) preservando la calidad del agua receptora.

*La calidad microbiológica es el parámetro fundamental de contaminación a controlar, en el caso de REUSO.*

La Organización Mundial de la Salud ( OMS ), define como directriz sanitaria : 1000 CF / 100 ml ( valor máximo )

**d. DONDE SE VA A  
DESCARGAR EL EFLUENTE ?**



» CURSO SUPERFICIAL DE AGUA

- Río
- Lago
- Mar, etc.

» IMPORTANCIA DEL CUERPO RECEPTOR

- Unica fuente de suministro aguas abajo para abastecimiento
- Zona recreativa, área turística, etc.

» CALIDAD DEL CUERPO RECEPTOR AGUAS ARRIBA

- Físicoquímica
- Microbiológica

» CAPACIDAD DE AUTOPURIFICACION

« REUSO

- Agricultura
- Acuicultura
- Forestación
- Abastecimiento etc.



SI LAS AGUAS RESIDUALES NO SE VIERTEN A NINGUN CUERPO RECEPTOR, SERA DEBIDO A :

« INFILTRACION

- Superficial
- Subterránea



» CURSO SUPERFICIAL DE AGUA :

▪ Es importante señalar que dependiendo del tipo de cuerpo receptor que se presente, así será el análisis de hasta cuánto se debe tratar una descarga de agua residual que será vertida a éste, por lo tanto el cómo se realizará ese tratamiento, es decir, que las características generales del cuerpo receptor marcan o delimitan el impacto ambiental que producirá una emisión de aguas residuales sin tratar, por consiguiente el rango de reducción de contaminantes que hay que aplicar para disminuir y minimizar ese impacto, hasta el punto en el cual las normas locales que regulan el vertido de las aguas residuales sean cumplidas, o bien se satisfagan los requerimientos de protección sanitaria para el cuerpo receptor en función del uso que se le dé aguas abajo.

» IMPORTANCIA DEL CUERPO RECEPTOR :

En un alto porcentaje, los cursos superficiales de agua representan la única fuente de abastecimiento para los pobladores, en términos de nuestras comunidades ( particularmente los ríos ). Este hecho define un criterio de selección preliminar de algún sistema, el cual ( aún sin conocer las características principales del cuerpo receptor ), deberá ser capaz de brindar una protección a la salud humana.

Es probable que el cuerpo receptor constituya el entorno de algún centro recreativo que represente una atracción turística, la cual evidencia una fuente de ingresos en términos económicos

para los pobladores que radican en esta zona. Su preservación será en beneficio directo de la comunidad que lo explota para subsistir.

» CALIDAD DEL CUERPO RECEPTOR AGUAS ARRIBA :

Es importante enfatizar que un río ( mencionado como el caso más frecuente de masa receptora ), en su calidad de curso superficial de agua tiene un origen, un recorrido o trayectoria y un desenlace o desembocadura. En ese recorrido recibe las descargas de las diferentes poblaciones que están ubicadas a lo largo de su trayectoria, generándose una contaminación de tipo acumulativa, trasladando el problema a las subsiguientes comunidades radicadas aguas abajo, deteriorando cada vez más la condición del cuerpo receptor.

Deberá transmitirse la necesidad de que todos deben tratar sus aguas residuales en forma individual con el propósito de sanear no sólo tramos aislados del cuerpo receptor, sino más bien la cuenca hidrográfica de esa región que involucra a todas las comunidades que la conforman.

» CAPACIDAD DE AUTOPURIFICACION  
DEL CUERPO RECEPTOR :

El ingeniero debe familiarizarse no sólo con el síndrome de la contaminación y los métodos correctivos, sino también con la fuerza de autopurificación natural. Para este propósito debe ser capaz de:

- a) Identificar los orígenes y grados de la contaminación.
- b) Dimensionar las fuerzas que intervienen en la purificación natural.
- c) RECONOCER LAS LIMITANTES DE ESTAS FUERZAS.
- d) Definir una propuesta para lograr la descontaminación.

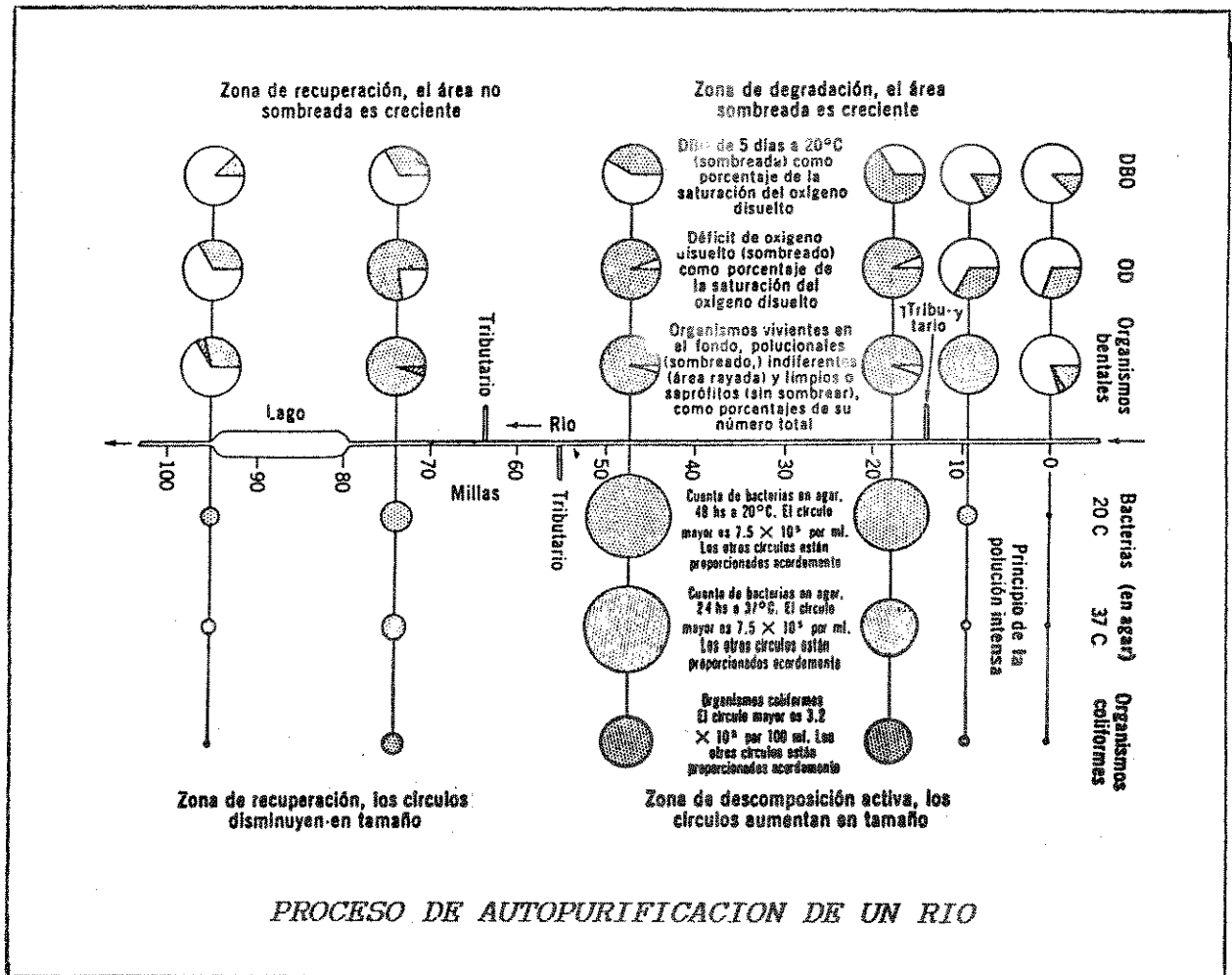
Cuando los contaminantes domésticos y similares se descargan en el agua, se produce una sucesión de cambios en la calidad de la misma. Cuando se vierte una carga única y fuerte de materia orgánica putrescible a una corriente limpia, el agua se enturbia, la luz solar no puede llegar a las profundidades y mueren las plantas verdes que, mediante fotosíntesis, remueven el bióxido de carbono de las aguas y les proporcionan oxígeno.

Una corriente contaminada en un punto dado tenderá a volver a un estado similar al que poseía antes de ser contaminada nuevamente solamente si este lapso de tiempo es lo suficientemente espaciado para dar lugar a la recuperación. A esto se le conoce como capacidad de autopurificación. Se lleva a cabo por medios físicos, químicos y biológicos. El proceso de autopurificación depende del tiempo, es decir, que no se da en forma inmediata, ya que una corriente fuertemente contaminada puede cruzar grandes distancias durante muchos días de flujo continuo hasta que se recupere; de la temperatura, del abastecimiento de oxígeno y de factores ambientales que regulan el proceso biológico. Este fenómeno se lleva a cabo en 4 etapas fundamentales, las cuales son :

- Zona de Degradación :
- Zona de Descomposición :
- Zona de Recuperación :
- Zona de Restauración :

La figura No.15 ilustra los cambios observados en algunos de los parámetros útiles en determinar la contaminación y purificación natural. Las muestras en las que se basan todos los resultados, excepto los bentales, se obtuvieron en pleno verano.

FIGURA No.15 =



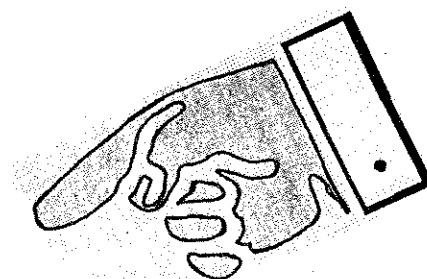
■ Fair, R. et al., PURIFICACION Y TRATAMIENTO DEL AGUA Y AGUAS RESIDUALES. 2da.Ed. México: Ed.Limusa, 1,975.



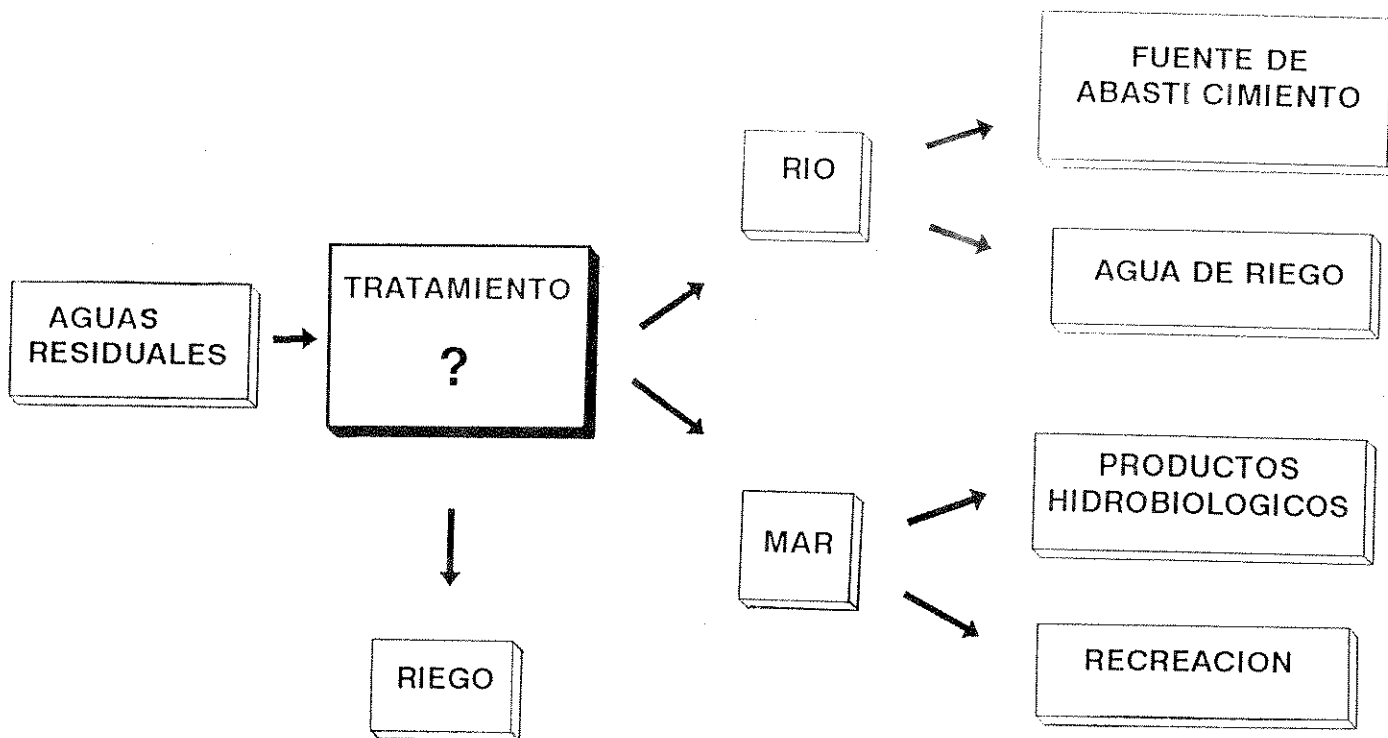
*e. COMO SE VAN A TRATAR ?*

■ La REFLEXION de nuestros problemas plantea el uso de:

**TECNOLOGIAS APROPIADAS DE TRATAMIENTO**

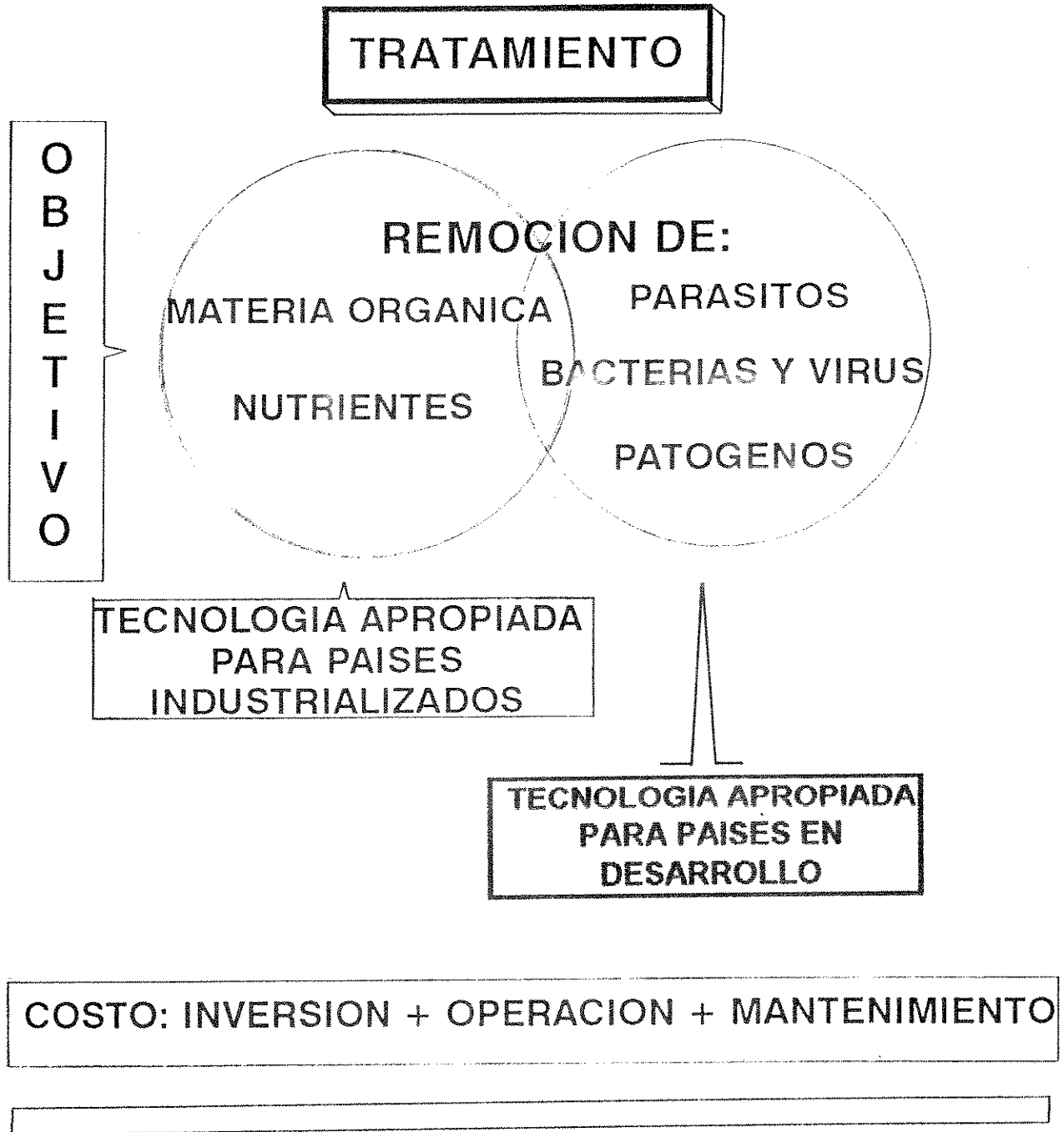


■ Esta tecnología debe ENCAJAR en el siguiente esquema:



■ **TECNOLOGIA APROPIADA IMPLICA :**

- *Alcanzar el objetivo de tratamiento.*
- *Viabilizar economicamente el proyecto.*

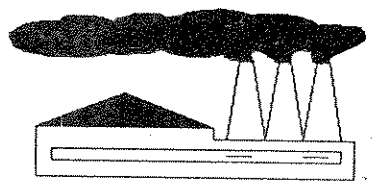


■ *Atractivo Económico - REUSO - requisitos:*

- *No tóxicos :*

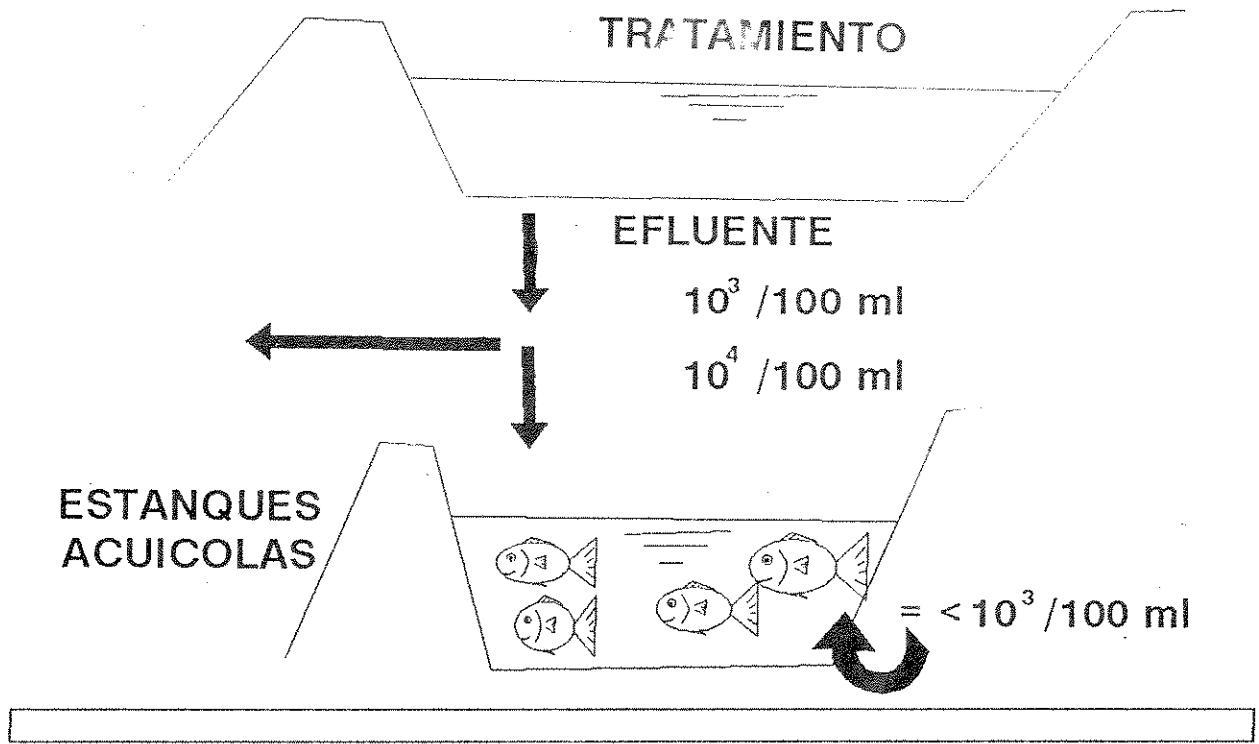
**EL REUSO DE AGUAS RESIDUALES  
NO ES POSIBLE ...  
SI NO EXISTE REDUCCION DE**

**TOXICOS  
TOXICOS  
TOXICOS  
TOXICOS  
TOXICOS  
TOXICOS**

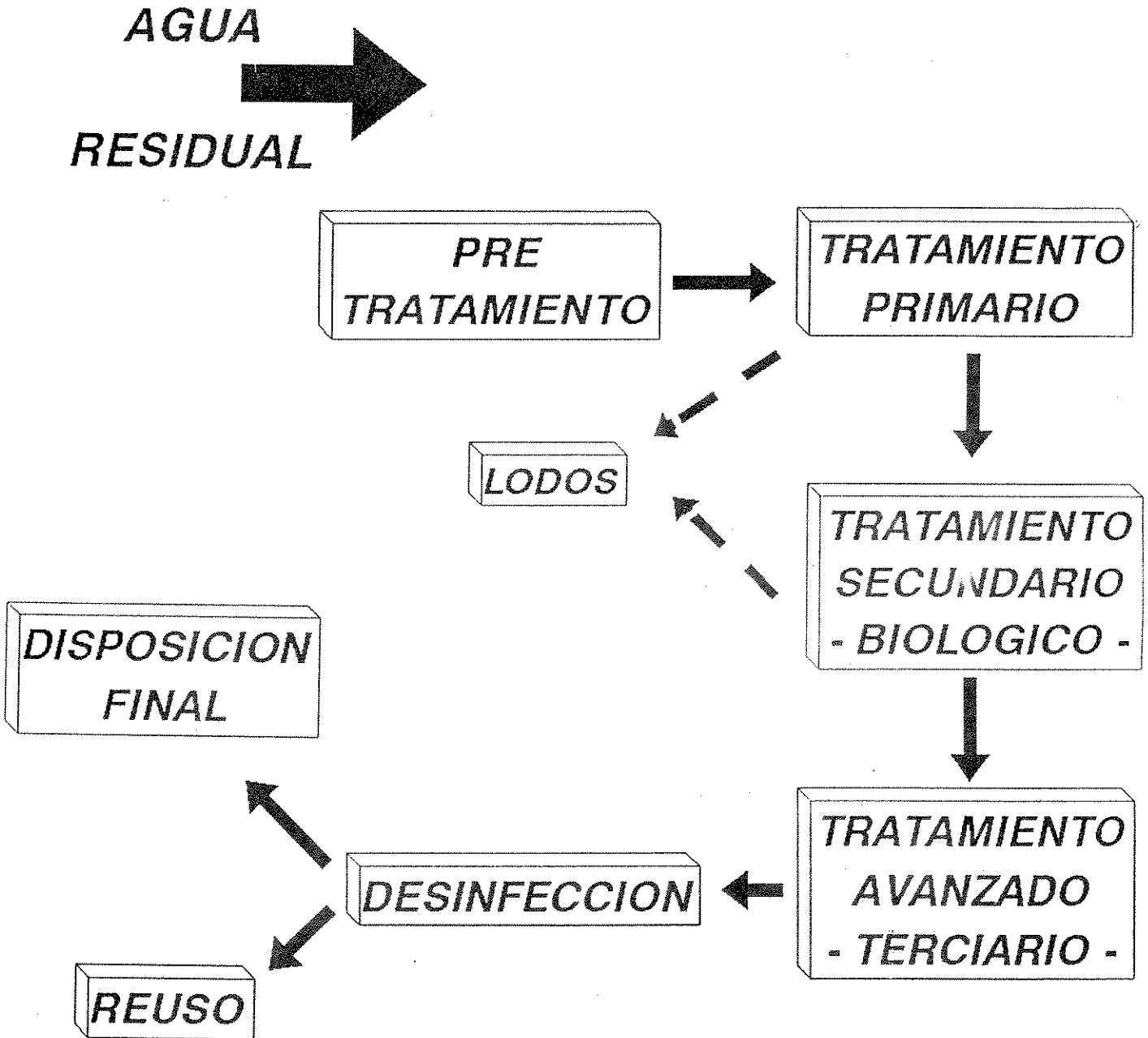


**...EN LA FUENTE**

■ *Directrices Sanitarias :*



- 
- La tecnología a implementar deberá ser capaz de cubrir las siguientes etapas de tratamiento :



# SELECCION DE ALTERNATIVAS DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO



■ *Sistemas de Infiltración*

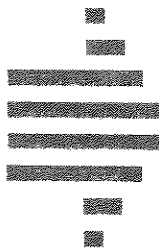
■ *Tratamiento Primario*

■ *Tratamiento Completo*

■ *Procesos Aerobios*

■ *Procesos Anaerobios*

■ *Necesidad de Desinfección etc...*



o bien  
p o s i b l e s  
c o m b i n a c i o n e s

---

a. REQUERIMIENTOS : ( Ventajas y Desventajas )

---

- . RANGO DE APLICACION
- . SUPERFICIE NECESARIA
- . SIMPLICIDAD DE CONSTRUCCION :
  - » Movimiento de tierras
  - » Obra civil
  - » Equipos
- . OPERACION Y MANTENIMIENTO
  - » Simplicidad de Funcionamiento
  - » Requerimiento de Personal
  - » Frecuencia del Control
- . COSTOS DE CONSTRUCCION
- . COSTOS DE OPERACION Y MANTENIMIENTO
- . EFICIENCIA DE REMOCION
  - » DBO
  - » SS
  - » OD
  - » DQO
  - » Ni
  - » Pt
- . ESTABILIDAD
  - » Efectos de la Temperatura
  - » Variación del caudal y carga
- . IMPACTO AMBIANTAL
  - » Molestias de Olores
  - » Molestia de Ruidos
  - » Molestia de Insectos
  - » Integración con el Entorno
  - » Riesgos para la salud
  - » Efectos en el suelo
- . PRODUCCION Y MANEJO DE LODOS

□ ■ **RANGO DE APLICACION :**

Este parámetro puede convertirse en el primer criterio de selección e incluso de preselección, en el cual las características de la población ( No. de habitantes a servir ), define una restricción inmediata para la aplicación de determinado sistema, ya que cada tecnología de tratamiento presenta limitantes o valores máximos de caudal que son capaces de tratar en forma eficiente. La tabla No.31 presenta en términos de eficiencia, el rango de aplicación de los diversos sistemas de tratamiento para las aguas residuales.

**TABLA No 31** ■

Sistema	Población								
	100	200	500	1,000	2,000	5,000	10,000	>10,000	
■ Fosa Séptica	Op	A	L						
■ Tanques Imhoff	A	A	Op	Op	Op	A			
■ Zanjas y Lechos Filtrantes	Op	Op	Op	A	L				
■ Filtración Rápida	L	A	Op	Op	Op	A	L		
■ R.A.F.A.	Sa	Sa	L	A	Op	Op	A		
■ Biodiscos	Sa	Sa	L	L	A	Op	Op	A	
■ Zanjas de Oxidación	Sa	Sa	Sa	A	A	Op	Op	Op	
■ Aereación Prolongada ( Lodos Activados )	A	A	Op	Op	Op	Op	Op	A	
■ Filtros Biológicos ( Lechos Bacterianos )	Sa	L	A	Op	Op	Op	A	L	
■ Lagunas Aereadas	Sa	Sa	L	A	Op	Op	Op	Op	
■ Lagunas Anaerobias	A	A	Op	Op	Op	Op	Op	A	
■ Lagunas Facultativas	L	A	Op	Op	Op	Op	Op	Op	
■ Tratamiento Físico-Químico	Sa	L	L	A	Op	Op	Op	A	

■ Collado Lara, Ramón. *DEPURACION DE AGUAS RESIDUALES PARA PEQUEÑAS COMUNIDADES*. España: Ed. Senior, 1,990.

□. *SUPERFICIE NECESARIA :*

El requerimiento de área que exige cada tecnología, podrá ser una limitante para su aplicación, ya que en muchos de los casos habrá que ajustar este requerimiento, a las dimensiones en área superficial disponibles para este fin, si no existe la posibilidad de adquirir la extensión de área faltante. La tabla No. 32 presenta la superficie necesaria en metros cuadrados por habitante para los diversos sistemas de tratamiento.

TABLA No.32 \*

*SUPERFICIE NECESARIA PARA LA APLICACION DE LOS DIVERSOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES*

Sistema	Requerimiento de Area ( m <sup>2</sup> / hab )
▪ Fosa Séptica	0.10 - 0.50
▪ Tanques Imhoff	0.05 - 0.10
▪ Zanjas y Lechos Filtrantes	2 - 66
▪ Filtración Rápida	2 - 22
▪ R.A.F.A.	
▪ Biodiscos	0.5 - 0.7
▪ Zanjas de Oxidación	1.2 - 1.8
▪ Aereación Prolongada ( Lodos Activados )	0.2 - 1.0
▪ Filtros Biológicos ( Lechos Bacterianos )	0.5 - 0.7
▪ Lagunas Aereadas	1 - 3
▪ Lagunas Anaerobias	1 - 3
▪ Lagunas Facultativas	2 - 20
▪ Tratamiento Físico-Químico	0.1 - 0.2

\* Collado Lara, Ramón. *DEPURACION DE AGUAS RESIDUALES PARA PEQUEÑAS COMUNIDADES*. España: Ed. Senior, 1,990.



■ SIMPLICIDAD DE CONSTRUCCION :

Este aspecto refleja un indicador económico, ya que en términos de costos, un sistema puede ser técnicamente adecuado, pero económicamente inviable. Estará en función de la capacidad económica ( financiamiento ), el desechar o adoptar un sistema determinado. La tabla No.33 presenta en forma estimativa, la simplicidad o complejidad de implementar un sistema de tratamiento, en función del movimiento de tierras, la obra civil y el equipo necesario para su funcionamiento.

TABLA No.33 ■

*SIMPLICIDAD DE CONSTRUCCION DE LOS DIVERSOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES*

Sistema	Movimiento de Tierras	Obra Civil	Equipo
■ Fosa Séptica	MS	MS	MS
■ Tanques Imhoff	C	MC	MS
■ Zanjas y Lechos Filtrantes	MS	MS	MS
■ Filtración Rápida	S	MS	MS
■ R.A.F.A.	C	MC	S
■ Biodiscos	MS	C	MC
■ Zanjas de Oxidación	MS	C	MC
■ Aereación Prolongada ( Lodos Activados )	MS	MC	MC
■ Filtros Biológicos ( Lechos Bacterianos )	MS	C	C
■ Lagunas Aereadas	C	MS	MC
■ Lagunas Anaerobias	C	MS	MS
■ Lagunas Facultativas	MC	MS	MS
■ Tratamiento Físico-Químico	S	MC	MC

Muy Simple (MS) Simple (S) Complicado (C) Muy Complicado (MC)

■ Collado Lara, Ramón. *DEPURACION DE AGUAS RESIDUALES PARA PEQUEÑAS COMUNIDADES*. España: Ed. Senior, 1,990.

. OPERACION Y MANTENIMIENTO :

Este es un aspecto de suma importancia al considerar la propuesta de una alternativa de solución, de tal manera que la vida útil y la eficiencia esperada del sistema propuesto, en términos de calidad final del efluente, depende directamente de una buena operación y de un mantenimiento rutinario; a tal grado que muchos sistemas han colapsado por la falta de estos elementos.

Es importante integrar los costos de inversión con los costos de operación y mantenimiento para generar un costo real que refleje lo que representará ( en costos fijos ) un sistema determinado en funcionamiento, a lo largo de su periodo de servicio.

La tabla No.34 refleja la simplicidad o complejidad de operar y mantener los diversos sistemas de tratamiento de aguas residuales, en función de 3 variables fundamentales que intervienen en este proceso, asignando una estimación o ponderación cualitativa a cada una de ellas.

TABLA No.34 \*

<i>REQUERIMIENTOS DE OPERACION Y MANTENIMIENTO DE LOS DIVERSOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES</i>			
Sistema	Simplicidad de Funcionamiento	Necesidad de Personal	Frecuencia en el control
▪ Fosa Séptica	MS	P	PF
▪ Tanques Imhoff	S	P	PF
▪ Zanjas y Lechos Filtrantes	S	P	PF
▪ Filtración Rápida	S	P	PF
▪ R.A.F.A.	MC	M(cal)	MF
▪ Biodiscos	C	M(cal)	F
▪ Zanjas de Oxidación	MC	R(cal)	F
▪ Aereación Prolongada ( Lodos Activados )	MC	M(cal)	MF
▪ Filtros Biológicos ( Lechos Bacterianos )	C	R	F
▪ Lagunas Aereadas	C	R(cal)	RF
▪ Lagunas Anaerobias	MS	P	PF
▪ Lagunas Facultativas	MS	P	PF
▪ Tratamiento Físico-Químico	MC	M(cal)	MF
<p>Muy Simple (MS)    Simple (S)    Complicado (C)    Muy Complicado (MC)  Poco Frecuente                      (PF) Frecuente (F)    Muy Frecuente (MF)  Poco (P)                      Regular (R)    Mucho (M)    Calificada (cal)</p>			

\* Collado Lara, Ramón. *DEPURACION DE AGUAS RESIDUALES PARA PEQUEÑAS COMUNIDADES*. España: Ed. Senior, 1,990.  
Instituto de Fomento Municipal INFOH. *CRITERIOS DE DISEÑO PARA PROYECTOS SANITARIOS*. Borrador para Discusión.  
Sección de Alcantarillados, Departamento de Proyectos Sanitarios. Guatemala, 1,992.

□ . COSTOS DE CONSTRUCCION :

A este factor ( por tendencia general ) se le atribuye la ponderación más alta en la toma de desiciones, ya que representa el desembolso monetario inmediato. Sin embargo este factor deberá integrarse a todos los elementos de decisión antes descritos. Indudablemente este renglón representa un punto determinante para la selección final de un sistema de tratamiento. La tabla No.35 presenta el costo unitario en dolares por habitante (US\$/hab), para los diferentes sistemas de tratamiento, en función de la población a servir.

TABLA No. 35 -

*COSTOS UNITARIOS DE CONSTRUCCION PARA LOS DIVERSOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO EN FUNCION DE LA POBLACION A SERVIR*

Sistema	Población (hab)							
	100	200	500	1,000	2,000	5,000	10,000	>10,000
▪ Fosa Séptica	100	85						
▪ Tanques Imhoff	100	83	70					
▪ Zanjas Filtrantes	1400	1100	800					
▪ Filtración Rápida				16	11	9	8	
▪ R.A.F.A.								
▪ Biodiscos	1100	700	360	320	300	260	200	180
▪ Zanjas de Oxidación								
▪ Aereación Prolongada ( Lodos Activados )	1200	620	500	400	350	300	250	220
▪ Filtros Biológicos ( Lechos Bacterianos )	600	540	430	340	300	250	180	150
▪ Lagunas Aereadas					310	260	220	150
▪ Lagunas Anaerobias					40	35	20	20
▪ Lagunas Facultativas				160	120	100	70	50
▪ Tratamiento Físico-Químico					300	160	120	100

*Costo Unitario = US\$ / habitante ( dato de 1,990 )*

▪ Collado Lara, Ramón. DEPURACION DE AGUAS RESIDUALES PARA PEQUEÑAS COMUNIDADES. España: Ed. Senior, 1,990.

□ ■ **COSTOS DE OPERACION Y MANTENIMIENTO :**

La tabla No.36 muestra los costos unitarios de operación y mantenimiento de los diversos sistemas de tratamiento monitoreados. El costo estimado está en función de la población a servir ( No.de habitantes ), expresado en US\$/habitante\*año. Los registros datan del año 1,990.

**TABLA No.36** ■

**COSTOS UNITARIOS DE OPERACION Y MANTENIMIENTO PARA  
LOS DIVERSOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES  
EN FUNCION DE LA POBLACION A SERVIR**

Sistema	Población (hab)							
	100	200	500	1,000	2,000	5,000	10,000	>10,000
■ Fosa Séptica	5.5							
■ Tanques Imhoff								
■ Zanjas Filtrantes	31.5	14						
■ Filtración Rápida						5		4
■ R.A.F.A.								
■ Biodiscos	64					20	15	10
■ Zanjas de Oxidación								
■ Aereación Prolongada ( Lodos Activados )	40	36	30	25		18	15	13
■ Filtros Biológicos ( Lechos Bacterianos )	35	25	22	18	15	12	10	8
■ Lagunas Aereadas					22	14	10	7
■ Lagunas Anaerobias					1.5	1.2	0.8	0.5
■ Lagunas Facultativas	8	7		5			2	2
■ Tratamiento Físico-Químico		20		15		12		10

*Costo Unitario = US\$ / habitante \* año ( dato de 1,990 )*

□. **EFICIENCIA DE REMOCION :**

Este elemento de selección es muy importante a nivel técnico, ya que en función de los requerimientos de tratamiento impuestos por las características de las aguas residuales sin tratar, y de la calidad final necesaria en el efluente; así será el sistema que encaje y satisfaga precisamente estas demandas.

La eficiencia en remoción de los parámetros físico-químicos y bacteriológicos es un factor determinante para proponer un sistema de tratamiento en particular. Los porcentajes de remoción de los diversos sistemas de tratamiento de aguas residuales, fueron ampliamente descritos y cubiertos en este capítulo, en el inciso : **3.4. MECANISMOS DE REMOCION.**

Sin embargo, proporcionando información complementaria, se presentarán en la tabla No.37, valores promedio de eficiencia en remoción obtenida según la etapa de tratamiento.

**TABLA No.37 -**

**EFICIENCIA DE REMOCION SEGUN LA ETAPA DE TRATAMIENTO - VALORES PROMEDIO**

Etapa	Materia Orgánica (Remoción DBO - %)	Sólidos Suspendidos ( % )	Nutrientes ( % )	Bacterias ( % )
Preliminar	5-10	5-20	no remueve	10-20
Primario	25-50	40-70	no remueve	25-75
Secundario	80-95	65-95	si remueve	70-99
Terciario	40-99	80-99	hasta 99%	99.999

\* Pessoa y Jordão. TRATAMIENTO DE ESGOTOS DOMESTICOS. Folheto Técnico. CETESB, Sao Paulo, Brasil: 1,989. 80 pp.

■ **ESTABILIDAD :**

Este aspecto se refiere a la capacidad que un sistema posee para permanecer funcionando en condiciones aceptable de eficiencia, a pesar de estar sometido a variaciones sensibles de carga, temperatura, caudal, etc; es decir, en condiciones desfavorables, extremas o agresivas que inhiben los procesos de remoción.

*Nota : Todo proceso de tratamiento para aguas residuales municipales, será inhibido por la presencia de tóxicos en el afluente.*

La tabla No.38 presenta los rangos de aplicación para diversos sistemas de tratamiento en función de la temperatura promedio ( máximas y mínimas ) y de las variaciones sensibles de carga y caudal.

TABLA No.38

**RANGOS DE APLICACION PARA DIVERSOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO EN FUNCION DE LA TEMPERATURA Y LAS VARIACIONES DE CARGA Y CAUDAL**

Sistema		Temperatura Promedio Mensual (°C )	Cambios Sencibles de carga y caudal
1 Fosa Séptica		10 - 30	PS
2 Tanques Imhoff	(a)(b)	2. 5 > 25	1. PS
1 Sedimentadores Primarios	(b)	sin restricción directa	S
3 R.A.F.A.		10 - 36	MS
4 Biodiscos		---	PS
2 Digestor Anaerobio de Lodos		15 > 30	S
2 Lodos Activados	(f)	2. (e)	5. S
5 Lagunas Anaerobias	(c)	10 - 30	MS
3 Lagunas Facultativas	(d)	se adaptan a > 30 T <sub>min.</sub> extremas	PS

(a) a menor temperatura, mayor tiempo de digestión de lodos.  
 (b) si no precede un buen sistema de retención de arenas, perjudicará el proceso de digestión de lodos posterior.

(c) problemas de olores por: mala operación, construcción o diseño (carga superficial aplicada excedida).

(d) a menor temperatura, mayor área superficial para chequear la intensidad de carga aplicada y remoción de patógenos.

(e) la calidad del efluente se modela para temperaturas promedio del mes más frío, las demandas de oxígeno del proceso se modelan para las temperaturas promedio del mes más cálido.

(f) frente a las variaciones bruscas del caudal y carga, la aereación prolongada y zanjas de oxidación presentan mayor estabilidad.

1 INFOH, CRITERIOS DE DISEÑO PARA PROYECTOS SANITARIOS. Borrador para Discusión, Guatemala, 1,992.

2 León, Guillermo, et.al. PROYECTO DE NORMA TECNICA DE EDIFICACIONES S.010, CENCICO, Lima, Perú: 1,996.

3 CETESB, OPÇÕES PARA TRATAMENTO DE ESGOTOS DOMESTICOS DE PEQUENAS COMUNIDADES, Sao Paulo, Brasil, 1,994.

4 Collado Lara, Ramón, DEPURACION DE AGUAS RESIDUALES PARA PEQUEÑAS COMUNIDADES, España: Ed. Senior, 1,990

5 Arceivala, J. LAGUNAS DE ESTABILIZACION. Folleto Técnico, CEPIS, Lima, Perú: 1,973. Editado por CEPIS.1,993.



■ **IMPACTO AMBIENTAL :**

Este elemento refleja la integración al ambiente de un sistema determinado, o bien la reacción adversa que producirá su implementación. Es muy difícil y arriesgado definir que un sistema en particular genera un desbalance sensible al entorno, o que se adapta fácilmente; estableciendo una tendencia rígida de que así se comportará en todos los casos. Cada sistema se adaptará en función de la capacidad que el proyectista tenga para cubrir o compensar aquellos aspectos que son desfavorables del sistema, minimizando los efectos negativos, evidentes y notorios del sistema.

Se considera que sólo la información obtenida de sistemas en operación es la fuente principal que respaldará la elaboración de una tendencia de aceptación o rechazo de los sistemas monitoreados, ya que cada localidad posee un entorno diferente.

Es importante enfatizar que cuando se trata de implementar una planta de tratamiento de aguas residuales, se acredita un rechazo de inmediato, ya que se habla de manejar desechos indeseados, contaminantes, mal olientes, etc, que generarán efectos secundarios lógicos y consecuentes de manejar este tipo de desechos. Lo anterior permite comprender que cuando se habla de impacto ambiental mínimo, no se refiere a la ausencia total y absoluta de efectos molestos e indeseables; sino más bien de la mínima percepción de estos efectos que estarán presentes como lógica consecuencia de tratar aguas residuales. La tabla No.39 refleja algunos aspectos registrados con frecuencia en sistemas

de tratamiento, asociados ( cada uno ) con un factor indicador.

**TABLA No. 39**

**TABLA ESTIMATIVA DE IMPACTO AMBIENTAL PARA DIVERSOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**

Sistema	MOLESTIAS DE			integración al entorno	riesgos para la salud	efectos al suelo
	olores	ruidos	insectos			
■*Fosa Septica	PF/Ba	PI	PA	B	A	Ba
■*Tanque Imhoff	PF/Me	PI	PA	B	A	Me
■ Zanjas y Lechos Filtrantes	PN	PI	PA	N	A	PF
■ Filtración Rápida	PF	PI	PN	N	A	PF
* R.A.F.A.	PF/A	PI	PI	N	A	Me
■ Biodiscos	PA	PI	PI	N	Ba	PI
■ Aereación Prolongada (Lodos Activados)	PA	PF	PI	N	Ba	PI
■ Filtros Biológicos (Lechos Bacterianos)	PA	PA	PA	N	Ba	PI
■ Lagunas Aereadas	PA	PF	PN	N	Me	PN
■ Lagunas Anaerobias (a)	PF	PI	PN	N	A	PN
■*Lagunas Facultativas (a)	PI	PI	FN	N	Me	PN
■ Tratamiento Físico-Químico	PN	PI	PI	N	Ba	PI

(a) malos olores producto de: mala operación y mantenimiento o bien errores en el diseño.

Problema Inexistente	(PI)	Problema Atípico	(PA)
Problema Normal	(PN)	Problema Frecuente	(PF)
Buena (B)	Normal (N)	Mala (M)	
Alto (A)	Medio (Me)	Bajo (Ba)	

- Collado Lara, Ramón, *DEPURACION DE AGUAS RESIDUALES PARA PEQUEÑAS COMUNIDADES*. España: Ed. Senior, 1,990  
 \* *INFOM. CRITERIOS DE DISEÑO PARA PROYECTOS SANTARIOS*. Borrador para Discusión. Guatemala, 1,992.

□ ■ *PRODUCCION DE LODOS :*

La producción de lodos en un proceso de depuración de aguas residuales, en muchos de los casos, absorbe una gran parte de los costos de operación y mantenimiento, por lo que deben considerarse prioritarios aquellos sistemas que produzcan menor volumen de lodos, o cuya evacuación, tratamiento y disposición sea más simple. La tabla No.40 presenta rangos estimados de producción de lodos, para diversos sistemas de tratamiento; expresados en litros por metro cúbico de aguas residuales.

TABLA No.40

<i>RANGOS ESTIMADOS DE PRODUCCION DE LODO EN FUNCION DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO ADOPTADO</i>	
Sistema	Producción de Lodo ( litros / m <sup>3</sup> de agua residual )
■ Fosa Séptica	0.9 - 2.0
■ Tanques Imhoff	1.5 - 2.0
* R.A.F.A.	45-60 Kg SS / m <sup>3</sup> de AR
■ Biodiscos	3 - 4
■ Aereación Prolongada ( Lodos Activados )	3.7
■ Filtros Biológicos ( Lechos Bacterianos )	1.3
■ Lagunas Aereadas	1.2 - 5
■ Lagunas Anaerobias	0.4 - 0.7
■ Lagunas Facultativas	1.2 - 1.6

■ Collado Lara, Ramón. *DEPURACION DE AGUAS RESIDUALES PARA PEQUEÑAS COMUNIDADES*. España: Ed. Senior, 1,990

\* Vieira, Sonia. *TRATAMIENTO ANAEROBIO DE ESGOTOS DOMESTICOS*. Folheto Técnico. CETESB. Sao Paulo, Brasil:1,990.

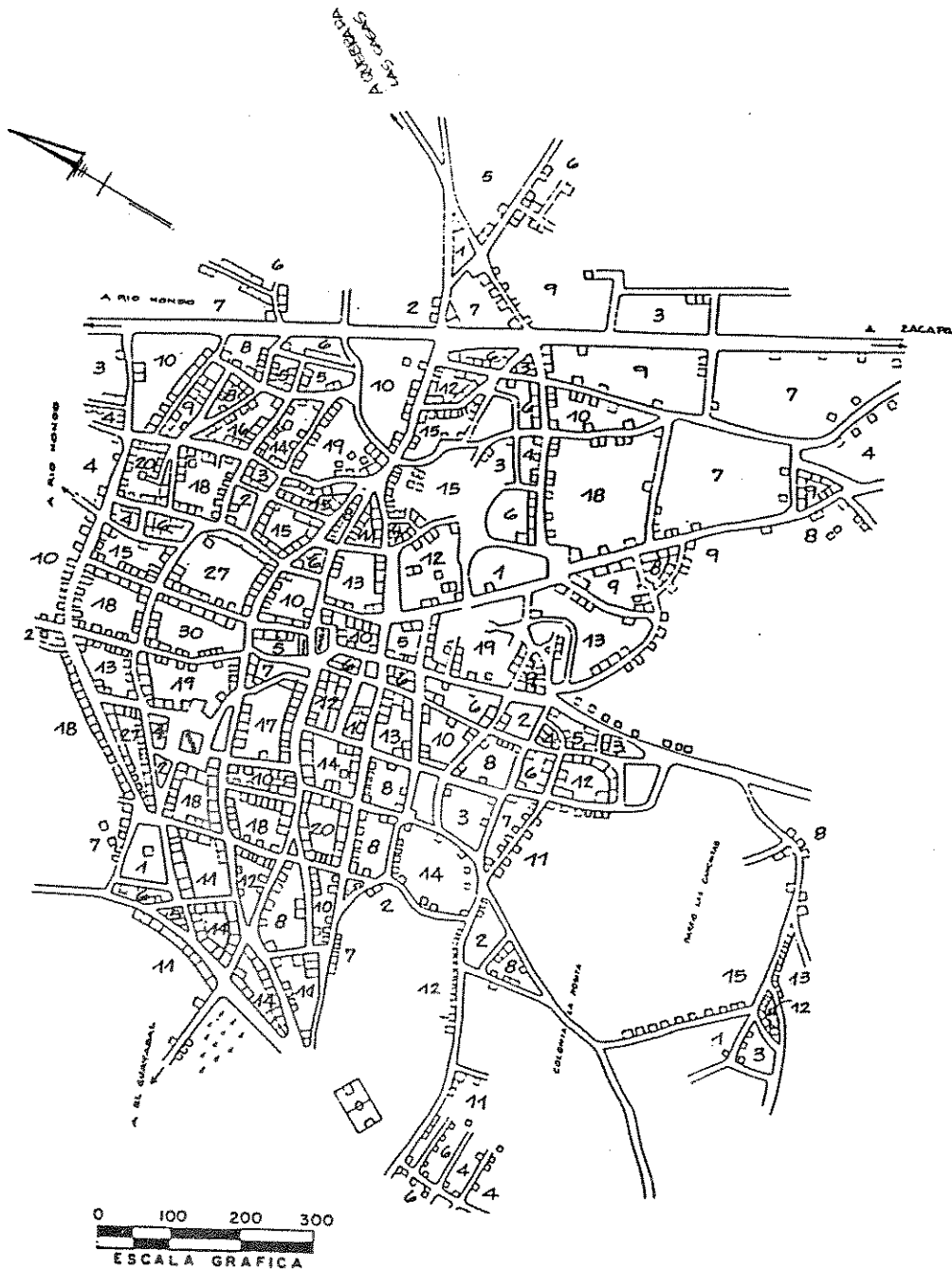
□ Finalmente, se puede agregar un criterio adicional que reúne todos los elementos sobresalientes de los sistemas de tratamiento antes definidos; a través de elaborar una matriz final de selección, la cual pretende de manera gráfica y analítica definir qué sistema cumple con los requisitos técnicos evaluados, impuestos por el entorno y fijados por el diseñador. La tabla No.41 muestra en forma gráfica el concepto de la matriz final de selección.

**TABLA No.41**

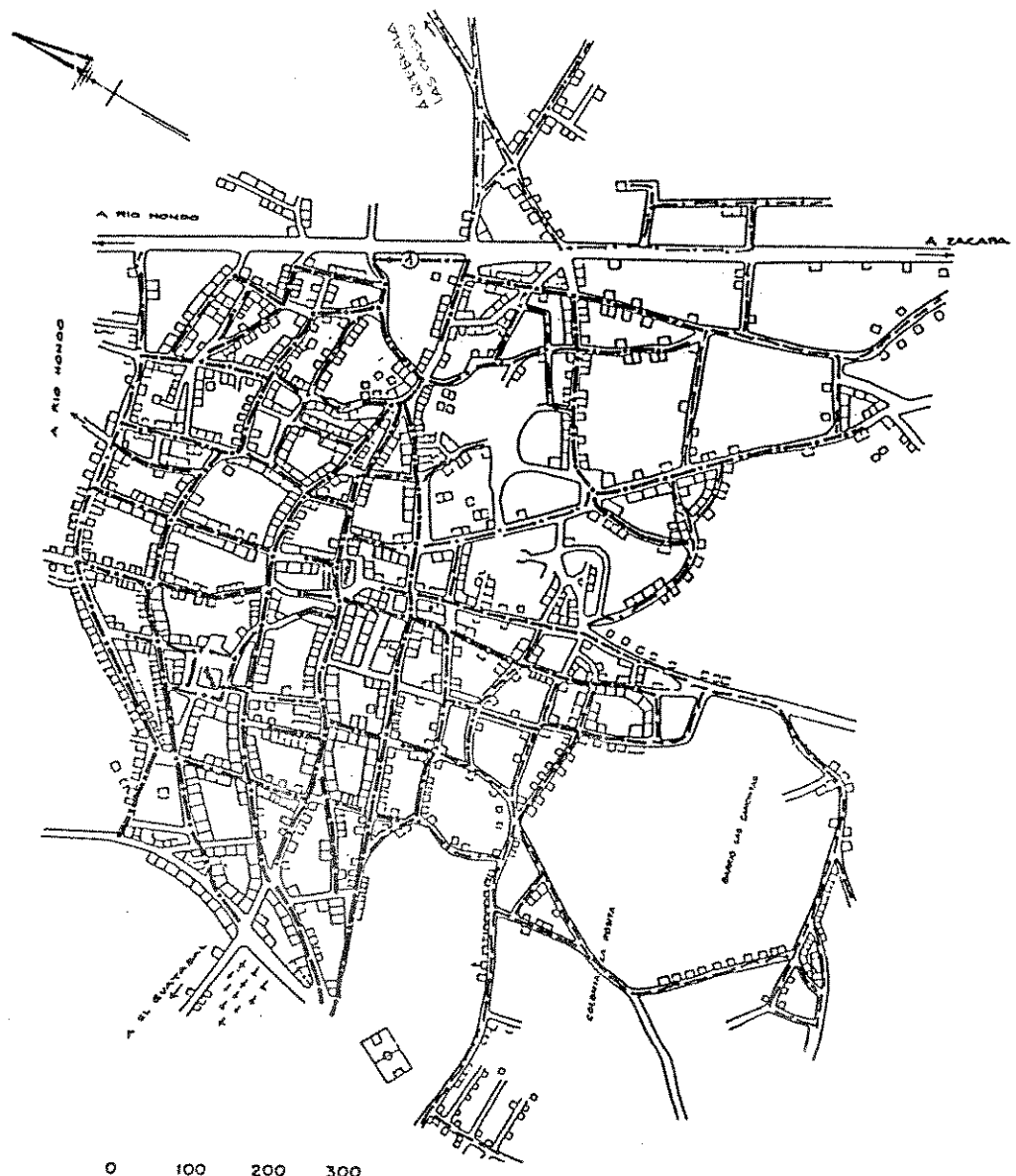
**MATRIZ FINAL DE SELECCION**

	Fosa Séptica	Tanque Imhoff	Zanjas Filtrantes	Lechos Filtrantes	Filtros de Arena	Pozos Filtrantes	Filtros Verdes	Lechos de Juncos	Infiltración Rápida	Escorrentía Superficial	Lechos Bacterianos	Biodiscos	Lechos de Turba	Aireación Prolongada	Físico-Químico	Lagunas Aireadas	Lagunas Aerobias	Lagunas Facultativas	Lagunas Anaerobias	Peso
Super neces.	10	10	1	8	9	8	1	8	7	7	10	10	10	10	10	9	8	7	9	a <sub>1</sub>
Simpl. Const.	10	8	10	10	9	7	10	10	9	10	7	7	9	5	5	7	8	8	8	a <sub>2</sub>
Explot. Mant.	10	9	9	9	7	10	9	9	9	9	5	5	8	3	3	7	10	10	10	a <sub>3</sub>
Costo Cons.	8	8	—	—	—	—	6	7	10	—	4	4	6	2	6	4	—	8	9	a <sub>4</sub>
Costo Expl. y mant.	9	—	7	5	1	8	9	10	9	—	8	8	9	7	9	8	10	10	10	a <sub>5</sub>
Rendimiento	4	5	8	8	7	—	9	7	8	8	7	8	7	8	7	7	7	7	5	a <sub>6</sub>
Estabilidad	2	3	9	9	8	9	8	6	9	8	5	7	6	6	6	5	5	5	5	a <sub>7</sub>
Impacto Amb.	7	7	6	6	5	8	6	7	5	5	8	9	8	7	8	6	6	6	5	a <sub>8</sub>
Fangos	9	9	10	10	10	10	10	10	10	10	9	8	10	7	1	9	9	9	10	a <sub>9</sub>
Total	$\sum_{i=1}^{19} a_{i1}$	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	$\sum_{i=1}^{19} a_{i19}$
Nota	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	A <sub>6</sub>	A <sub>7</sub>	A <sub>8</sub>	A <sub>9</sub>	A <sub>10</sub>	A <sub>11</sub>	A <sub>12</sub>	A <sub>13</sub>	A <sub>14</sub>	A <sub>15</sub>	A <sub>16</sub>	A <sub>17</sub>	A <sub>18</sub>	A <sub>19</sub>	

$$A_j(1-19) = \frac{\sum_{i=1}^{19} a_{ij} \cdot a_i}{\sum_{i=1}^{19} a_i}$$



<b>DENSIDAD DE VIVIENDA</b>	
PLANO ESQUEMATICO	
INSTITUTO DE FOMENTO MUNICIPAL · INFOM	
PLAN NACIONAL DE AGUA	
MUNICIPIO:	DEPTO:
ESTANZUELA	ZACAPA
FECHA:	CDM / CyM.
02/'87	



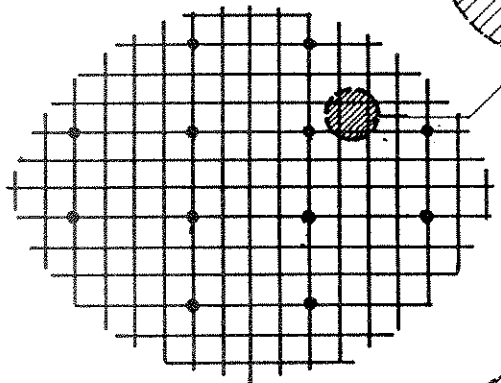
0 100 200 300  
ESCALA GRAFICA

<b>COBERTURA DE ALCANTARILLADO</b>	
PLANO ESQUEMATICO	
INSTITUTO DE FOMENTO MUNICIPAL . INFOM PLAN NACIONAL DE AGUA	
MUNICIPIO:	ESTANZUELA
DEPTO.:	ZACAPA
FECHA:	02 / '87
	CDM / CyM.

RED INTERNA  
ALCANTARILLADO  
SANITARIO

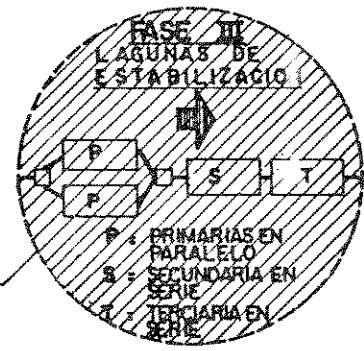


1,700 MI  
Ø 6'-08" Ø10" PVC



2.8 Km.  
Ø 12" PVC

LINEA DE  
DESCARGA



PLANTA DE  
TRATAMIENTO  
DE AGUAS  
RESIDUALES

PTAR

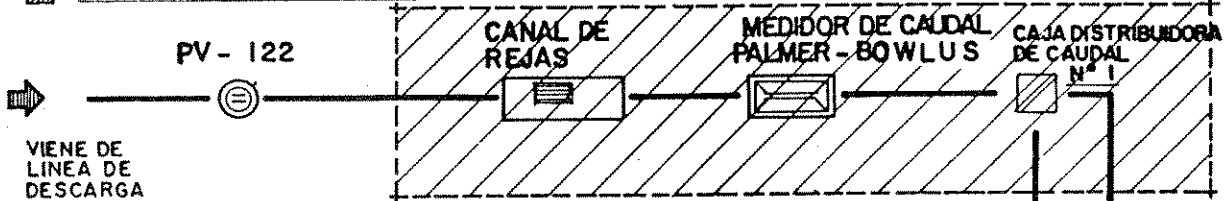
CUERPO  
RECEPTOR



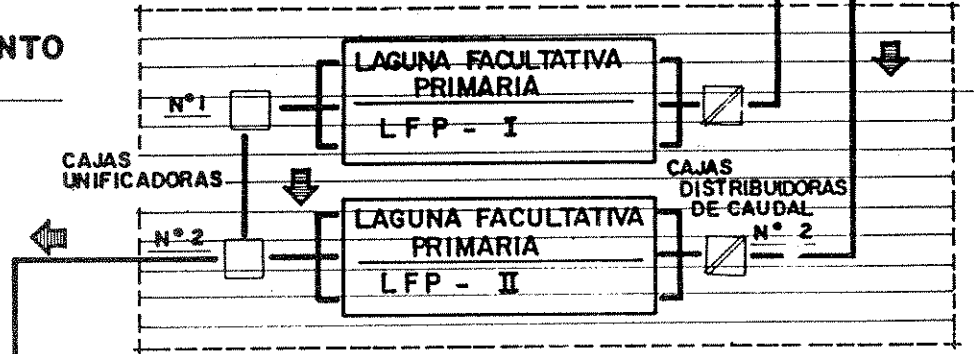
QUEBRADA LAS CASAS

<b>COBERTURA GLOBAL ETAPAS DE SANEAMIENTO BASICO</b>	
PROYECTO: ALCANTARILLADO SANITARIO (+) PLANTA DE TRATAMIENTO - FASES 1-2y3	
MUNICIPIO: ESTANZUELA - ZACAPA	
FECHA: OCTUBRE 1,995	P. OGRAMA: P.A.B.

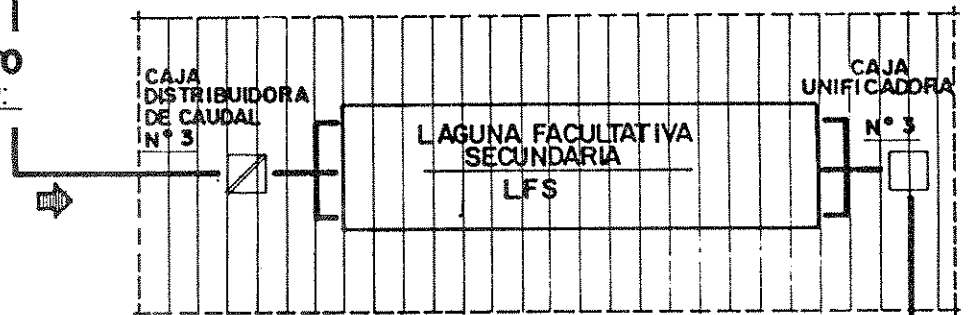
**PRE-TRATAMIENTO:**



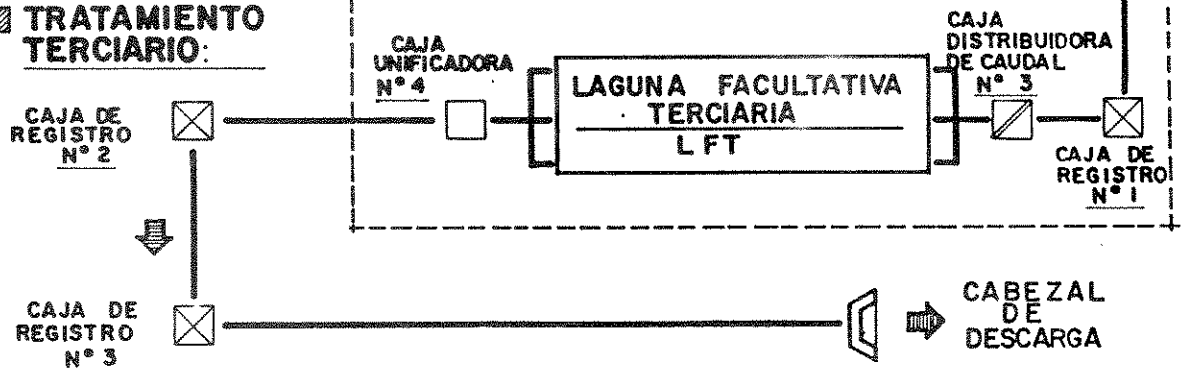
**TRATAMIENTO PRIMARIO:**



**TRATAMIENTO SECUNDARIO:**



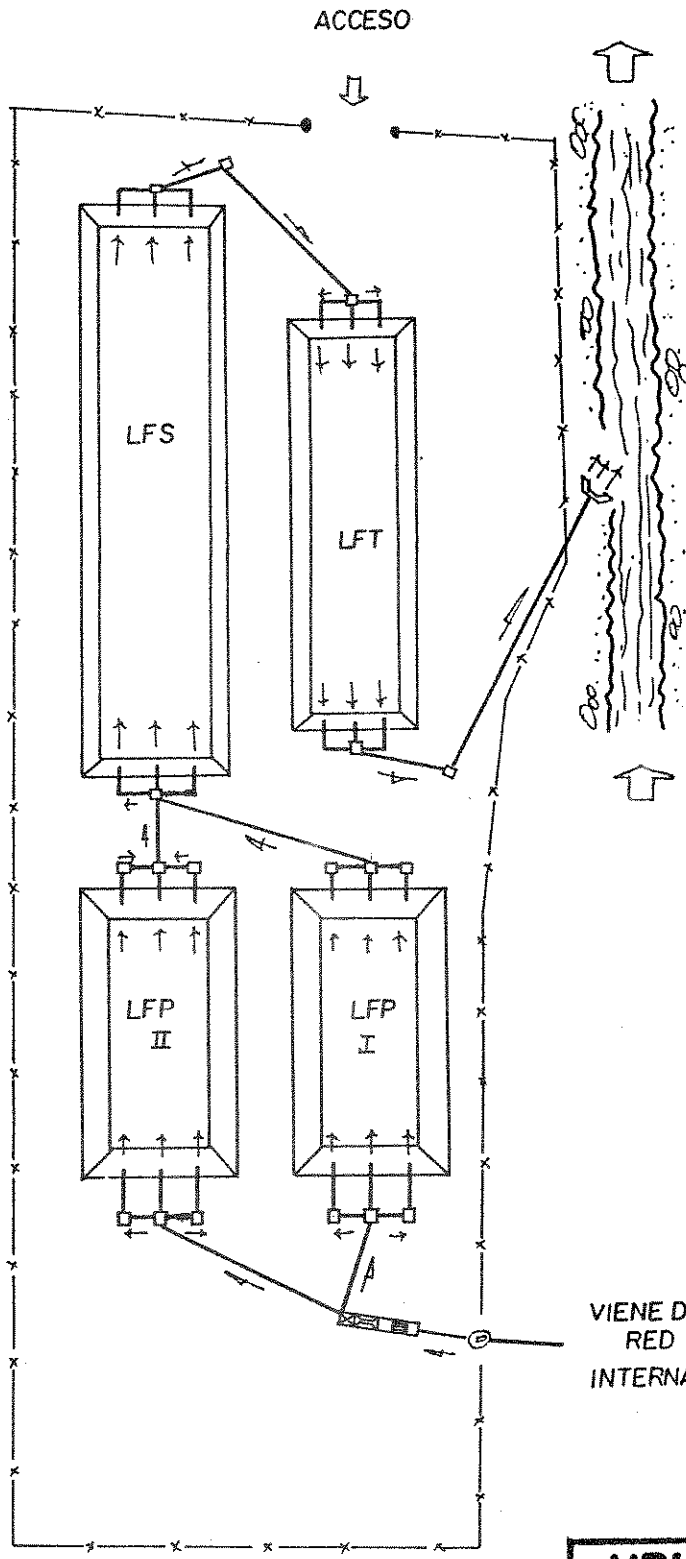
**TRATAMIENTO TERCIARIO:**



CABEZAL DE DESCARGA

<b>ESQUEMA GENERAL</b>	
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	
PROYECTO:	P.T.A.R. FASE III
MUNICIPIO:	ESTANZUELA - ZACAPA
FECHA:	OCTUBRE 1, 995
PROGRAMA:	P.A.B.



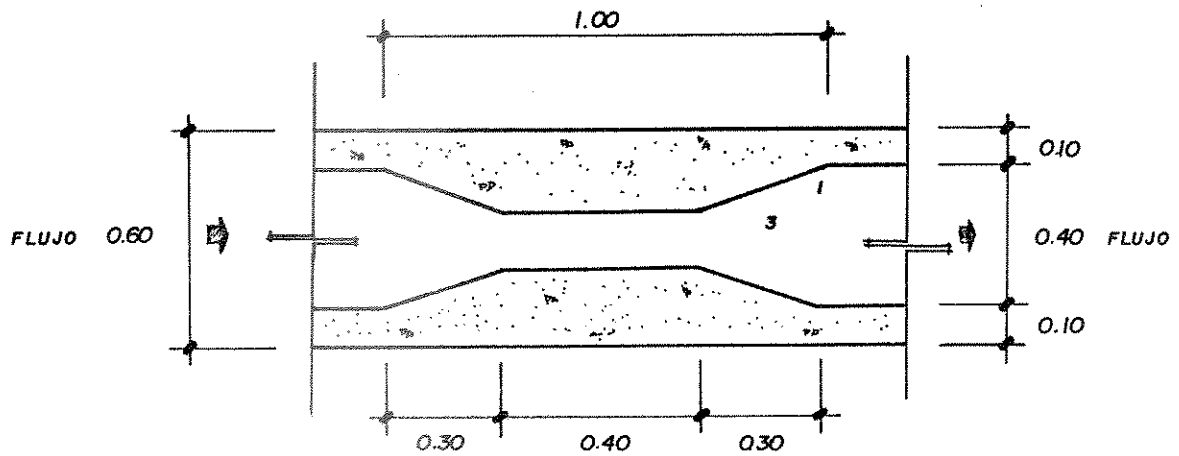


QUEBRADA  
-RIO LAS  
CASAS

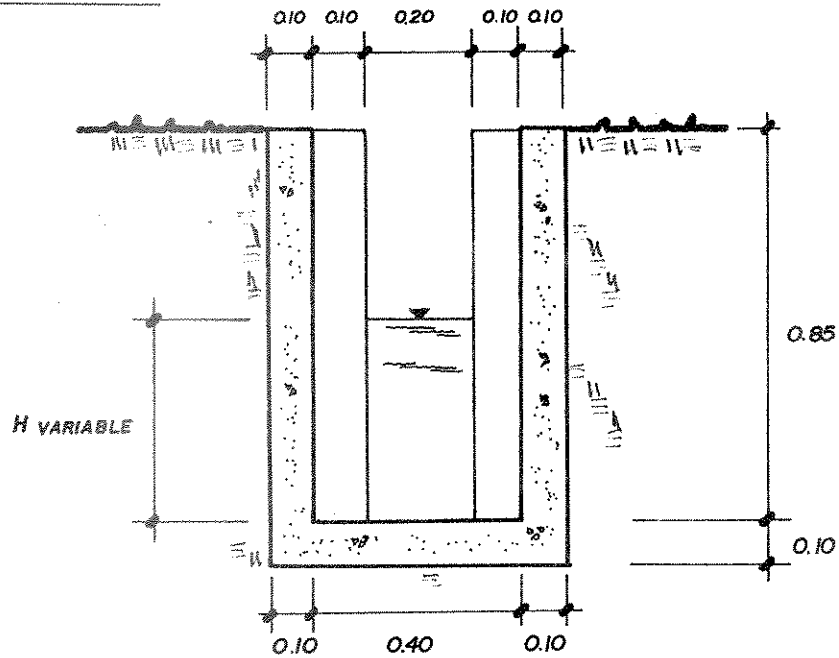
**DIMENSIONES**

- AREA DEL TERRENO :  
2.4 Ha.

<b>UBICACION DE UNIDADES</b> EN PLANTA - FUERA DE ESCALA	
ESTANZUELA - ZACAPA	
PLANTA DE TRATAMIENTO DE A.R.	
03 / 1,995	PROGRAMA:



**PLANTA**



**SECCION TRANSVERSAL**

**MEDIDOR DE CAUDAL PALMER-BOWLUS**

PARA: ESTANZUELA - ZACAPA

PROYECTO: PLANTA DE TRATAMIENTO A.R.

FECHA: 02/1,995